



60. ÉVFOLYAM
7. SZÁM

KÖZLEKEDÉSÉPÍTÉSI SZEMLE

2010. JÚLIUS

FELELŐS KIADÓ:
Völgyesi Zsolt főigazgató

FELELŐS SZERKESZTŐ:
Dr. Koren Csaba

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

A CÍMLAPON ÉS A BORÍTÓ
2. OLDALÁN: Georács beépítése
vasúti pályába. Dr. Horvát Ferenc
felvételei

KÖZLEKEDÉSEPÍTÉSI SZEMLE
Alapította a Közlekedéstudományi
Egyesület.
A közlekedésepítési 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. FI ISTVÁN – GALUSKA JÁNOS

Kétsávos főutak forgalmi körülményeire irányuló vizsgálatok Magyarországon

1

PRIMUSZ PÉTER – MARKÓ GERGELY

Kétrétegű pályaszerkezet modellek paramétereinek meghatározása FWD mérések alapján

8

FISCHER SZABOLCS – DR. HORVÁT FERENC

Vasúti zúzottkő ágyazatos felépítmény georácsos stabilizációja

14

DR. HABIL GÁSPÁR LÁSZLÓ

A közúti balesetek és az útburkolatok állapota (szakirodalmi áttekintés)

21

BALOGH TIBOR

Az épített és természeti környezet védelme a 4-es metró beruházása során

31

DR. KELETI IMRE

Hozzászólás „A kompaktaszfaltos építési technológia hazai alkalmazásának lehetőségei” című tanulmányhoz

37

KÉTSÁVOS FŐUTAK FORGALMI KÖRÜLMÉNYEIRE IRÁNYULÓ VIZSGÁLATOK MAGYARORSZÁGON

DR. FI ISTVÁN¹ – GALUSKA JÁNOS²

1. BEVEZETÉS

A témaválasztást az indokolja, hogy kétsávos közutak alkotják az állami közúthálózat döntő részét. A közúthálózat kiemelt része a közel negyedrésznyi arányt képviselő főúthálózat, ahol a közúti forgalom mintegy fele bonyolódik le. Ilyenformán ennek a hálózatrésznek a forgalmi körülményei, lehetséges teljesítőképessége, biztonsága, valamint szükséges fejlesztésének kérdései mindig is a szakmai érdeklődés középpontjában vannak. Az alábbiakban megfogalmazottak célja azoknak a vizsgálatoknak az áttekintése, melyek e tárgyban születtek.

2. KORÁBBI VIZSGÁLATOK

2.1. MAGYARORSZÁGON, A 80-AS ÉVEKBEN KÜLTERÜLETI FOLYÓPÁLYASZAKASZOKON VÉGZETT VIZSGÁLATOK

Főutak forgalmi körülményei minősítésére irányuló – már korszerűnek tekinthető mérés technikát használó – átfogó vizsgálatokra Magyarországon először 1984-ben került sor, a 2-es, a 4-es és az 51-es főúton [1]. Az egyes járművek sebességadatainak felvételét 10–20 km-es hosszúságú mérőszakaszon a forgalommal együtt haladó mérőkocsi segítségével végezték (amellyel állandó távolságra követve a vizsgált járművet, számítógépre rögzítették a követett járművet reprezentáló saját út-idő adatokat).

Az összes további forgalmi felvételéhez kijelöltek egy fix, 80 m hosszúságú mérőszakaszt. A szakasz két végén lévő mérőkezelőműveletekben kézi vezérlésű nyomógommbal lyukszalagra, majd mágneslemezre rögzítették a belépő járművek típusait és a belépési időpontokat. Ezen a módon a mérőszakaszon áthaladó járművek mozgásjellemzőit pontosan meg lehetett határozni.

A három vizsgált útvonal mérései értékeléséből az alábbi összefüggések adódtak:

– A külterületi szakaszok S , km/h átlagsebessége és F , E/h forgalom nagysága között:

$$S = 62,7061 + 0,02959 F - 0,0000208 F^2$$

– Külterületi szakaszokon a követési időközök eloszlása nem követte a Poisson-féle eloszlást, hanem az alábbi exponenciális eloszlást mutatta:

$$f(t) = 1 - 0,73536 e^{-0,06100 t}$$

ahol:

$f(t)$ – a követési időközök eloszlásfüggvénye

t – a követési időközök értéke, s.

– A járműoszlopokra vonatkozólag az alábbi eredmények születtek. Oszlopdefiníció került meghatározásra: legalább három jármű követi egymást és a járművek közötti követési idő $< 7,2$ s.

– Néhány forgalmi érték függvényében megadták az oszlopban haladók százalékát és az átlagos oszlophossz értékét (1. táblázat).

1. táblázat: A forgalom nagyság és az oszlopképződés összefüggése, Magyarország, főutak, 1984.

Forgalom, J/h	Oszlopban haladó járművek, %	Átlagos oszlophossz, J db
230	79	3,4
345	85	3,8
460	87	4,5
576	94	6,5
691	95	7,3

Definiáltak négy fontos forgalmi kategóriát:

– A: Szabad lefolyású az a forgalom, amelyben a járművek legfeljebb 30%-a halad a $D \leq 10$ J/km járműsűrűség viszonyai között;

A kategória forgalom nagysága (F): kisebb, mint 530 J/h/sáv

– B: Közepesen akadályozott lefolyású az a forgalom, amelyben a járműveknek már csak legfeljebb 30%-a halad a $D \leq 20$ J/km járműsűrűség viszonyai között;

A kategória forgalom nagysága (F): 530 és 790 J/h/sáv közötti

– C: Akadályozott lefolyású az a forgalom, amelyben a járművek legfeljebb 30 és 20% közötti hányada halad a $D < 80$ J/km járműsűrűség viszonyai között;

A kategória forgalom nagysága (F): nagyobb, mint 790 J/h/sáv

– D: A kapacitáshoz tartozó forgalom esetében a járműveknek már csak legfeljebb 20%-a halad a $D \leq 20$ J/km járműsűrűség viszonyai között;

A kategória forgalom nagysága (F): nagyobb, mint 960 J/h/sáv

2.2. FŐUTAKON 1990-BEN VÉGZETT HOLLAND-MAGYAR FORGALMI VIZSGÁLATOK

2.2.1. A VIZSGÁLATOK LEÍRÁSA

A vizsgálatok célja a két forgalmi sávos főutakon lebonyolódó forgalom jellegzetességeinek megállapítása volt. A vizsgálatok elvégzésére Hollandiában az N9 számú, Magyarországon a 2-es és a 4-es számú főutakon került sor 1990 áprilisában, a delfti University of Technology, Transportation Planning and Highway Engineering tanszéke és a budapesti BME Útépítési Tanszéke kutatóinak közreműködésével, holland és magyar mérőrendszerek használatával [2]. A holland automatikus mérőrendszer fix bázisú,

¹ Egyetemi tanár, BME Út és Vasútépítési Tanszék

² Beruházási igazgató, NIF Zrt.

telepíthető, hagyományos gumi és infravörös (fény sugar-megszakítási elven működő) forgalomszámláló detektorokra épül, amelyek információit egy számítógépes adatgyűjtő rendszer tárolja. A rendszer alapinformációja a detektorokon áthaladó tengelyek áthaladási ideje. A detektorok kétféle alapelrendezésben működtek:

- két detektor egymástól 1 m-es távolságban, a teljes keresztmetszet szélességében
- hét detektor egymástól 50 m-es távolságban, fél keresztmetszet (forgalmi sáv) szélességében.

A két szomszédos detektor információi a forgalomáramlás jellemzői meghatározását, a hét detektor adatai pedig a kapacitás értékének becslését teszik lehetővé.

Az Útépítési Tanszék mérőrendszere kétféle mérésre volt alkalmas. Egyrészt álló helyzetű mérőkocsiban mechanikus, kézi nyomógombokkal jelezhető jármű-áthaladási időinformációkat gyűjtöttek össze [3], [4]. Másrészt a forgalommal együtt haladó helyzetben, a saját mozgása út-idő információt tárolni képes mérőkocsival, a hasonló mozgású forgalom körülményeit regisztrálták. A mérések helyét és idejét az alábbiak tartalmazzák.

Magyarország

2-es főút, 1990. április 26., egész nap:

- A fix mérőhely: 15+000 km (500 m sugarú vízszintes ív, 0,06% hosszúság);
- A mozgó mérőkocsival vizsgált szakasz: 12+000–17+000 km (a legkisebb ív, még a városi szakaszon 150 m, azon kívül 325 m, a legnagyobb hosszúság 2,4%);
- A sávok megnevezése: 1. sáv: Budapest felől
2. sáv: Budapest felé.

(A választást az indokolta, hogy a 2-es főúton 1988-ban 1000 szgk/h/sáv forgalmat regisztráltak [6].)

4-es főút, 1990. április 23., egész nap;

- A fix mérőhely: 90+000 km (a helysínrajz egyenes, a hosszszelvény vízszintes);
- A mozgó mérőkocsival mért szakasz: 86+000–94+000 km (a legkisebb vízszintes ív: 400 m, a legnagyobb emelkedő: 0,4%);
- A sávok megnevezése: 1. sáv: Budapest felől
2. sáv: Budapest felé.

Hollandia

N9-es főút, 1990. április 4.

- A fix mérőhely: 92+600 km (Den Helder és Alkmaar között);
- A mérőkocsival mért szakasz: 89+300–96+000 km. A helysínrajzi és hosszszelvényi jellemzők közel ideálisak. A szakasz közepén egy kis beépített terület 70 km/h értékű sebességkorlátozása okoz némi akadályoztatást.

A vizsgált szakaszokra vonatkozó előírt sebességkorlátozás 80 km/h.

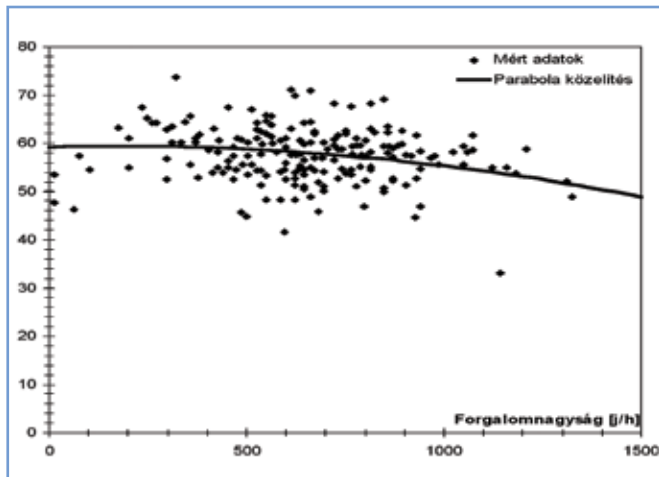
A 2-es főút nagy forgalmú helyzete, jelentős akadályoztatás mellett, befolyásolt, korlátozott sebességértékekkel; továbbiakban: *Ma.a* eset;

A 4-es főút kisforgalmú helyzete, gyakorlatilag szabad sebességválasztással, alacsony-közepes átlagsebességekkel; továbbiakban: *Ma.b* eset;

Az N9-es főút kisforgalmú helyzete, szintén szabad sebességválasztással, de magas átlagsebességekkel; továbbiakban: *Ho* eset.

2. táblázat: Az összes mérési eredmény átlaga

Mérési hely	Átlagos óraforgalom, J/h	Átlagsebesség, km/h	Átlagsebesség szórása, %
Ma.a/1. sáv	800	56,7	20,0
	526	53,9	20,1
	543	56,6	18,0
	540	54,1	23,8
Ma.a/2. sáv	525	58,2	23,5
	707	58,6	22,0
Átlag	607	56,4	21,2
Ma.b/1. sáv	259	74,2	18,9
	237	78,9	20,8
	278	72,6	18,6
Ma.b/2. sáv	361	72,1	22,9
	407	66,5	26,6
Átlag	308	72,9	21,6
Ho/1. sáv	358	91,1	14,9
	288	91,3	14,2
	359	84,5	15,4
	404	87,1	12,2
	456	89,3	11,9
Ho/2. sáv	348	83,5	18,7
	312	91,1	12,9
	320	80,7	17,2
	389	83,2	12,6
	480	85,2	13,8
Átlag	369	86,7	14,4



1. ábra: A forgalomnagyság és az átlagsebesség kapcsolata a 2-es főúton

2.2.2. A FORGALMI HELYZETEK ANALÍZISE

A két magyarországi útszakasz összehasonlítása azt mutatja, hogy a 600 J/h átlagos nagyságú 2-es úti nagy forgalom mintegy felével üzemelő (a mérés időpontjában) 4-es úton az átlagsebesség 15%-kal magasabb. A kis forgalom mellett viszont a sebességek szórása alig növekszik. Pedig az itt tapasztalt 300 J/h körüli forgalom már szabad forgalomnak tekinthető, és a 20% körüli nehéztehergépkocsi-arány is jelentősebb szórásnövekedést indokolna.

A hollandiai sebességértékek átlagosan 20%-kal nagyobbak, mint a 4-es főúton, a forgalom nagysága ezt mintegy 20%-kal haladja meg. A sebességek szórása a várakozással ellentétben jelentősen csökken. A jelenség magyarázata az, hogy a hollandiai járműpark jóval korszerűbb, nagyobb teljesítményű járművei homogén forgalmat alkotnak.

A 2. táblázat a mért értékek összefoglalását adja. A részletes vizsgálatok azt mutatták, hogy átlagsebességek eloszlása jó közelítéssel a normál eloszlás szerinti.

A sebesség forgalomnagyságtól való függését az 5 perces sebesség és az 5 perces forgalmi adatokból 1 órára számított forgalomnagyság között keresve lineáris és másodfokú összefüggéseket vizsgáltak. Az összefüggések közül a mérésekkel a legszorosabb kapcsolat minden esetben az utolsó, a forgalomnagyságot és a tehergépjármű-arányt első- és másodfokú formában tartalmazó kétváltozós függvény mutatta:

$$S = S_0 + a_1 \cdot F + a_2 \cdot F^2 + b_1 \cdot TA + b_2 \cdot TA^2$$

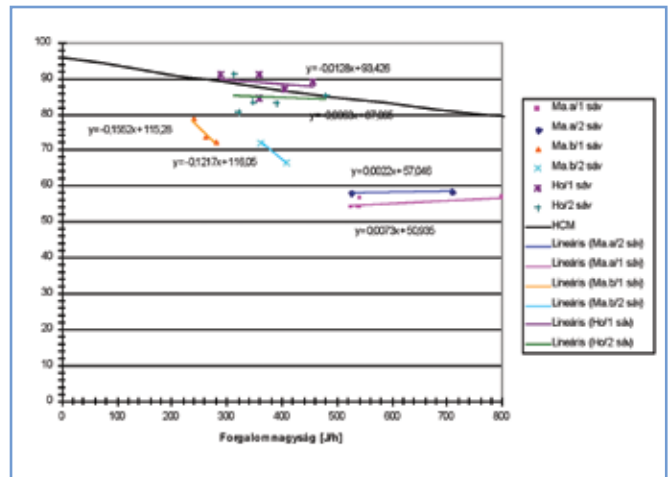
ahol:

- S – átlagsebesség
- F – forgalomnagyság
- TA – a tehergépjárművek %-os aránya
- S_0, a_1, a_2, b_1, b_2 – konstansok.

Mivel e függvény ábrázolása nem volt megoldható, az egyváltozós másodfokú függvény képe és a mért adatok mutatják be a sebességek alakulásának jellegét (1. ábra).

Az eredmények egymással, illetve a HCM-mel való összehasonlíthatóságuk céljából készült a 2. ábrán a HCM vonatkozó értékeivel egy koordináta-rendszerben szerepelnek az Ma, a , az Ma, b és a Ho esetekben mért összetartozó átlagsebesség- és csúcspóra-értékek.

Az ábra jól mutatta, hogy azonos forgalmi körülmények és sza-



2. ábra: A mért csúcspóraforgalmak és átlagsebességek összehasonlítása a HCM 1985-ös kiadványa vonatkozó értékeivel

bályozás esetén egy homogén, jó minőségű járműpark mennyivel nagyobb átlagsebességre képes.

2.3. MAGYARORSZÁGON AZ EZREDFORDULÓ IDŐSZAKÁBAN, KÜLTERÜLETI FOLYÓPÁLYA-SZAKASZOKON VÉGZETT VIZSGÁLATOK

A Biztonságkutató Mérnöki Iroda által a tárgyban elvégzett nagyszámú vizsgálata [5], [6] elméleti háttérrel egyrészt a sebesség-sűrűség alábbi általános alakú összefüggése, illetve másrészt az ezt Greenberg által javasolt közelítő logaritmusfüggvény adja, amely az általános alak alatt látható:

$$vs = f(k) \\ vs = c \cdot \ln(kj/k)$$

ahol:

- k – forgalom sűrűsége, J/km
- vs – az utazási sebesség (a pillanatnyi sebességek harmonikus átlaga, km/h)
- kj – a sűrűség maximális értéke, kj 125 –150 közötti érték
- c – konstans

Utóbbi behelyettesítve a forgalomnagyság $Q = k \cdot vs$ (J/h) összefüggésébe

$$Q = c \cdot k \cdot \ln(kj/k)$$

egyenlőséget kapjuk.

Elvégezve az alábbi átalakításokat:

$$Q/c = k \cdot \ln(kj/k)$$

$$Q/c = k \cdot \ln kj - k \cdot \ln k$$

Keresve a függvény maximumát:

$$d(Q/c)/dk = \ln kj - (\ln k + 1) = 0$$

$$\ln kj = \ln k + 1$$

$$\ln kj / \ln k = 1$$

$$\ln(kj/k) = 1$$

Ebből az következik, hogy

$$kj/k = e$$

ahol:

$$e = 2,71$$

A kapacitáshoz tartozó sűrűség:

$$k_{Qmax} = kj/e$$

Ezt behelyettesítve a $vs = c \cdot \ln(kj/k)$ egyenletbe, kapjuk a:

$$vs = c = Qmax/k_{Qmax}$$

összefüggést. Ebből következik a:

$$Qmax = c \cdot k_{Qmax}$$

összefüggés. A mérési adatok feldolgozásánál ezt a fenti összefüggést használták. A munkamódszer szerint először meghatározták a logaritmusfüggvény „c” állandóját, majd a kj értékének

3. táblázat: Mérési eredmények a 8. sz. főúton, Devecser mellett

Forgalomtechnikai paraméterek	Irány	Mérés I.	Mérés II.	Mérés III.	Mérés IV
Összforgalom, jármű	1.	20 126	24 122	27 382	23 618
	2.	20 947	25 087	27 412	23 752
ÁNF, J/nap	1.	2875	3015	3423	3374
	2.	2992	3136	3427	3393
Keresztmetszeti átlagsebesség, km/h	1.	89,5	89,5	90,2	90,8
	2.	88,8	88,2	88,9	90,0
Utazási átlagsebesség, km/h	1.	86,4	86,1	86,7	87,8
	2.	85,1	85,1	84,9	86,5
Átlagos sűrűség, J/km	1.	1,4	1,5	1,7	1,6
	2.	1,5	1,6	1,7	1,7
A „c” érték számított átlaga, km/h	1.	18,6	18,8	19,5	19,6
	2.	18,8	18,8	19,3	19,4
A kapacitás számított átlaga, J/h	1.	585	867	897	904
	2.	864	869	888	893
A „nem személygépkocsik” aránya, %	1.	51,9	50,5	52,1	49,9
	2.	48,6	48,3	46,5	43,9
A kapacitás, E/h	1.	1304	1305	1364	1355
	2.	1283	1289	1301	1285

megválasztásával kiszámolták a $k_{Q_{max}}$ nagyságát. A meghatározott „c” és $k_{Q_{max}}$ szorzata adta a számított Q_{max} -ot, vagyis a gyakorlati kapacitást.

A fenti számítás illusztrálására szolgáljon például a devecseri mérőhelyen számolt forgalmak és sebességek alakulása. A 8-as sz. főút 92+300 km-szelvényében a végzett mérések (3. táblázat) szerint az átlagsebesség gyakorlatilag 90 km/h. A megengedett legnagyobb sebesség az I. és II. méréskor 80 km/h, a III. és IV. méréskor pedig már 90 km/h volt. Az átlagos napi forgalom irányonként 2800 és 3400 J/nap között változott, tehát viszonylag kis forgalom bonyolódott le ezen az útszakaszon. A „c” várható értéke 20 km/h körüli és a becsülhető kapacitás 900 J/h. A forgalom közel fele áll személygépkocsikból. Az egységjárműben kifejezett óránkénti forgalom becsült maximuma 1300 körüli, nem teljesen azonos a két irányban.

A 3. ábrán bemutatott 2001. júniusi szombati devecseri keresztmetszeti mérés forgalomnagyság-sebesség pontjaira illesztett egyenes egyenlete szerint a szabad sebesség 98,1 km/h és a meredekség 0,018, ami jó hasonlóságot mutat a hollandok által megadott egyenes [7] meredekségével.

3. ÚJ MAGYARORSZÁGI VIZSGÁLATOK KÉTSÁVOS UTAKON

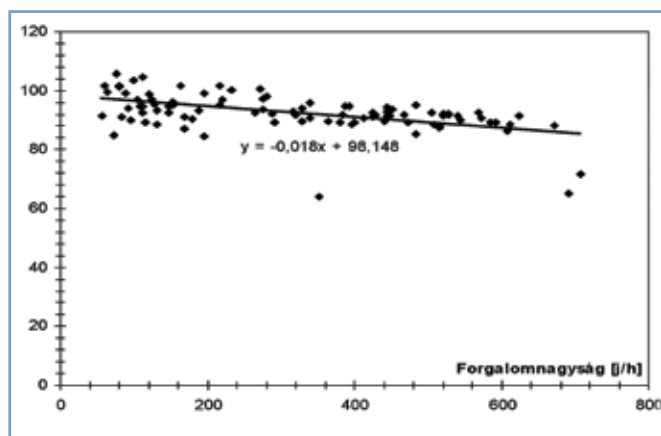
A kétsávos útszakaszok hazai vizsgálatára a 4. táblázatban felüntetett mérési helyeket választottuk ki. Igyekeztünk olyan külterületi szakaszokat elemezni, amelyek kapacitásközei forgalmakat bonyolítanak le.

Az útszakaszok háromféle sebességmérő rendszerrel lettek felszerelve: ADR, Raktel, QLD. Az ADR rendszer minden egyes, a keresztmetszetben áthaladó gépjárműről megállapítja a hosszát és a sebességét, a közlekedési sávot, illetve előre definiált járműkategóriába sorolja. Egy olvasható szövegfájlba minden jármű áthaladását egy sorban tárolja, az áthaladás időpontjának rögzítésével (másodperc pontossággal).

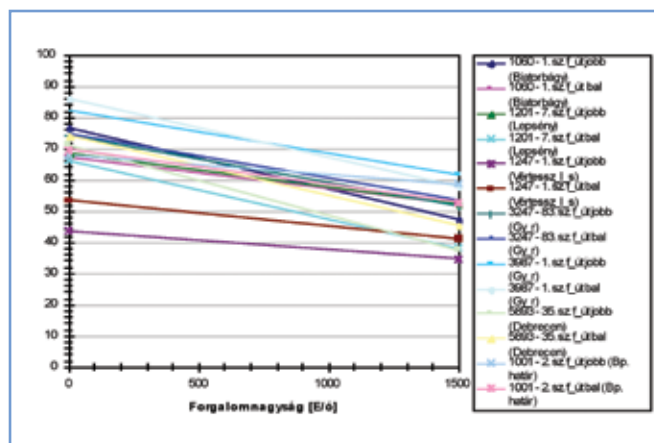
A Raktel rendszer előre beállított időtartam alatt (6 perc=60 perc) minden sávban megszámolja a járművek számát, és előre definiált sebességi kategóriákba sorolja. A keletkezett, olvasható szövegfájl tartalma az időtartam alatt a sebességi kategóriákban elhaladt járművek darabszáma. A nehéz járműveket külön számolja, sebességi kategóriától függetlenül, de e járműveknek

4. táblázat: Vizsgált sebességmérő detektorok

Detektor jele	Út száma	Helyszín	Rendszer	Mért órák száma
1060	1	Biatorbágy	QLD	3428
1201	7	Lepsény	Raktel	4519
1247	1	Vértesszőlős	QLD	2232
3247	83	Győr	QLD	3430
3987	1	Győr	QLD	3428
5893	35	Debrecen	QLD	1035
1001	2	Budapest határa	ADR	827



3. ábra: A 8. sz. főút 92+300 km-szelvényében mért adatok (2001. június 2., szombat)



4. ábra: A regressziós egyenesek a vizsgált kétsávos utakon

5. táblázat: A vizsgált keresztmetszetek forgalomlefordulása

Detektor jele, út száma, helyszín	Max. forgalomnagyság, E/h	A regressziós egyenes egyenlete
1060 – 1. sz. főút, jobb (Biatorbágy)	1657	$S = -0,0197 \cdot F + 76,6$
1060 – 1. sz. főút, bal (Biatorbágy)	1957	$S = -0,0100 \cdot F + 67,5$
1201 – 7. sz. főút, jobb (Lepsény)	1271	$S = -0,0110 \cdot F + 68,5$
1201 – 7. sz. főút, bal (Lepsény)	1190	$S = -0,0187 \cdot F + 66,1$
1247 – 1. sz. főút, jobb (Vértesszőlős)	1054	$S = -0,0062 \cdot F + 43,9$
1247 – 1. sz. főút, bal (Vértesszőlős)	983	$S = -0,0080 \cdot F + 53,3$
3247 – 83. sz. főút, jobb (Győr)	696	$S = -0,0153 \cdot F + 74,5$
3247 – 83. sz. főút, bal (Győr)	989	$S = -0,0142 \cdot F + 74,9$
3987 – 1. sz. főút, jobb (Győr)	1168	$S = -0,0135 \cdot F + 82,1$
3987 – 1. sz. főút, bal (Győr)	1326	$S = -0,0185 \cdot F + 85,8$
5893 – 35. sz. főút, jobb (Debrecen)	702	$S = -0,0225 \cdot F + 71,1$
5893 – 35. sz. főút, bal (Debrecen)	961	$S = -0,0191 \cdot F + 74,4$
1001 – 2. sz. főút, jobb (Budapest határa)	819	$S = -0,0061 \cdot F + 67,8$
1001 – 2. sz. főút, bal (Budapest határa)	1143	$S = -0,0112 \cdot F + 69,6$

megadja az összegzett sebességét is, km/h pontossággal. A személygépkocsik sebességét a kategóriák miatt csak közelítő pontossággal lehet kiszámítani.

A QLD-rendszer 60 perc intervallum adatait tárolja, járműkategóriánként a darabszámot és az átlagsebességet olvashatjuk ki egy ún. paradox adatbázisból.

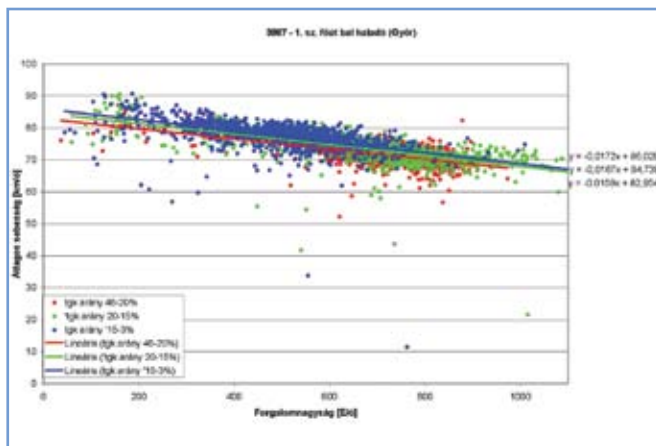
A rendszerek által szolgáltatott adatok alapján a következőképpen jártunk el: a járműveket csupán két kategóriára osztjuk: személygépkocsi és nem személygépkocsi. Ennek oka egyrészt a sebességmérő műszerek pontossága, másrészt pedig az adatok könnyebb kezelhetősége. A nehézármű-szorozót 1,5-ös értékben állapítottuk meg (a HCM síkvidéki tehergépkocsikra vonatkozó egyenérték-tényezője). Csak az 5 és 19 óra között mért adatokat elemeztük, a mért órák száma – vagyis a mérési adatok száma – a 4. táblázatban megtalálható. Minden esetben mindkét irányban külön-külön elvégeztük a kiértékelést.

A mért órákban az óras forgalomnagyság $[E/h] = 1,1 \times$ (személygépkocsik száma + $1,5 \times$ nem személygépkocsik száma). Az 1,1-es érték a csúcspóra és a csúcspóra négyeszerese közötti

viszonyszám valószínű értéke, amelyet a HCM-mel való összehasonlíthatóság miatt határoztunk meg.

Az amerikai HCM méretezési kézikönyv [7] a hazai csúcspóra mértékadó forgalom helyett a csúcspóra négyeszeresét alkalmazza, vagyis nem a legnagyobb forgalmú óra forgalmát tekinti csúcspornak, hanem a legnagyobb forgalmú negyedóra négyeszeresét, így a kis ideig tartó forgalmi csúcspórák jobban kiemelkednek, kevésbé „kenődnek szét”, mint a csúcspóraforgalom esetében. Illetve az így megállapított kapacitás-határértékek jelentős biztonsági tartalékkal rendelkeznek.

Az egyes mért értékeket forgalomnagyság (E/h) – átlagsebesség (km/h) diagramban ábrázolva egy pontfelhőt kapunk. A pontfelhőre lineáris trendvonal illeszthető, amelyről elmondható, hogy mindenképpen monoton csökkenő értéket ad, változó csökkenési ütemmel. A csökkenés üteme a helyi adottságtól és a forgalomnagyság maximumától is függ. Az 5. táblázatban a vizsgált útszakaszok forgalomnagyság–sebesség pontfelhőjére illesztett lineáris trendvonal egyenletét, illetve az adott keresztmetszeten fellépő maximális forgalomnagyság értékét mutatjuk be. A 4. ábra a regressziós egyenesek (trendvonalak) képét mutatja egy ábrában, az összehasonlíthatóság végett.



5. ábra: Forgalm nagyság–átlagsebesség diagram a forgalom összetétele függvényében I.

A forgalmi kapacitás kimerülését egyedül a 1060. mérőhelyen (1. sz. főút, Biatorbágy) tapasztaltuk. Az 1060. detektor egyúttal a legnagyobb forgalm nagyságot mutatta. A jobb oldali sáv sebessége a forgalom növekedésével sokkal erősebben csökken, ennek oka az útszakasz emelkedésében keresendő.

Az 1201. detektoron a szabad haladási sebesség viszonylag alacsony, átlagosan nem éri el a 70 km/órát sem. Itt a forgalom nagysága 90%-ban 400 E/h alatt marad, ritka esetekben szalad ennél feljebb.

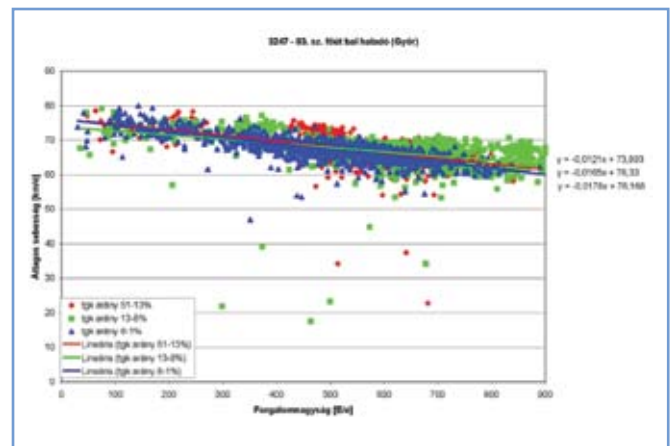
Az 1247. detektoron a forgalom maximuma 1000 E/h körül alakul, itt viszont megállapítható, hogy a regressziós egyenesek meredeksége kicsi, illetve a szabad sebesség is kicsi, tekintettel arra, hogy a mérés belterületi szakaszon történt.

A 3247. sz. detektoron a szabad áramlási sebesség 74 km/h körül alakul és közepes meredekséggel csökken, csakúgy, mint a 3987. sz. detektoron, ahol a szabad sebesség kissé magasabb, 83-85 km/h.

Az 5893. sz. detektoron a szabad áramlási sebesség 70 km/h körül alakul, de a csökkenés üteme a forgalom növekedésével intenzív.

Az 1001. sz. detektoron a két irány viselkedése eltérő. Ez magyarázható azzal is, hogy a mérőhely a 2. sz. főúton Budapest határában található. A kifelé tartó forgalom átlagsebességét kevésbé csökkenti a forgalom növekedése, mint a befelé tartóét. A szabad sebesség viszont közel hasonlóan alakul, 68-69 km/h körül. A mérőhely egyébiránt helyszínrajzi ívben található. A Biztonságkutató Mérnökiroda korábban ezen a mérőhelyen szintén végzett méréseket, amelyekhez képest a szabad áramlási sebesség lecsökkent.

Korábbi vizsgálataink azt mutatták, hogy a járműforgalom összetétele – a „nem személygépkocsik” aránya – hatással van a szabad áramlási sebességre, illetve annak változására a forgalom növekedésére. Ennek igazolására a kétsávos utak adatbázisából olyan görbéket állítottunk elő, amely az adott útszakasz óránkénti forgalmának nagyságát három osztályba sorolja, aszerint, hogy a „nem személygépkocsik” milyen %-ban fordulnak elő az útszakaszon. A vizsgálatainkban a három csoport az adott útszakaszra jellemző „nagy”, „közepes” és „kicsi” nem személygépkocsi-arányú órákat jelenti. Minden egyes osztályba tartozó forgalm nagyság–átlagsebesség értékpárokat ábrázoljuk, majd



6. ábra: Forgalm nagyság–átlagsebesség diagram a forgalom összetétele függvényében II.

regressziós egyenest illesztünk rá. A regressziós egyenes egyenletéből következtetni lehet a forgalom-összetétel hatására.

A vizsgálat kimutatta, hogy volt olyan eset, amely igazolja ezt az állítást (5. ábra), azaz a „nem személygépkocsik” arányának növekedésével csupán a szabad áramlási sebesség csökken, az egyenes meredeksége nem. A vizsgálataink során azonban találtunk ennek ellentmondó példát is, amikor a forgalom-összetétel és a regressziós egyenes állása, meredeksége között semmilyen logikai kapcsolat nem volt kimutatható (6. ábra).

4. JAVASLATOK KÉTSÁVOS UTAK ÚJ KAPACITÁSÉRTÉKEIRE

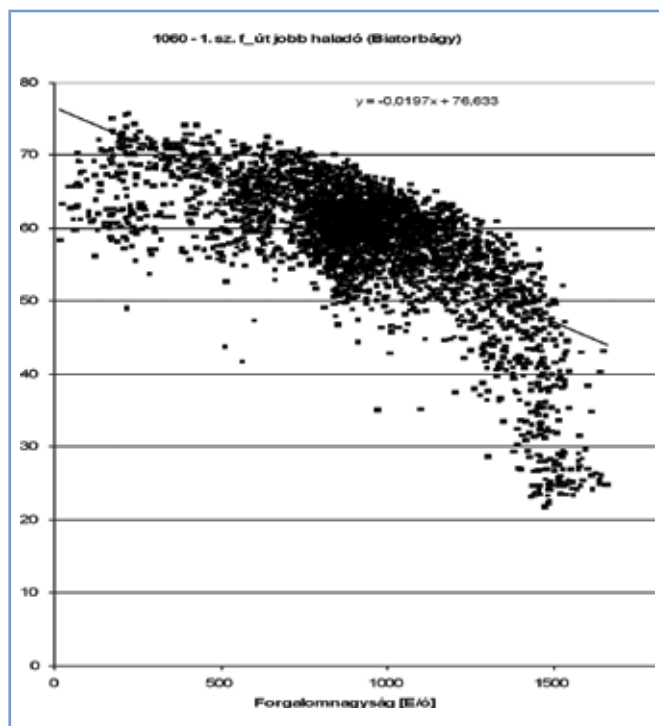
A kétsávos főutak lehetséges maximális tervezési forgalm nagyság-értékei tekintetében meghatározó a 7. és 8. ábra (1060. mérőhely). Az ábrák az 1. sz. kétsávos optimális keresztmetszeti kialakítású főúton (2007. május 1. és 2007. december. 31. közötti mérési időszakban) előforduló sávonkénti forgalmakat mutatják. A nehézjárműarány jelentősen változó, a legnagyobb forgalmú időszakokban 10–13% körül alakul, az egyenérték-tényező a fentieknek megfelelően: 1,5.

Ha a kapacitást, úgy tekintjük, mint a sebesség–forgalm nagyság függvény egyenletesen csökkenő szakasza végét közvetlenül megelőző forgalm nagyság értékét, azaz az instabil forgalom kialakulása előtti forgalm nagyságot, akkor látható, hogy ezek értéke: 1700 + 1500 E/h.

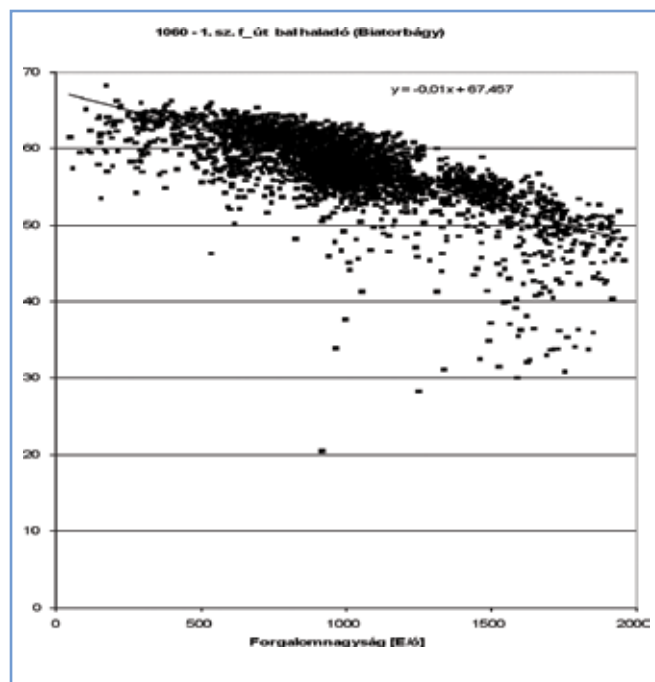
Azaz a HCM 2000 [7] kétsávos főutakra tett megállapításai érvényesek a hazai forgalmi körülményekre vonatkozóan is, valamint a közutak tervezése előírás [8] kapacitásértékei (1400 E/h – megfelelő, 2000 E/h – eltűrhető) jelentősen elmaradnak a tényleges teljesítőképesség értékétől. Ezen értékek megváltoztatása nemzetgazdasági szempontból igen fontos, mivel a hálózatfejlesztés helyeit, módjait döntő mértékben befolyásolja a meglévő hálózat kapacitása.

Fentiekből következik az, hogy egyrészt a HCM kétsávos utakra vonatkozó szolgáltatás szint-megítélési módszertana Magyarországon is igen jól lenne használható. Ezt más szerzők [9], [10] is szorgalmazzák.

Azonban mindemellett, az is nagyon fontos lenne, hogy addig, amíg a HCM szemlélete átmegy a közutakkal hivatásszerűen foglalkozók gyakorlatába, addig az utak mértékadó forgalmi terhe-



7. ábra. 1. sz. főút forgalmnagyság–sebesség összefüggése



8. ábra: 1. sz. főút forgalmnagyság–sebesség összefüggése

lését a forgalmnagyság/kapacitás (F/K) értékkel is jellemezzük. Ennek révén minden forgalmi beavatkozás egyértelműen indokolható lesz, illetve a nem hatékonyak könnyen kétségbe vonhatók.

IRODALOM

- [1] Vizsgálatok nagyforgalmú utak forgalmi körülményei megfelelőségének meghatározására. Béneyi A., Ambrus K., Csorja Zs. Tanszéki (Útépítési) Tudományos Közlemények, 1984.
- [2] Some Preliminary Results of Groet Report of Measuring Program in Netherland. Delft University of Technology, 1990. 4.
- [3] Forgalomtechnikai mérőrendszer a közúti sebesség útvonali alakulásának vizsgálatára. Koller S., Forrágy Cs., Fi I., Közlekedéstudományi Szemle, 1983.
- [4] Útépítési és forgalomtechnikai elektronikus műszerek fejlesztése a BME Útépítési Tanszékén. Forrágy Cs., Török K., Ambrus K., Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle. 1988. 10.
- [5] Közúthálózat külterületi szakaszaira jellemző átlagsebesség meghatározása. Készítette: Biztonságkutató Mérnöki Iroda. 1999. Megrendelő: UKIG
- [6] A nagy forgalmú II. rendű főutak forgalomlefordulásának jellemzése fundamentális diagramok segítségével. Készítette: Biztonságkutató Mérnöki Iroda. 2001. szeptember. Megrendelő: ÁKMI
- [7] Highway Capacity Manual, Transportation Research Board National Research Council Washington, D.C. 2000.
- [8] Közutak tervezése, ÚT 2-1.201:2008
- [9] Tóth-Szabó Zs.: A közúti szolgáltatási szint értelmezései. Közúti és Mélyépítési Szemle, 58. évfolyam, 7. szám.
- [10] 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.

SUMMARY

TRAFFIC ANALYSIS OF TWO-LANE HIGHWAYS IN HUNGARY

Through the analysis of huge amounts of traffic data collected by loop detectors we can get a lot of information about the traffic conditions of different highway sections. These equipments are able to measure the main parameters of traffic flow.

According to the current effective Hungarian regulations (Közutak Tervezése ÚT 2-1.201:2008) only two, a tolerable, and an eligible classes of level of services (LOS) are used in the traffic design praxis, instead of the worldwide used 5 levels of LOS (A-E) according to the Highway Capacity Manual /HCM/ (2000).

In the Hungarian regulations, the tolerable (Fm) is the design level. The eligible (Fe) is the so called intervention level. The eligible capacity (2000 pcph) is significantly lower, than the capacity of HCM (3200 pcph) recommendation.

On the base of our results the 3200 pcph recommendation of the HCM 2000 can be recommended as the possible maximum traffic volume also in Hungary. Using these capacity values, being about 30% higher than the older ones, the network development would be much cheaper for the national economy.

KÉTRÉTEGŰ PÁLYASZERKEZET-MODELLEK PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA FWD-MÉRÉSEK ALAPJÁN

PRIMUSZ PÉTER¹ – MARKÓ GERGELY²

1. BEVEZETÉS

A hajlékony útpályaszerkezetek teherbírásának meghatározása nem egzakt feladat, ehhez ugyanis nem rendelkezünk általánosan elfogadott elmélettel. Ha továbbmegyünk, azt is megállapíthatjuk, hogy a pályaszerkezet teherbírásának egyértelmű definiálása is nehézségekbe ütközik. A teherbírással ellentétben a merevség – mint adott terhelés hatására bekövetkező alakváltozás – definiálható, sőt mérhető. Jelenlegi gyakorlatunkban hajlékony útpályaszerkezetek terhelés hatására bekövetkező alakváltozását, vagyis a lehajlási teknőt nehéz ejtő súlyos berendezésekkel (FWD) mérjük. Mérési technológiánk kifinomult és korszerű, az eredmények feldolgozása terén azonban – véleményünk szerint – további fejlesztésekre van szükség.

Célunk egy egyszerű, kevés bemenő paramétert igényelő eljárás kidolgozása, amelynek segítségével a következő kérdéseket válaszolhatjuk meg:

- Hogyan lehet a pályaszerkezet alakváltozását számszerűsíteni?
- Mekkora lehet az aszfaltrétegek hátralévő élettartama?
- A pályaszerkezet melyik rétegének leromlása okozhatja a problémákat?
- Milyen alakváltozások várhatóak a jelenlegi pályaszerkezet megerősítése után?
- Mekkora lehet az erősítő réteg(ek) hátralévő élettartama?

Cikkünk a vizsgált hajlékony pályaszerkezet egy lehetséges mechanikai modelljének felépítésével foglalkozik. A megfogalmazott kérdéseket a későbbiekben majd a megfelelően paraméterezett modellekre alapozva válaszolhatjuk meg.

A különböző pályaszerkezet-variációk viselkedését a Bisar számítógépes programmal szimuláltuk, a dr. Ambrus Kálmán által 2001-ben publikált cikk alap gondolatát követve [2]. A mechanikai modellt némileg egyszerűsítettük (számításainkat kétrétegű pályaszerkezet-modellen végeztük), a behajlási teknő alakjából levezethető paramétereket (pl. görbületi sugár) pedig egy, a teknőalakot jól reprezentáló regressziós görbe segítségével számoltuk [14].

Az eddigi eredményeink alapján összeállított számítási eljárás és grafikonosorozat segítségével, bemenő paraméterként mindössze a kötött réteg vastagságát és az FWD-méréseket felhasználva számíthatóvá válik a kétrétegű pályaszerkezet-modell rétegeinek rugalmassági modulusa. Az elméleti levezetések eredményeként a lehajlási vonal c alak tényezőjének (lásd később) sikerült a mechanikai jelentőségét is feltárni. Megerősítjük a korábbi kutatások azon eredményét, miszerint a meglévő pályaszerkezet viselkedését homogén féltérrel, illetve az egyenértékű modulusal csak korlátozottan lehet leírni, ugyanakkor javaslatot teszünk az egyenértékű modulus „pontosabb” meghatározására is.

Kutatásaink alapvetően az erdészeti utak vékony pályaszerkezeteire koncentrálnak, de eredményeink az alsóbbrendű közutak hajlékony pályaszerkezeteinek vizsgálatánál is hasznosak lehetnek.

2. MECHANIKAI ÖSSZEFÜGGÉSEK

2.1. A VÉGTELEN HOMOGEN FÉLTÉR ÖSSZEFÜGGÉSEI

A Boussinesq-féle feszültségképletekből kiindulva levezethető $d=2r$ átmérőjű hajlékony kőralap középpontja alatti D_0 süllyedés vagy lehajlás értéke [12]:

$$D_0 = \frac{2 \cdot p \cdot r}{E} \cdot (1 - \mu^2) \quad (1)$$

ahol

D_0 – a terhelés tengelyében mért függőleges elmozdulás, mm

E_e – a rugalmas féltér modulusa, MPa

p – felületi terhelés, MPa

r – a terhelt tárcsa sugara, mm

μ – Poisson-szám

A központi lehajlás mellett Odemark a szokásos módon terhelt E_e modulusú rugalmas féltér deformációs vonalát is számította az $y=f(p, r, E_e)$ függvény segítségével. Ennek a $x=0$ helyen vett második differenciálműveletével jól közelíti a görbület értékét. Az R_0 görbületi sugár így tehát egyrétegű féltér esetén a következő képlettel számítható [12]:

$$R_0 = \frac{E_e \cdot r}{p \cdot (1 - \mu^2)} \quad (2)$$

Mind a két összefüggés azonos eredményt szolgáltat homogén végtelen féltér esetén, így belátható, hogy a központi lehajlás és a görbületi sugár között függvénykapcsolat áll fenn. Vegyük a fenti két egyenlet által szolgáltatott egyenértékű modulus hányadosát:

$$c = \frac{2 \cdot r^2}{R_0 \cdot D_0} \quad (3)$$

A c tényező a modulusok hányadosát fejezi ki, ami homogén végtelen féltér esetén $c=1$ értéket vesz fel. Ezt elfogadva a központi behajlás és a görbületi sugár között a következő kapcsolat írható fel:

$$R_0 = 2 \cdot \frac{r^2}{D_0} \quad (4)$$

A fenti összefüggés egyébként megegyezik Müller és Ullidtz már publikált képleteivel [13]. A gyakorlatban a központi lehajlás által számolt felületi modulus terjedt el, de ha rendelkezésre áll a görbületi sugár számértéke is, akkor a két összefüggés összevonható:

$$\frac{R_0}{D_0} = \frac{E_e^2}{2 \cdot p^2 \cdot (1 - \mu^2)} \quad (5)$$

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

² Okl. erdőmérnök, okl. építőmérnök; egyetemi docens; NYME Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet; e-mail: gmarko@emk.nyme.hu

azaz a pályaszerkezet egyenértékű rugalmassági modulusa:

$$E_e = p \cdot \sqrt{2} \cdot (1 - \mu^2) \cdot \sqrt{\frac{R_0}{D_0}} \quad (6)$$

A fenti képletet először Beckedahl–Straube közölte [1], [5]. Pályaszerkezet-elemzésében Jendia a felső kötött rétegre jellemző görbületi sugár és a tárcsaközép hányadosát a teherbírás közvetett jellemzőjének tartotta és a $r \cdot \sqrt{\frac{R_0}{D_0}}$ paramétert „teherbírasi számnak” nevezte el [11], [15]. A pályaszerkezet teherbírása kimerül, ha ennek értéke 0,75 alatt van. Az összefüggés gyakorlati elterjedését a görbületi sugár pontos meghatározása hátráltatta. A Beckedahl-féle összefüggés azonos eredményt ad homogén végtelen féltér esetén a tárcsaközép-süllyedésből levezetett összefüggéssel.

Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy homogén végtelen féltér esetén a $D_0 \cdot R_0 = 2 \cdot r^2$ egyenlőségnek teljesülnie kell. Másképpen fogalmazva, csak azok az útpályaszerkezetek modellezhetőek egyenértékű felületi modulussal, ahol igaz, hogy $c=1$. Minden más esetben ez az egyszerűsítés már nem alkalmazható. Homogén féltér esetén mindegy, hogy melyik összefüggéssel számoljuk a pályaszerkezet egyenértékű modulusát.

2.2. VALÓSÁGOS PÁLYASZERKEZETEK

A gyakorlati tapasztalatok szerint a központi lehajlás és a görbületi sugár között az elméleti úton levezetett összefüggés nem mindig áll fenn [4], [5], [6], [7], [8]. Erről már számtalan szerző beszámolt és felhívta rá a figyelmet (pl.: Boromisza, Karoliny, Tóth stb). Ez egyébként elméleti úton is belátható, mivel útpályaszerkezeteink többretegűek, és eltérő vastagságú és szerkezetű anyagokból épülnek fel ezért a valóságos pályaszerkezetek esetén a kétféle végképlettel számolt (1), (2) felületi modulus hányadosa nem egy, hanem attól eltérő értéket vesz fel ($c \neq 1$).

Szerencsére van rá mód, hogy ezt az „eltolódást” megmérjük. Erre fel lehet használni az FWD által mért behajlási vonalat. A Primusz–Tóth szerzőpáros a Szemle 2009. 12. számában közölt egy számítási módszert, amivel a mért FWD-adatokra illesztett függvényből a görbületi sugár meghatározható. Az ott közölt függvény módosított változatát bevezetve:

$$D(x) = \frac{D_0 \cdot 4 \cdot r^2}{c \cdot x^2 + 4 \cdot r^2} = \frac{D_0}{c \cdot \left(\frac{x}{d}\right)^2 + 1} \quad (7)$$

amiből a görbületi sugár az $x=0$ helyen:

$$R_0 = 2 \cdot \frac{r^2}{c \cdot D_0} \quad (8)$$

Vegyük észre, hogy az illesztett függvény c alaktényezője nem más, mint a központi behajlás és a görbületi sugár által számolt, elméleti úton levezetett felületi modulusok hányadosa (lásd a 3.

összefüggést). Ezért a függvényből levezetett R_0 értéket behelyettesítve a Beckedahl–Straube összefüggésbe (6):

$$E_e = \frac{2 \cdot p \cdot r}{D_0 \cdot \sqrt{c}} \cdot (1 - \mu^2) \quad (9)$$

vagyis

$$D_0 = \frac{2 \cdot p \cdot r}{E_e \cdot \sqrt{c}} \cdot (1 - \mu^2) \quad (10)$$

A pályaszerkezet „pontosabb” felületi modulusa most már számítható, de még így sem modellezhető egy többretegű rendszer minden esetben a felületi modulussal. A levezetés haszna abban rejlik, hogy a homogén végtelen féltér feltételezése mellett levezetett összefüggéseket kiterjesztettük többretegű rendszerek esetére is. A plusz paraméter meghatározása pedig nem igényel többletmérést a megszokotthoz képest.

2.3. A KÉTRÉTEGŰ RENDSZER

A kétrétegű rendszer matematikai-mechanikai szempontból egzakta megoldását először Donald M. Burmister adta meg 1945-ben. Később módszerét n rétegre is kiterjesztette 1954 és 1956 között. A kétrétegű rendszer megoldására – a bonyolult számítások elkerülése érdekében – diagramot is közölt. A központi lehajlás számítására az egyrétegű rendszernél már megismert képletet alkalmazta:

$$D_0 = \frac{2 \cdot p \cdot r}{E_1} \cdot (1 - \mu^2) \cdot F_d \quad (11)$$

A képletben tehát az alsó réteg (a féltér) modulusát veszi figyelembe, amit egy F_d süllyedési tényezővel szoroz, amelyet az ismert $\frac{h}{r}$ és $\frac{E_2}{E_1}$ arányszámok alapján határoz meg. A süllyedési tényező tulajdonképpen az

$$F_d = \frac{E_1}{E_e} \quad (12)$$

hányadossal egyezik meg [12]. Ha lehetőség nyílna arra, hogy a behajlási teknő geometriája és a kétrétegű rendszer $\kappa = \frac{E_2}{E_1}$ aránypára között összefüggést találjunk, akkor mind az alsó, E_1 , mind a felső réteg modulusa közvetlenül visszaszámíthatóvá válna az FWD-mérésből.

3. BISAR-SZIMULÁCIÓ

3.1. A BACKCALCULATION MÓDSZEREK KORLÁTAI

Az FWD-készülékek által mért lehajlási teknőből már többen megpróbálták a pályaszerkezeti rétegek modulusait meghatározni a többretegű rendszerek elméletét felhasználva. Az egyik legerjedtebb modulusbecslő módszer a backcalculation, amikor is a többretegű pályaszerkezetekre kidolgozott mechanikai számítási módszereket alkalmazva, az ismert adatokból kiindulva, iterációs eljárással határozzák meg a mért lehajlásvonalat legjobban

1. táblázat. A különböző visszaszámítási módszerek használhatósága, Grätz nyomán

Alkalmazott rétegrendszer	A számítási módszer jellege	A konvergencia mértéke	A megoldás egyértelműsége
Egyrétegű	Féltér-egyenlet	–	Igen
Kétrétegű	Iteráció	Jó	Igen
Háromretegű, < 20 cm vastagság	Iteráció	Jó	Esetektől függő
Háromretegű, > 20 cm vastagság	Iteráció	Nem stabil	Többnyire többértelmű
Négyretegű	Iteráció	Nagyon nem stabil	Mindig többértelmű

megközelítő pályaszerkezet-jellemzőket [2]. A módszerről mára már bebizonyosodott, hogy csupán a kétrétegű rendszeren alapuló algoritmusok adnak egyértelmű eredményeket (1. táblázat). A háromrétegű rendszerekkel számoló eljárások már csak akkor konvergensek, ha az egyes rétegek vékonyak ($h < 20$ cm). Ennek ismeretében a kutatások a kétrétegű rendszerrel való modulus-viszszámítás elméletét helyezték középpontba és számos egyszerűsítő modulusbecslő regressziós összefüggést dolgoztak ki [3].

A meglévő útpályaszerkezetek modellezését ezért célszerű kétrétegű rendszerre alapozni és az így meghatározott paramétereket felhasználni további számításokra.

3.2. A BISAR-SZIMULÁCIÓK VÉGREHAJTÁSA

A szimulációkhoz a Bisar-program DOS-os változatát használtuk, mert így – a kiindulási adatfájlok generálása után – a számításokat kötegelten tudtuk futtatni. A kiindulási adatfájlok tartalmazzák az egy menetben számítandó pályaszerkezetek felépítését (rétegek száma, vastagsága, modulusa stb.), a terhelés nagyságát és helyét, illetve azon pontok koordinátáit, ahol az igénybevételeket és elmozdulásokat számíthatni akarjuk. Az adatfájlokat saját fejlesztésű programmal generáltuk.

A Bisar-szimulációt homogén féltér, illetve kétrétegű rendszer feltételezésével is lefuttattuk. Homogén végtelen féltér esetében a féltér modulusát 50 és 1000 MPa között, 15 különböző értékkel vettük fel. A féltér Poisson-tényezője 0,5 értékkel szerepelt.

A kétrétegű pályaszerkezet-modellek esetében a felső, „kötött” réteg modulusa 1000 és 8000 MPa között, az alsó, „nem kötött” féltér modulusa 20 és 500 MPa között változott. A minimális és maximális modulusok között mindkét réteg esetében 12 értéket vettünk fel, a felvett értékek közötti tartomány logaritmikusan felosztásával. A Poisson-szám mindkét réteg esetében 0,5 volt. A felső, „kötött” réteg vastagsága 50 és 300 mm között változott, a vizsgált tartományt itt is logaritmikusan osztottuk fel, hat különböző értéket vizsgálva. A Bisar-programmal a rétegek közötti együttdolgozás is modellezhető, ezért a számításokat teljes együttdolgozás és teljes elcsúszás feltételezésével is lefuttattuk. A kétrétegű rendszert így $12 \times 12 \times 6 \times 2 = 1728$ kombinációban modelleztük.

A Bisar-programmal az igénybevételeket és alakváltozásokat több pontban is számítottuk. A pontoknak a terhelés tengelyétől mért távolsága megegyezett az FWD-készülékek szokásos szenzorrendezésével. Az igénybevételeket és elmozdulásokat számítottuk a burkolat felületén, illetve a „kötött” réteg alján is.

A Bisar-program futtatása után eredményül kapott szövegfájlokat egy újabb, saját fejlesztésű programmal értékeltük ki. A Bisar által a burkolat felületén számolt függőleges elmozdulásokra mint egy FWD-mérés eredményére tekintettünk, és a „mérésekre” illesztettük a (7) alatt megadott függvényt, az alábbiak szerint:

$$c(x) = \frac{D_0}{D(x) \cdot \left(\frac{x}{d}\right)^2 + 1} \quad (13)$$

A (7) összefüggés átrendezésével a c alaktényező kifejezhető, ahol:

$c(x)$ – alaktényező, ha a függvény átmegy a terhelés tengelyétől x távolságra mért $D(x)$ lehajlások keresztül

D_0 – a terhelés tengelyében mért függőleges elmozdulás, mm

x – a szenzor távolsága a terhelés tengelyétől, mm

D_x – a terhelés tengelyétől x távolságban mért függőleges elmozdulás, mm

d – a terhelt tárcsa átmérője, mm

Vagyis D_0 és d ismeretében, x és $D(x)$ függvényében megkapjuk egy lehetséges lehajlási vonal alaktényezőjét. A szimulált lehajlási vonalra jellemző alaktényezőt végül az első öt szenzorhelyre számolt alaktényezők átlagolásával kaptuk:

$$c = \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^5 \frac{D_0}{D_i \cdot \left(\frac{x_i}{d}\right)^2 + 1} \quad (14)$$

ahol:

c – alaktényező

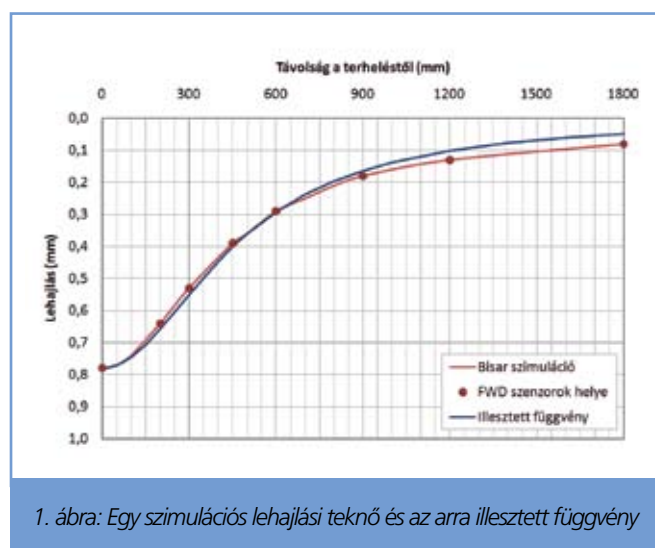
D_0 – a terhelés tengelyében mért függőleges elmozdulás, mm

x_i – az i . szenzor távolsága a terhelés tengelyétől, mm

D_i – az i . szenzor által mért függőleges elmozdulás, mm

d – a terhelt tárcsa átmérője, mm

Az 1. ábra egy modellezett lehajlási vonalat mutat be, a „szenzorok” és az illesztett függvény feltüntetésével.



1. ábra: Egy szimulációs lehajlási teknő és az arra illesztett függvény

A kétrétegű rendszer esetében meghatároztuk a függvények illesztésének hibáját, az első öt szenzorhelyen mért eltérés figyelembevételével, az alábbiak szerint:

$$H = \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^5 \left| \frac{Dm_i - Df_i}{Dm_i} \right| [\%] \quad (15)$$

ahol:

H – az átlagos illesztési hiba, a Bisar-modellhez képest, %-ban

D_{mi} – a Bisar-modellezésből származó függőleges elmozdulás az i . szenzorhelyen

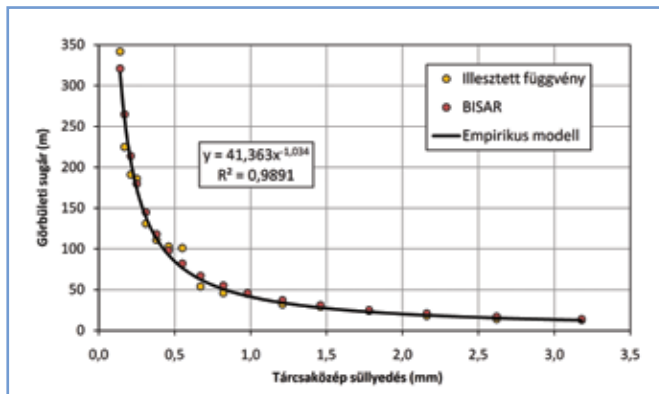
D_{fi} – az illesztett függvénnyel számított függőleges elmozdulás az i . szenzorhelyen

Az 1728 különböző pályaszerkezet-modell (15) szerint számolt illesztési hibájának átlaga 4,5%-ra adódott, 2,6% szórás mellett.

3.3. A HOMOGEN VÉGTENEN FÉLTÉR VIZSGÁLATA

A Bisar-programmal számítottuk 15 egyrétegű rendszer lehajlási vonalát, ahol a felületi modulus 50 és 1000 MPa között változott. A kapott deformációs vonalra a már ismertett függvényt illesztettük és meghatároztuk a c alaktényező értékét. A kapott értékek 0,95 és 1,15 között helyezkedtek el, átlaguk pedig 1,05-re adódott. A Bisar programmal számolt normalizált D_s/D_0 deformációs vonalak is megegyeztek egymással. Ebből arra következtettünk, hogy a modulus változtatása még önmagában nem elegendő, hogy egy meglévő valóságos szerkezetet tudjunk modellezni, mivel a behajlási teknő alakja mindegyik esetben közel azonosra adódott ($c \sim 1$).

Ezután az illesztett függvényből számítottuk a görbületi sugarakat is. Az értékeket $D_0 - R_0$ diagramon ábrázoltuk. A 2. ábrán látható, hogy végtelen féltér esetén a tárcsaközép-süllyedés és a görbületi sugár között kimutatható a már levezetett összefüggés, sőt még az „empirikus” adatokra illesztett regressziós modell is visszaadja azt: $R_0 = 45 \cdot D_0^{-1}$, ahol $2 \cdot r^2 = 45[m]$, vagyis az illesztett függvényből levezetett sugár jól közelíti a rugalmasságtan tételei alapján számolt értéket.

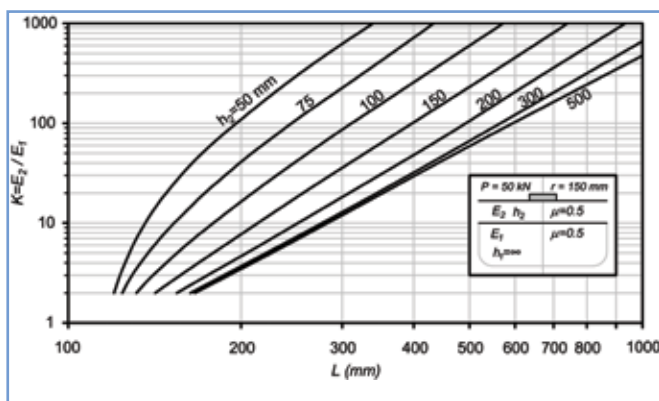


2. ábra: A tárcsaközép-süllyedés és a görbületi sugár kapcsolata homogén féltér esetén

Össességében tehát a Bisar-program tökéletesen visszaadta a zárt alakban levezetett összefüggéseket és megerősítette azt a sejtést, miszerint a felületi modulus alkalmazása csak kivételes esetekben használható meglévő szerkezetek modellezésére.

3.4. KÉTRÉTEGŰ RENDSZER VIZSGÁLATA

A Bisar-szoftver eredményeit felhasználva összefüggést kerestünk a behajlási teknő alakjából levezethető paraméterek [14] és a kétrétegű rendszer paraméterei között. Legnagyobb meglepetésünkre az alaktényező és az abból levezethető merevségi sugár értéke $L = \frac{2r}{\sqrt{3c}}$ valamint a rétegmodulusok hányadosa és vastagsága között igen szoros összefüggés mutatkozott. Az eredmények grafikus feldolgozását a 3. ábra mutatja be.



3. ábra: A merevségi sugár és a rétegmodulusok aránya közötti összefüggés (teljes elcsúszás)

A kapcsolat matematikai modelljét egyébként már Hogg 1938-as és 1944-es munkájában [9, 10] feltárta, ahol a lemezek mechanikájából indult ki:

$$D = \frac{E_p \cdot h_p^3}{12 \cdot (1 - \mu_p^2)} \quad (15)$$

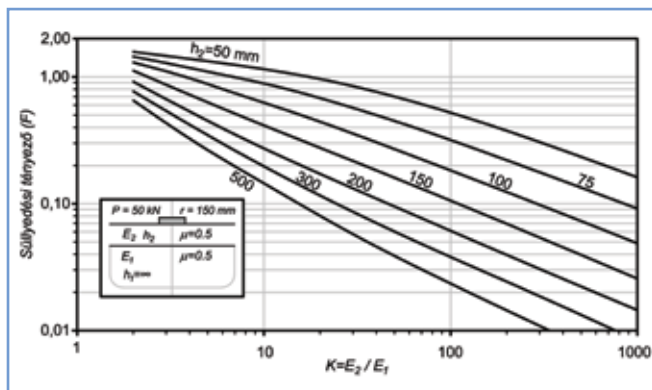
ahol D a lemez merevségét fejezi ki, E_p , h_p , μ_p a lemez modulusa, vastagsága és Poisson-száma.

A lemez karakterisztikus hossza Hogg szerint a következő ():

$$\ell_0 = \sqrt[3]{\frac{D}{E_{sg}} \cdot \frac{(1 + \mu_{sg}) \cdot (3 - 4 \cdot \mu_{sg})}{2 \cdot (1 - \mu_{sg})}} \quad (16)$$

ahol E_{sg} , μ_{sg} a földmű modulusa és Poisson-száma. A karakterisztikus hosszának feleltethető meg a behajlási teknő geometriájából levezett „merevségi sugár”. Így a 3. grafikonhoz hasonló ábra szerkeszthető Hogg modellje alapján is. A kettő közötti fő különbség az, hogy míg Hogg a lemezek elméletéből indult ki, addig mi a féltérelméltre alapoztuk a számítást. Mindenesetre megnyugtató, hogy a merevségi sugár fogalma és szerepe azonosnak vehető a lemezeknél használt karakterisztikus hosszal.

Tovább folytatva a vizsgáldást, újabb diagramot tudunk szerkeszteni a modulusok hányadosa és a süllyedési tényező (12-es összefüggés) számértéke között, felhasználva a rétegvastagságokat (4. ábra). Vagyis, ha ismerjük a behajlási teknő merevségi sugarát (L) és a kötött réteg vastagságát (h), akkor meghatározhatjuk a felső és az alsó réteg modulusának hányadosát (K), aminek a segítségével a süllyedési tényező már leolvasható a 4. számú grafikonról. Ezek után a 11-es számú összefüggést átrendezve az alsó réteg modulusa már számíthatóvá válik, a felső réteg modulusa pedig a (12) képlettel válik ismertté. Ezzel tulajdonképpen a kétrétegű rendszer paraméterei meghatározottá válnak és további számítások felé nyitják meg az utat.



4. ábra: A rétegmodulusok aránya és a süllyedési tényező közötti összefüggés (teljes elcsúszás)

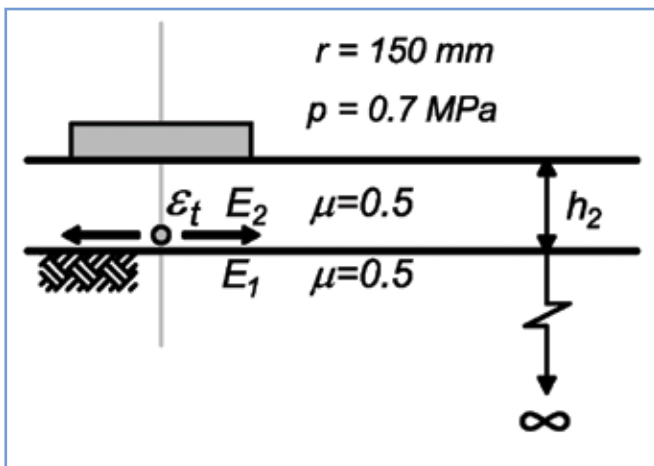
Miután a kétrétegű rendszer paramétereit meghatároztuk, lehetőség nyílik a külső terhelés hatására kialakuló feszültségek, megnyúlások és elmozdulások számítására. Erre számtalan program-csomag áll rendelkezésre, pl.: Bisar, WinJULEA, Weslea, Circly, MultiSmart3D stb.

A kötött réteg alján keletkező megnyúlás meghatározására kétrétegű rendszerben (5. ábra) Huang dolgozott ki grafikus megoldást [16]. A számítás alapját a következő képlet adja:

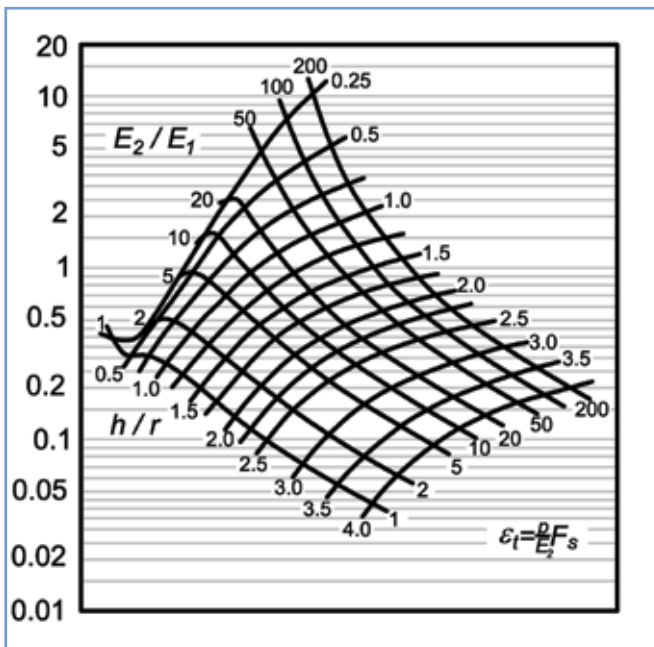
$$\epsilon_t = \frac{P}{E_2} \cdot F_s \quad (17)$$

ahol az ϵ_t a kötött réteg alján lévő megnyúlás, F_s pedig a h/r és E_2/E_1 arány függvényében diagramról olvasható le (6. ábra).

A hasonlóság látható Burmister süllyedési tényezőjével. Ezért Huang egyenletét felhasználva összefüggést kerestünk a merevségi sugár (L) és a Bisar program által számolt megnyúlások között. A vizsgálat eredményeit a 7–8. ábrák mutatják be.



5. ábra: Kétrétegű rendszerben értelmezett megnyúlás

6. ábra: Az F_5 faktor meghatározása, [17]

Az ábrákon a középső szaggatott vonal jelöli a teljes tapadás és a teljes elcsúszás közötti határvonalat, vagyis a határvonal felett már elhanyagolható különbség van a két számítási modell között. Az első és az utolsó szaggatott vonal pedig a szimulált adatok tartományát határolja le. A nomogram segítségével az L és h függvényében a keresett F_5 érték meghatározható, és felhasználva a 17. egyenletet a megnyúlások számíthatóak.

4. ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

4.1. EREDMÉNYEINK

A Szemlében korábban [14] közölt függvény kisebb módosításával a lehajlási vonal alakját jól leíró, folytonosan differenciálható függvény c alaktényezőjének mechanikai tartalmát is sikerült kimutatni. Az általunk javasolt függvény a Bisar-programmal számolt lehajlási vonalakra is jól illeszthető.

Kimutattuk, hogy a meglévő pályaszerkezetek nem minden esetben modellezhetőek homogén féltérrel, illetve a felületi modulusal.

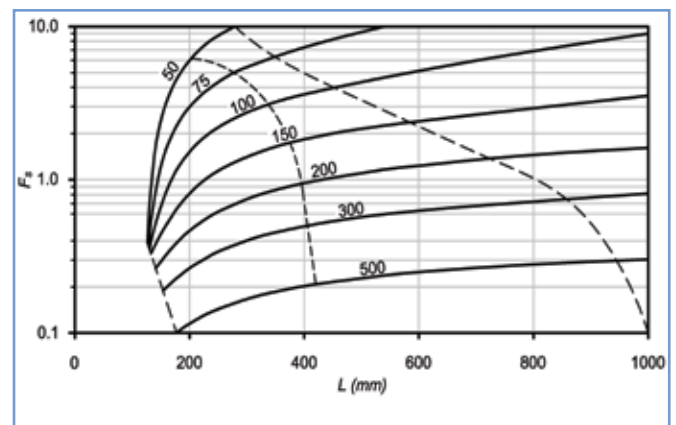
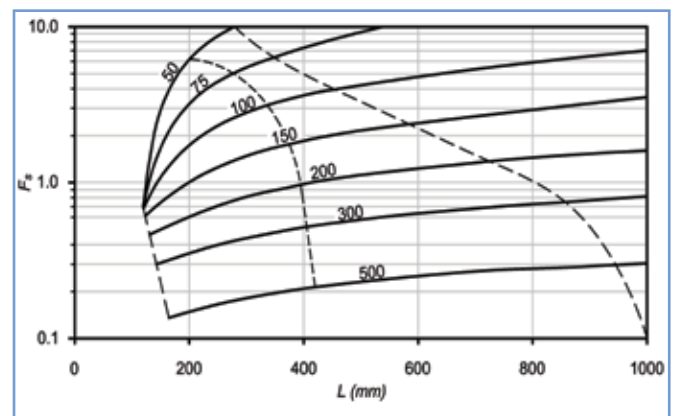
Az általunk javasolt eljárással a lehajlási vonal és a kötött réteg vastagságának ismeretében további iterációs eljárás (backcalculation) nélkül meghatározható a vizsgált pályaszerkezet rétegeinek modulusa. Az ily módon számított modulus természetesen nem feleltethető meg valamely laborvizsgálat eredményének. Az eljárás gyakorlati haszna abban rejlik, hogy a meghatározott modulusokkal egy olyan pályaszerkezet-modell állítható elő, amelynek viselkedése – terhelés hatására történő alakváltozása – jól közelíti a valóságos pályaszerkezetét.

4.2. TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

A rétegek modulusának ismeretében számítható a kötött réteg aljának megnyúlása. A megnyúlás ismeretében számítható lesz a jelenlegi pályaszerkezet hátralévő élettartama.

A kidolgozott modellezési eljárás hálózati szinten alkalmas lehet arra, hogy egy pályaszerkezet-gazdálkodási rendszer alapját képezze.

Projekt szinten a megfelelően felparaméterezett kétrétegű pályaszerkezet-modell lehet az alapja az erősítő réteg tervezésének. Kutatásainkat a közeljövőben ebben az irányban szeretnénk tovább folytatni.

7. ábra: Az F_5 faktor meghatározása (teljes tapadás a rétegek között)8. ábra: Az F_5 faktor meghatározása (Teljes elcsúszás a rétegek között)

5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Adorjáni K.: Pályaszerkezeti modellek verifikálása és a dinamikus teherbírás állapotparamétereinek kiterjesztése, Részjelentés I., Széchenyi István Főiskola, Győr, 1999.
- [2] Ambrus K.: Ejtősúlyos teherbírás-méréseken alapuló új útburkolat-erősítési méretezési eljárás kidolgozása, Közúti és Mélyépítési Szemle, 2001, 51. évfolyam, 3. szám, pp. 90–97.
- [3] Grätz, B.: Az ejtősúlyos deflektométerek lehetőségei és határai az útpályaszerkezetek értékelésénél, Közúti és Mélyépítési Szemle, 1999, XLIX. évfolyam, 6. szám, pp. 236–239.
- [4] Boromisza T., Gáspár L., Károly R.: Útpályaszerkezetek teherbírása, hazai és külföldi eredmények és problémák, Közúti és Mélyépítési Szemle, 2008, 58. évfolyam, 5–6. szám, pp. 1–9.
- [5] Boromisza T.: Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek. Méretezési Praktikum. Közúti Közlekedési Füzetek. Budapest, 1997.
- [6] Boromisza T.: Aszfaltburkolatú utak teherbírásának vizsgálata behajlásméréssel, Mélyépítéstudományi Szemle, 1976/12. pp. 521–528.
- [7] Boromisza T.: Útburkolatok behajlása, Mélyépítéstudományi Szemle, 1959/12. pp. 564–571.
- [8] Boromisza T.: Útburkolatok teherbíró képességének mérése szolgáló helyszíni eljárások, Mélyépítéstudományi Szemle, 1958/1. pp. 23–28.
- [9] Hogg, A. H. A.: Equilibrium of a Thin Plate, Symmetrically Loaded, Resting on an Elastic Foundation of Infinite Depth. Philosophical Magazine, Volume 25 (168), pp. 576–582. 1938.
- [10] Hogg, A. H. A.: Equilibrium of a Thin Slab on an Elastic Foundation of Finite Depth, Philosophical Magazine, Volume 35 (243), pp. 265–276, 1944.
- [11] Jendia, S.: Bewertung der Tragfähigkeit von bituminösen, Straßenbefestigungen. PhD disszertáció, Karlsruhe, 1995.
- [12] Nemesdy E.: Útpályaszerkezetek méretezésének és anyagállandó-vizsgálatainak mechanikai alapjai, Kutatási részjelentés I., BME Útépítési Tanszék, Budapest, 1985.
- [13] Ullidtz, P.: Modelling Flexible Pavement Response and Performance, 1. edition, Narayana Press, Gylling, 1998.
- [14] Primusz P., Tóth Cs.: A behajlási teknő geometriája, Közlekedéspítési Szemle, 2009, 59. évfolyam, 12. szám, pp. 18–24.
- [15] Tóth Cs., Tóth J.: Útpályaszerkezetek roncsolásmentes diagnosztikai lehetőségei, Közúti és Mélyépítési Szemle, 2008, 58. évfolyam, 5–6. szám, pp. 10–15.
- [16] Huang, Y. H.: Critical Tensile Strain in Asphalt Pavements, Transportation Engineering Journal, 1973, ASCE, Vol. 99, No. TE3, pp. 553–569.
- [17] Huang, Y. H.: Pavement Analysis and Design, Second Edition, Pearson Education, Inc., 2004

SUMMARY

PARAMETER CALCULATION OF TWO-LAYERED PAVEMENT MODELS BASED ON FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER MEASUREMENTS

The paper introduces a new method for calculating the elastic moduli of the pavement layers. The method requires only two input parameters: the thickness of the upper „bound” layer and the falling weight deflectometer (FWD) measurement data. The authors developed a continuously differentiable regression function, which can be applied to describe the shape of the deflection bowl. Additional parameters of the deflection bowl (e.g. radius of curvature, position of the inflexion point) can be calculated based on the regression function. FWD measurements were simulated running the „Bisar” software on 1728 different pavement variations. Outputs of the simulations were further processed with an own developed software. As a result, a series of diagrams were elaborated, by which the elastic moduli of the pavement layers can be determined.

A „FUZZY” LOGIKA ALKALMAZÁSA A HÍDGAZDÁLKODÁSBAN

APPLYING “FUZZY CONCEPT” TO BRIDGE MANAGEMENT

A. AL-WAZEER, B. HARRIS, W. DEKELBAB

PUBLIC ROADS, VOL. 72, NO. 1, JULY/AUGUST 2008, [HTTP://WWW.TFHRC.GOV/PUBRDS/08JULY/04.HTM](http://www.tfhr.gov/pubrds/08july/04.htm)

A „fuzzy” logika a bizonytalanság matematikai leírását biztosítja. Alkalmazása lehetővé teszi az állapotértékeléseknél a bizonytalanság figyelembe vételét és segíti a helyes fenntartási döntések meghozatalát. Az egyes hídelemek állapota nem egységes, ami nehezíti az értékelést. Az USA Nemzeti Hídnyilvántartása tízfokozatú értékelési skálát használ, más országokban (így hazánkban is) az értékelés ötfokozatú skálán történik. A határozott kategóriákba történő besorolás határainak átlépését a „fuzzy” logika biztosítja. Egy példán bemutatva: egy bizonyos hídelem állapotát a tízfokozatú skálán az egyik értékelő szakember „6”, a másik „7”, a harmadik „5” osztályzattal jellemezte. A valóságban a hídelem 70%-ban a „6” kategóriába, 20%-ban a „7” kategóriába és 10%-ban az „5” kategóriába tartozik. Ezt a helyzetet egy „fuzzy” logikai érték, mely az adott esetben grafikusan egy háromszög alakú ábrázolható, teljes mértékben képes leírni és jellemezni. Az értékelő feladata annyiban módosul, hogy a viz-

gált hídelem állapotát nem egy meghatározott kategóriával, hanem a szomszédos kategóriák közötti (hossz- vagy felületarányos) százalékos megoszlással mutatja be. A „fuzzy” logikai értékekkel matematikai műveletek végezhetők, így az értékelt hídelemek alapján a teljes hídra vonatkozó állapotmutató kiszámítható. Ugyanez a megközelítés használható a nettó/bruttó érték arány meghatározására, ahol a helyreállítási költség bizonytalanságait is lehet a „fuzzy” logika segítségével kezelni. A bizonytalanság számíthatósága lehetővé teszi a legvalószínűbb várható költség mellett az adott helyzetben lehetséges legkisebb és legnagyobb költségek megadását. A bemutatott módszer számos területen alkalmazható, többek között a teljes élet-tartamra vonatkozó költségelemzés során például a diszkontrata bizonytalanságának kezelésére.

G. A.

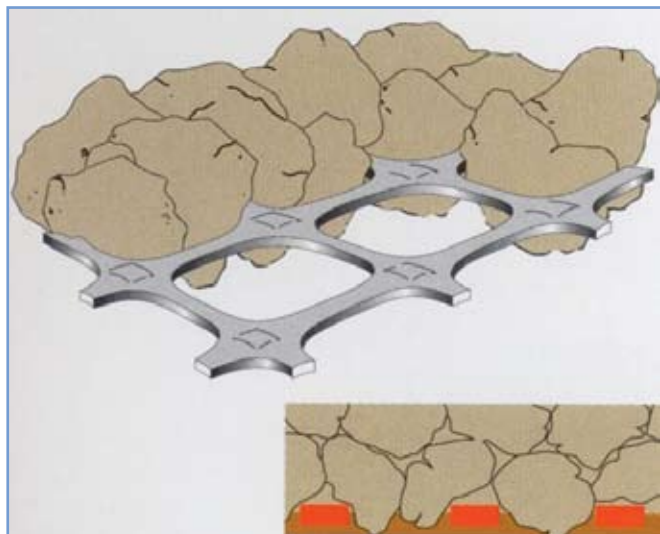
VASÚTI ZÚZOTTKŐ ÁGYAZATOS FELÉPÍTMÉNY GEORÁCSOS STABILIZÁCIÓJA

FISCHER SZABOLCS¹ – DR. HORVÁT FERENC CSC²

1. BEVEZETÉS

Talajanyagok erősítésére már évtizedek óta alkalmaznak geoműanyagokat. A geoműanyagok általánosságban véve a talajok egyes – az építendő szerkezet szempontjából – hiányzó tulajdonságait hivatottak pótolni. Leggyakrabban többlet húzó- és esetenként nyírószilárdságot is biztosítanak a földszerkezeteknek. Ezáltal vagyunk képesek eredetileg nem megfelelő paraméterű talajokból meredek rézsűket építeni, rossz altalajoknál gyors konszolidációt elérni, valamint ilyen módon lehetséges például nagyon jó szigetelő, elválasztó réteget kivitelezni hulladéklerakókban is a vízáteresztő képesség csökkentésével [17]. A georácsok speciálisan többlet húzó- és nyírószilárdságot adnak mind a szemcsés, mind a kötött talajoknak egyaránt. Ennél a típusú talajerősítésnél a talajanyag nyomóerő mellett – a megfelelő talaj-georács kapcsolat fennállása esetén, a hossz- és keresztirányú georácsbordák és csomópontok révén – húzóerők felvételére is képes, így egy közel hasonló elven működő szerkezetet kapunk, mint a vasbeton, ahol a nyomóerők jelentős részét a beton, míg a húzóerőket a betonacélok veszik fel. Nyíróerők ellensúlyozására is alkalmazhatók a georácsok, azonban ennek kihasználása – a georácsok nyírási ellenállását figyelembe véve – csak korlátozott.

Készültek laboratóriumi vizsgálatok és kísérletek georácsok olyan vasútépítési alkalmazására, ahol nem a megszokott módon, magát az alépitményt (földművet), hanem a hagyományos zúzottkő ágyazatos felépítményt erősítették. Ebben az esetben közvetlenül a zúzottkő ágyazat alá – vagy az ágyazati anyagba is – helyezték el a georácsot. Ettől azt a hatást várták, hogy a georács úgymond összefogja a zúzottkő szemcséket a réteg alján és így az ágyazatban úszó, dinamikus hatásokkal és egyéb kialakuló rezgésekkel



1. ábra: Az interlocking hatás szemléltetése [8]

terhelt keresztaljas vágány stabilabb, merevebb és a pályahibák kialakulásával szemben ellenállóbb lesz. Ez az ún. interlocking hatás (1. ábra), vagy más néven behatárolási effektus. Ezt úgy kell elképzelni, hogy az ágyazati zúzottkő szemcsék – mint a tojások a tojástartóban – „beékelődnek” a georács bordái közé, ezzel mintegy szilárd és nagyjából csúszásmentes felületet biztosítanak a rájuk támaszkodó, valamint közéjük beülő szemcséknek. Az ilyen módon alkalmazott georácsnak csak bizonyos „h” magasságig van többlet összetartó hatása a talajokra.

A jelen cikk célja, hogy az eddigi nemzetközi publikációkban megjelent kutatásokból átfogó képet nyújtson – kiemelt tekintettel a közvetlenül a vasúti zúzottkő ágyazat alá beépített georácsok laborvizsgálataira –, valamint a Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Településmérnöki Tanszékén folyó, ezzel a témakörrel foglalkozó kutatás célkitűzéseit megfogalmazza.

2. NEMZETKÖZI KUTATÁSI ELŐZMÉNYEK

A nemzetközi kutatócsoportok általánosságban véve háromféle módon vizsgálták a vasúti felépítmény erősítésére használt georácsokat.

Az első módszer a laboratóriumi vizsgálat volt, ahol valós méretű vagy méretarányosan kicsinyített, georáccsal erősített mintákon általánosságban véve pulzáló, valamint esetenként statikus terhelést is alkalmaztak. Annak érdekében, hogy pontosan vagy közel pontosan meg lehessen adni a georács beépítésének – várhatóan pozitív – hatását, referenciaméréseket is végeztek. A referenciamérések általában olyan összeállított mintákon készültek, ahol nem alkalmaztak georács erősítést, így a hatás az eredményekben mutatkozó különbségekkel könnyen szemléltethető volt. Ezzel a témakörrel részletesebben a 2.1. fejezetben foglalkozunk.

A második módszerként terepi vizsgálatokat végeztek, ahol nagy forgalmú vasúti pályába építették be a georácsokat, ágyazatcserét vagy ágyazatrostálást és vágányszabályozást (irány- és fekszint-) követően. A beépítés óta eltelt idő, illetve az átgördült tengelyszám (vagy elegytonna) függvényében kimutatható a georács beépítésének jótékony hatása. Ehhez is szükségesek voltak referenciamérések, amelyek vagy ugyanazon helyen a beépítés előtti állapotot és viselkedést mutatták, vagy a beépítési rész melletti szakaszokhoz tartoztak, ahol a felépítmény erősítésére nem alkalmaztak georácsot.

A harmadik módszer a laborvizsgálatok száma, valamint a terepi beépítésnél jelentkező költségek csökkentése szempontjából nagyon előnyös és egyben ezzel alátámasztható a mérések helyessége is. Ez a módszer a számítógépes szimuláció volt, amelyre ebben az esetben kétféle lehetőség volt adott: véges elemes vagy diszkrét elemes programmal történő szimuláció.

Jelen cikkben legnagyobb terjedelemben és részletességgel az idegen nyelvű publikációkban említett laborvizsgálatokban szer-

¹ Okleveles építőmérnök, egyetemi tanársegéd, Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Településmérnöki Tanszék; e-mail: fischersz@sze.hu, szabolcs.fischer@gmail.com

² Okleveles építőmérnök, a közlekedéstudomány kandidátusa, főiskolai tanár, Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Településmérnöki Tanszék; e-mail: horvat@sze.hu

zett tapasztalatokról, eredményekről számolunk be, csak érintőlegesen foglalkozunk a számítógépes szimulációval és a terepi vizsgálatokkal.

2.1. VIZSGÁLATOK ÉS AZ EREDMÉNYEK

2.1.1. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK PARAMÉTEREI

A georács-erősítésű ágyazat témakörével foglalkozó publikációk többségében laboratóriumi vizsgálatok eredményeit közlik.

Elsődlegesen azt a laborvizsgálati körülményt kell értékelnünk, hogy az elvégzett laborvizsgálatok valós méretű (pályába beépíthető nagyságú zúzottkő szemcsék, georácsok), vagy esetleg valamilyen méretarányosan kicsinyített mintákon folytak. Erősen megkérdőjelezhetők a kisszemcsés zúzottkavics és mikrogeorács mintákon végzett laboratóriumi mérések [13], [14], amelyek ilyen módon torz, nem megfelelő eredményeket szolgáltatottak. Az ilyen típusú elemek legyártása bonyolult, nehézkes, pl. a georácsokra vonatkozó paramétereket nehéz, vagy egyáltalán nem lehet beszerezni. Mivel ilyen mikrorácsokat nem gyártanak, illetve nem is alkalmaznak a közlekedésépítésben, többlet labormérés szükséges. Mivel a vasúti vágány mind hossz-, mind keresztirányban nagy kiterjedésű (keresztirányban is 4,5–5,5 m



2. ábra: Valós méretű vágánydarab laboratóriumi elrendezése [10]



3. ábra: Pulzáló terhelés alkalmazása valós vasbeton keresztaljakkal és terhelőgerendával [18]

körüli a zúzottkő ágyazat legnagyobb szélessége egyvágányú pályában), ezért lehetőség szerint (alapterület szempontjából) nagy laboratóriumi mintát kell készíteni. A legpontosabb és a valóság-hoz legközelebbi eredményeket teljes vágánydarab építésével és a rajta végzett mérésekkel lehet elérni [2], [10], [18] (2–3. ábra). A [15]-ös cikk is megemlíti, mert 1400×1000×2000 mm-es ládában végezték a kísérleteket.

A vizsgálatoknál alkalmazott terhelés is egy mértékadóan befolyásoló tényező. Szerényebb laborfelszereltség esetén kizárólag statikus terheléses vizsgálat is elképzelhető, de statikus terhelést elsősorban a talaj-georács együttdolgozás értékelésére használt kihúzásvizsgálatoknál [11], [12], [16] alkalmaznak – általában a vizsgálódoboz felső részébe elhelyezett légszákokkal –, valamint dinamikus terheléses vizsgálat kiegészítéseként is használják [6], [7], [13], [14]. Utóbbi irodalmaknál részben a mérési ismételtőség igazolása miatt volt erre szükség [13], részben a statikus terhelés hatására bekövetkező tönkremenetelre is kíváncsiak voltak a dinamikus mellett [14], valamint [6], [7] esetén pedig statikus oldalnyomást fejtettek ki a mozgatható, terhelhető oldalfalakra. Mivel a vonatteher dinamikus, ezért sokkal jobb laborvizsgálati eredményeket kapunk, ha dinamikus-pulzáló terhelést használunk. A pulzáló terhelés nagyságát befolyásolja a terhelőlemez mérete – a terhelőlemez alatti feszültség nagysága miatt –, a frekvenciatartományt szabványok, előírások adják meg, de a figyelembe veendő vonat sebességéből és tengelytávolságából számítható egy közelítő érték. A feldolgozott publikációkban 0–100 kN tartományban, 0,5–15 Hz-en vizsgálták a mintákat [2], [3], [4], [6], [7], [10], [13], [14], [15], [18] (nem összetartozó értékek, hanem szélső tartomány!).

Az összeállított rétegszerkezetnél az egyik legfontosabb paraméter a zúzottkő réteg vastagsága. Mivel a tényleges vágányoknál az alkalmazott hatékony ágyazatvastagság általában 250–350 mm közötti érték (a mértékadó oldalon a sín tengelyében, a keresztalj alsó síkjától mérve) – ez egyrészt az aláverés minimális technológiai mélységétől, másrészt a megfelelő rugalmas alátámasztás és teherviselés miatt szükséges – ezért a laboratóriumi vizsgálatoknál is ehhez az értékhez közeli zúzottkő ágyazati vastagságot kell modellezni. A georács erősítő réteg helye is ilyen szempontból korlátozva van, mert a vágány-szabályozó gépek aláverő kalapácsai beleakadnának a georácsba, tönkretéve ezzel a geoműanyagos ágyazaterősítést. Ebből a szempontból [13], [14] irodalmak vizsgálati kérdőre vonhatók, mivel a terhelőlemez alsó síkjához nagyon kis távolságra is helyeztek el mikrogeorácsot. Természetesen nem zárható ki a terepi beépítéseknél sem a két- vagy többretegű georács erősítés zúzottkő ágyazati rétegnél, de mind kivitelezés (általában már meglévő, hibákkal terhelt vágányokba célszerű elsődlegesen beépíteni a georács réteget, ahol a rendelkezésre álló vágányzári időben szinte lehetetlen installálni több erősítő réteget – ez természetesen új vonal építésénél sokkal könnyebben megoldható), mind fenntartás szempontjából bonyolult és idő-, valamint költségigényes feladat. Esetlegesen modellezhető lenne laboratóriumban is a 4%-os keresztelésű alépitményi korona, de erre egyik hivatkozott publikációban sem volt példa. Meggondolandó, hogy a georácsot homokos kavics védőerősítő rétegre vagy zúzottkő anyagú alágyazatra [3], [4], [6], [7], [15], [18] építsék, valamint ennek hiányában – illetve ezzel együtt is – esetleg geotextíliás elválasztó réteget alkalmazzanak a zúzottkő szemcsék alépitménybe történő benyomódásának elkerülése érdekében [15]. (A [3], [4], [18] irodalmakban geotextíliával kombinált georácsot is használtak.)

A mérések abban az esetben sokkal szélesebb spektrumot fednek le, és feltételezhetően precízebbek is, ha többféle paramé-

terrel végzik el őket. Ez mind a modellezett alépítmény (vagy altalaj) rugalmassági modulusára [3], [4], [13], [14], [18], mind az alkalmazott georácstípusra [3], [4], [7], [13], [16], [18] és az ágyazati anyagra is [6], [7], [11], [13], [14] vonatkozik. Az említett irodalmakban e paramétereket legalább kétféle értékkel, típusalappal vették figyelembe. A különböző alépítmények rugalmassági modulusait nyitott cellás neoprén gumival, zártcellás és egyéb gumilemezek felhasználásával, valamint tényleges, kis teherbírású talajanyaggal modellezték. Megemlítendő, hogy az alépítmény rugalmassági modulusa szempontjából a merev, a georács típusa szempontjából a georács nélküli eset nagyon jó referenciámérésnek tekinthető. Az ágyazati anyag oldaláról vizsgálódva a szemcseméret, a száraz–nedves, új–használt, tiszta–szennyezett zúzottkővek figyelembevétele teszi teljessé az esetek számát, amit a [6], [7] irodalmakban a tiszta–szennyezett ágyazati anyag esetén kívül lefedtek. A georácsoknál a szakítószilárdság, a szakadónyúlás, a borda- és csomópontmerevségek, az 5%-os nyúláshoz tartozó teherbírás, valamint a hálóméretet meghatározó adatok, amik változtatásával tudjuk nagyon pontosan jellemezni a georács erősítésű vasúti ágyazat viselkedését. A publikációkban precízen leírják, hogy a különböző rétegek minden mérésnél szükségesen azonos tömörségét milyen tömörítési módszerekkel biztosították (azonos menetszám, tömörítési munka stb.).

A vizsgálóláda és a zúzottkő szemcsék közötti súrlódás csökkentéséről illik gondoskodni abban az esetben, ha a vizsgálóláda jelentősen kisebb, mint a valós vágányban lévő ágyazati réteg szélességi mérete. Igazából ez sem a valós körülmények szimulációja, de jobb közelítés, mint a súrlódáscsökkentés nélküli eset. Főleg georácsok kihúzási vizsgálataiknál szükséges ez a megoldás [11], [12], mert az oldalfalnál jelentkező szemcefeltorlódás miatt lényegesen nagyobb kihúzási ellenálló erőt lehet mérni, amivel torz eredményeket kapunk. Tényleges georács erősítésű zúzottkő ágyazat modellezése esetén is említenek súrlódáscsökkentő megoldásokat [3], [4], [18].

A méréseknel alkalmazott terhelőlemeznek, tárcsának akkora méretűnek kell lennie, hogy az alkalmazott terhelés és a lemez vagy tárcsa területe alapján számítható feszültség a valós vonatteherből származó feszültségekhez igazodjon. Anyagának lehetőség szerint valamilyen fémnek vagy kőszerű (beton) anyagnak kell lennie annak érdekében, hogy merev testként viselkedjen, és ne befolyásolja a lemez, vagy tárcsa alakváltozása a modellt és vele együtt a mérési eredményeket. Légzsákokat használtak a [11],

[12], [16]-ban, alumíniumlemezt az [13], [14]-ben, acélprofilat a [3], [4], [18]-ban, acélaljat a [2], [15]-ban, faaljarabot a [6], [7]-ben és vasbeton aljat a [10], [18]-ban.

Mivel a vonatteher vibrációs hatása következtében hagyományos zúzottkő ágyazatos felépítmény esetén a romlási folyamat erőteljes generálója és fokozója is az ágyazatváll lefolyása, ezért érdemes foglalkozni vele. Az ágyazatváll szimulációja laboratóriumban egyrészt a miatt bonyolult és nehézkes, mert valós méretarányú vágány megépítését igényli, másrészt dinamikus (pulzáló) terhelést lehetővé tevő terhelő berendezés szükséges hozzá. A teljes magasságú oldalfalú dobozoknál, illetve ládáknál az ágyazatváll lefolyását nem lehet modellezni [6], [7], [13], [14], [15], egyfajta közelítésnek ez is megfelel, de a valós körülményeket nem lehet vele precízen figyelembe venni (4. ábra). A [2], [3], [4], [10], [18] publikációkban az ágyazatvállat is kialakították, így a kiadódott eredmények is jobban jellemzik a valós vágányba beépített georács vágánystabilizáló hatását (5. ábra).

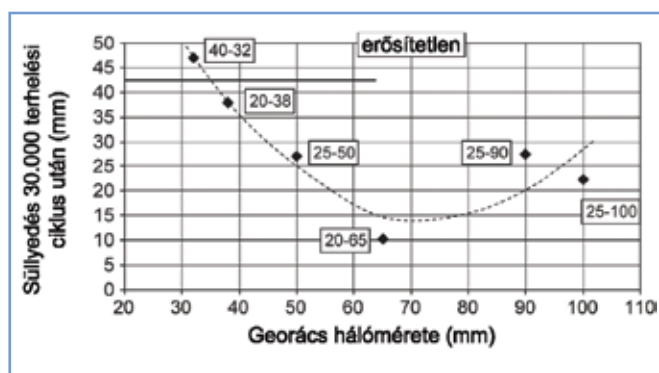
A vizsgálatoknál nagyon pontos mérési eredményekre van szükség, amit precíz mérőműszerekkel mértek és digitálisan rögzítettek az adatokat. A statikus vagy pulzáló méréseknél a süllyedéseket, illetve a kihúzásvizsgálatnál a kihúzási hosszat ún. lineárisan változtatható elmozdulásjel-átalakítóval (LVDT – linear variable differential transducer), az erőket erőcellákkal mérték. A mérés-



4. ábra: Teljes magasságú oldalfalú terhelődoboz triaxiális vizsgálatnál [7]



5. ábra: Ágyazatváll lefolyását modellező laborkísérlet [4]



6. ábra: A georács hálóméretének hatása a süllyedésekre (a szöveg-dobozokban lévő számok a következőket jelentik: pl. „40-32”=40 kN/m-es húzószilárdság és 32 mm-es merőleges hálóméret) [4]

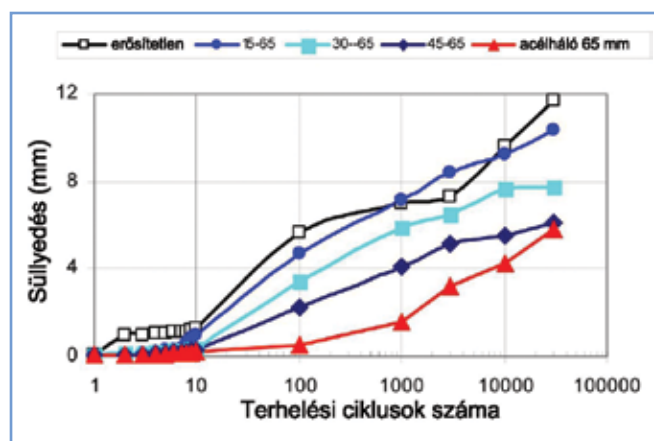
seket legalább két-háromszor kellene ismételni a mérési hibák kiküszöbölése végett – erről egy publikációban sem ejtenek szót. A dinamikus terheléseknél a ciklusok számát is pontosan regisztrálni kell, mert ennek függvényében érdemes a kialakuló süllyedéseket értékelni.

2.1.2. LABORVIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

Ahogy azt már említettük, a [13], [14] irodalmakban méretarányosan kicsinyített mintákon végeztek vizsgálatokat. Bár ezeknek az eredményeknek a helyessége megkérdőjelezhető, kiemelendő, hogy a [13]-ban mind gömbölyű, mind élesélű szemcséknél jelentős süllyedéscsökkentést lehetett elérni (50% és 13–30%). Az aprózódási hajlamot is csökkenteni lehetett georács alkalmazásával. A leghihetlenebb eredménynek az tekinthető, hogy a leghatékonyabb erősítés a terhelőlemezhez nagyon közeli elhelyezésnél volt mérhető [14]. Ez egyrészt a technológiai korlát miatt kivitelezhetetlen, másrészt – igaz, hogy a behatárolási effektus feltételezhetően a georács síkjában a legnagyobb – az erősítéshez megfelelő szemcsésanyag-takarás szükséges, ami véleményünk szerint a [14]-ben ismertetett méréseknél nem állt rendelkezésre.

A [15] tanulmányban ismertetett méréseknél – 1400×1000×2000 mm-es mérődobozban teljes magasságú rétegszerkezetet, illetve keresztaljat figyelembe véve, dinamikus terhelést alkalmazva – a legnagyobb süllyedéscsökkentést a háromrétegű georács erősítés esetén (egy a földmű és az altalaj között, egy a földművön belül és egy közvetlenül az alagyazat alatt) lehetett tapasztalni. Ezzel szemben a leggazdaságosabb kialakítás kombinált geotextília–georács erősítés alkalmazása esetén adódott, amely réteget a földmű és az altalaj közé építették be (teljes süllyedésnél 33%-os érték).

A legszerteágazóbb kutatást a [6] és [7] cikkek esetén tapasztalhatjuk. Ők arra az eredményre jutottak – a várt értékeknek megfelelően –, hogy az új zúzottkő ágyazati anyagnál alakulnak ki a legkisebb plasztikus süllyedések, és a georács erősítés nélküli használt zúzottkő mutatta a legnagyobb maradó függőleges alakváltozásokat. Mind a geokompozit, mind a geotextíliás erősítésnek pozitív hatása van az alakváltozások redukálásában használt és új zúzottkő esetén is, de a geokompozit esetén ez szignifikánsabb. A kezdeti nagy értékek után (~100 ezer ciklus) mind a süllyedésértékek, mind a zúzottkő ágyazat függőleges és vízszintes alakváltozás értékei konszolidálódnak. Új, száraz zúzottkő esetén mind a georács, a geotextília és a geokompozit is csökkenti a zúzottkő ágyazat vízszintes alakváltozásait, míg használt zúzottkőnél nedves és száraz esetben is csak a geotextíliának és a geokompozitnak van ilyen pozitív hatása.



7. ábra: Süllyedések grafikonja a terhelési ciklusok arányában különböző 65 mm-es névleges hálóméretű georácsok esetén (a jelmagyarázatban a számok a következőket jelentik: pl. „15-65”=15 kN/m-es húzószilárdság és 65 mm-es merőleges hálóméret) [3]

A teljes vasúti vágányt modellező laborvizsgálatoknál hasonlóan pozitív erősítési, vágánystabilizálási értékek voltak tapasztalhatók [2], [3], [4], [10], [18]. A [2]-ben publikált eredmény szerint 39%-os CBR-érték esetén 4,75-ször, míg 1%-os CBR-nél 4,9-szer több pulzáló terhelés okozott 25 mm-es maradó alakváltozást Tensar georács erősítésű esetben, mint georács erősítés nélkül. [10]-ben szintén arra a következtetésre jutottak, hogy a zúzottkő ágyazatba beépített georács pozitív hatással van a pályahibák kialakulásának lassítására. A [3], [4] és [18] irodalmakban a legjelentősebb eredménynek az tekinthető, hogy különböző georácsok hálóméreteit vizsgálva azt állapították meg, hogy – 30 ezer ciklust alapul véve pulzáló terhelésnél – 50 mm-es zúzottkő szemcsék esetén a 65 mm-es hálóméret a leghatékonyabb a süllyedéscsökkentésben, ez 1:1,4-es arányt jelent (6–7. ábra). A georácsmerekesség paraméterénél az 1050–1150 MN/m-es érték mutatkozott a legjobbnak – szintén 30 ezer ciklust vizsgálva. Ezekben az irodalmakban egyes vizsgálatoknál a zúzottkő ágyazat vibráció hatására történő lefolyását is korrekt módon modellezték.

A hivatkozott georács kihúzási vizsgálatokkal foglalkozó publikációkban [11], [12], [16] tudományos szempontból újdonságnak számító eredményekre nem jutottak. A mérések eredményei és a levont következtetések (reziduális nyírószilárdság stb.) szakkönyvekben olvashatók [17]. Új kutatási eredmény a [12]-ben található: a georács kihúzási vizsgálata esetén a lineárisan rugalmas modell is megfelelő eredményeket szolgáltat, nem kötelező a bonyolultabb peremfelületi plasztikus modell alkalmazása.

2.2. TEREPI MÉRÉSEK

Hazai és külföldi terepi mérésekről legnagyobb terjedelemben a georácsgyártók (pl. Tensar, Naue Fasertechnik, Vicon stb.) termékismertetőiben olvashatunk. A nemzetközi irodalmak bemutatásánál ezzel a résztémával csak nagyon kis terjedelemben és csak érintőlegesen foglalkozunk. A [13], [14] cikkekben röviden (8. ábra), a [3], [4] és [18] cikkekben részletesebben tárgyalják ezt a kutatási irányvonalat. Egyértelműen igazolható, hogy a beépített ágyazaterősítő georács pozitív hatással van a vágány stabilizálására. Megfelelő georács alkalmazásával körülbelül 2–2,5-szeresére növelhető a vágányszabályozások közötti idő, tehát nagyon gazdaságos megoldásról van szó, mert a vágányépítés költségeit a többlet beépítési költség meg sem közelíti, de pozitív hatása révén erősen ajánlott az alkalmazása. Nem kizárólag új építésű, hanem főleg régi, hibákkal terhelt vasútvonalak vágányaiba érdemes beépíteni. A bekerülési költségeit és a



8. ábra: Georács erősítő réteg beépítése a vasúti zúzottkő ágyazat alá [13]

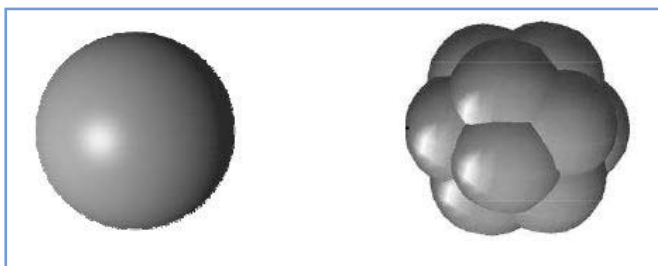
vágányszabályozások ritkítását figyelembe véve a megtérülési idő számítható, így a jövőbeli jelentős mértékű nemzetgazdasági vonatkozás is felhozható érvnek az alkalmazás mellett.

2.3. SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓK RÖVID BEMUTATÁSA

Közvetlenül a vasúti zúzottkő ágyazat alá beépített georácscsal erősített vágányt véges elemes vagy diszkrét elemes programokkal szokás modellezni két vagy három dimenzióban.

Véges elemes programmal az altalaj, a georács, a szemcsehalmaz, a terhelőlemez vagy keresztalaj egy-egy szerkezeti elemként van modellezve, amelyeket számítás során vagy külön elemként kezel a program, vagy hálógenerálással – véges számú belső csomópont segítségével – elemekre oszt fel. Ezt követően anyagmodellek, kapcsolati tulajdonságok stb. alapján numerikus módszereket alkalmazva, vagy differenciálegyenleteket megoldva szolgáltat eredményeket. Ezek az eredmények általában erők, feszültségek, alakváltozások.

Diszkrét elemes programok esetén a lényeg, hogy a szemcsehalmazt meghatározott átmérőjű gömbökként (vagy metsződő gömbök együtteseként, más néven összetett szemcsékként) kezelik úgy, hogy minden szemcse egy-egy diszkrét, azaz különálló elem (9. ábra). A szemcsehalmazt meghatározott szemeloszlási görbe alapján szokás generálni a zúzottkő ágyazat modellezéséhez, de egyéb problémák megoldásánál véletlenszerű generálás is elképzelhető. Léteznek olyan diszkrét elemes numerikus szoftverek (PFC, OVAL stb.), amelyek a szemcséket végtelen merevnek tekintik, de lehetőség van olyan programok használatára is, amelyeknél a szemcsék deformálhatóak (pl. UDEC). Az első csoportnál az érintkezésekbe sűrítik az anyagtulajdonságokat, míg a másikonál anyagmodellek, feszültség–alakváltozás függvények szükségesek a számításhoz. Mindkét típusnál lehetőség van georácsrétegek modellezésére [1].



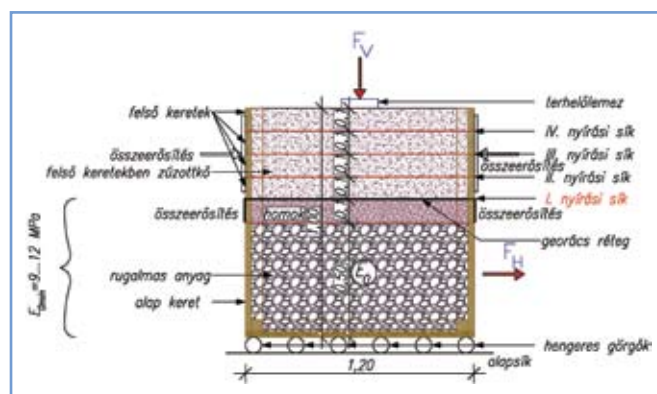
9. ábra: Az egyszerű és összetett PFC-s szemcsék térbeli ábrái [5]

Pontosabb, részletesebb eredményeket lehet kapni diszkrét elemes modellezéssel, mint véges elemessel, de ehhez előzetes laborvizsgálat szükséges. Ennek eredményeivel pontosítani kell a diszkrét elemes modellt, azaz el kell érni, hogy a modell ugyanúgy viselkedjen, mint a laboratóriumi. Ennek biztosításával sokkal egyszerűbb további méréseket, vizsgálatokat szimulálni, mint az idő- és költségigényes laboratóriumi, terepi méréseknél. A terjedeleme szűkössége miatt csak megemlítendő [5], [8] és [9], amelyekben a georács erősítésű vasúti zúzottkő ágyazat diszkrét elemes modellezésével foglalkoznak.

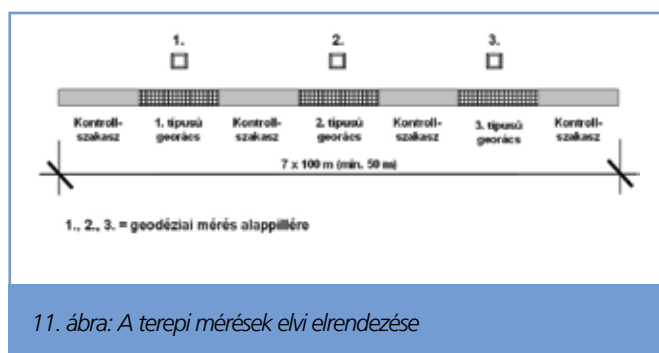
3. TOVÁBBI KUTATÁSI ELKÉPZELÉSEK

3.1. NYÍRÓLÁDÁS LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK

A zúzottkő ágyazat alá beépített georács vágánystabilizáló hatásait, ahogy azt a nemzetközi irodalomban láthattuk, főleg függőleges – esetenként vízszintes – síkban ható statikus és dinamikus terhelések hatására létrejött fekszinthibák (süllyedések), másrészt a zúzottkövek és a georács közötti kapcsolatok, harmadrészt a georács zúzottkő ágyazati szemcsékre gyakorolt aprózódást gátló képességének mérésével próbálták megközelíteni. Hagyományos zúzottkő ágyazatos felépítmények esetén az ágyazat vastagsága döntő tényező. Az ez alá beépített georács erősítésnek csak egy bizonyos „h” magasságig van többlet szemcseösszetartó hatása. Ha végignézzük, milyen kísérleteket végeztek ezzel kapcsolatban a nemzetközi kutatócsoportok, kiderül az a tény, hogy laborvizsgálatok keretében nem állapították meg ez idáig az interlocking hatást magassági értelemben. A [8] és [9] publikációkban számítógépes szimulációkkal modelleztek georács-kihúzási vizsgálatokat, ezek eredményeként kapták azokat az adatokat, hogy az alkalmazott zúzottkő ágyazati anyag és georács esetén ± 10 cm-es sávban van mérhető hatása a georácscnak. Egyetemi kutatócsoportunk azt tervezi, hogy laborvizsgálatok keretében egy többszintes nyíróladás kísérlet sorozatot hajt végre. A nyírólada elvi vázlatát a 10. ábra mutatja. A laborvizsgálat során a három különböző rugalmassági modulusú alépítményt (9, 15 és 25 MPa), új és használt zúzottkővet, három függőleges terhelési értéket és legalább három típusú georácscot szeretnénk mérni, ami legkevesebb 54 esetet jelent. A georács interlocking hatásának magassági függvényét az I.–IV. síkokon történő vízszintes nyírások közben fellépő ellenállások mérésével – amelyek a súrlódástól eltekintve megegyeznek az F_H erővel – tervezzük meghatározni. A négy nyírési síkot is figyelembe véve, (legalább) 216 mérést kell végrehajtanunk, ami nagyon időigényes feladat. A kísérlet során a zúzottkő ágyazat mindenkor azonos tömörségét úgy tudjuk majd biztosítani, hogy azonos tömörítési munkát alkalmazunk (azonos rétegek, azonos tömörítési járatszám stb.). Mérnünk és regisztrálnunk kell az alapkeretben lévő rugalmas



10. ábra: Többszintes nyírólada elvi rajza (nyírás az I. nyírési síkon)



11. ábra: A terepi mérések elvi elrendezése

anyag pontos rugalmassági modulusát, a zúzottkő ágyazat szemeloszlását, a függőleges és vízszintes terhelés nagyságát, a láda aljának vízszintes elmozdulását, valamint a süllyedésértékeket. A georács síkjánál, valamint a felső keretek nyírással párhuzamos oldalain vizsgálóablakokat alakítunk ki, ahol a szemcsemozgásokat lehet figyelemmel kísérni.

3.2. TEREPI MÉRÉSEK

Mivel a laboratóriumi mérésekkel mindig valamilyen szükség-szerű elhanyagolással közelítéssel vagyunk csak képesek a valós körülményeket modellezni, ezért a pontosabb eredményekhez tényleges terepi mérésekre van szükségünk. Ehhez – a nemzetközi publikációkhoz hasonlóan – próbaszakaszokat érdemes kialakítani viszonylag nagy forgalmú és terhelésű vasútvonalakon. A próbaszakaszoknak georács erősítéses szakaszokból és georács nélküli kontrollszakaszokból kell állniuk annak érdekében, hogy referenciaméréseink is legyenek. A georácsokat – meglévő pályákba – célszerűen az ágyazatrostálási munkával egybekötve ajánlott beépíteni. Az installáláskor öt aljanként fel kell venni a sinkoronák magassági és vízszintes helyét, 0,1 mm pontossággal.

Ehhez a 11. ábrán látható, külön erre a célra telepített geodéziai mérési alappilléreket, vagy a felsővezeteki oszlopokba elhelyezett csavarokat lehet használni. Meghatározott időközönként (1–2–6–12–18–24 hónap) ismételt geodéziai méréseket kell végrehajtani. A különböző típusú georács erősítéses szakaszokon kialakult süllyedések egymáshoz, valamint az erősítés nélküli próbaszakaszok fekszenhibáihoz hasonlíthatók. Ezzel egyben az egyes georács típusok vágánystabilizálási hatékonyságát, valamint további számítások elvégzésével a beépítéssel elérhető pénzmegtakarítást is meg lehet állapítani. Az átgördült eleygtonna vagy tengelyszám függvényében a kialakuló irány-, fekszint- és síktorzuláshibák matematikai közelítő függvényei is megadhatók. A laboratóriumi mérésekkel összefüggésben a minimálisan szükséges hatékony ágyazatvastagság is meghatározható.

3.3. DISZKRÉT ELEMES MODELLEZÉS

Az [5], [8], [9] cikkekben is tárgyalt diszkrét elemes modelleléssel nagyon hatékonyan meg lehet határozni a georács és a zúzottkő szemcsék együttes viselkedését, amihez mindenképpen szükségünk lesz a laboratóriumi méréseink eredményeire. Ezeket az ITASCA Consulting Group Inc. cég által kifejlesztett PFC3D szoftverrel történő szimulációkban fogjuk felhasználni. A laboratóriumi idő- és költségigényes méréseket ezzel a modelleléssel kívánjuk egyrészt igazolni, másrészt – a számítógépen viszonylag könnyen és gyorsan lefutatható számításokkal – kiegészíteni. A számítás a zúzottkő szemcsék pontosított alakjával tervezzük elvégezni, amit a PFC3D-ben összetett szemcsék megalkotásával lehet elérni. Így még több esetet (georács típus és rétegeik száma, zúzottkő szemcsék kapcsolatainak jellege stb.) lehet vizsgál-

ni, ezáltal sokkal precízebb eredményeket fogunk kapni a georács erősítéses vágányról. A többszintes nyíróládában a vizsgálóablakokon át figyelemmel kísért szemcsemozgások is előállíthatók az említett diszkrét elemes programmal, amelyek így összevethetők egymással.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A vasúti zúzottkő ágyazat alá beépített georácsok vágánystabilizáló hatása laboratóriumi, terepi mérésekkel és számítógépes szimulációkkal bizonyított. Az idegen nyelvű publikációkban találunk nagyon jó, követendő példákat, de léteznek negatív kritikával illelhető kísérletek, mérések is. Az interlocking hatás magassági értelemben vett függvénye ez idáig nem tisztázott. Ezzel a témakörrel a győri Széchenyi István Egyetem Közlekedésepítési és Településmérnöki Tanszékének kutatócsoportja kíván foglalkozni, amelyhez többszintes nyíróládával végzett laboratóriumi mérések mellett nagy forgalmú vasúti pályába történő beépítés és diszkrét elemes számítógépes szimuláció is tartozik. A georács erősítés gazdasági vonatkozását is kiemelt fontosságúnak tartjuk, ezért ilyen számításokkal is igazolni szeretnénk a beépítés nemzetgazdasági vonatkozását.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatásainkat a MÁV Zrt., a Tensar International Ltd., a Gradex Kft., a Naue Fasertechnik GmbH., valamint a Viacon Hungary Kft. segítik. Külön köszönettel tartozunk Szekeres Dénesnek (MÁV PLK) a tudományos és szakmai támogatásáért, illetve Koncz Katalin építőmérnök egyetemi szakos hallgatónak az irodalomkutatásban nyújtott segítségéért.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] BAGI, K.: *A diszkrét elemek módszere*, egyetemi jegyzet, BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, 2007, p. 73.
- [2] BATHURST, R. J., RAYMOND, G. P.: *Geogrid reinforcement of ballasted track*, Transportation Research Record No. 1153, 1987, pp. 8–14.
- [3] BROWN, S. F., THOM, N. H., KWAN, J.: *Optimising the geogrid reinforcement of rail track ballast*, konferencia kiadvány, Railfound Conference, Birmingham, 2006, pp. 346–354.
- [4] BROWN, S. F., KWAN, J., THOM, N. H.: *Identifying the key parameters that influence geogrid reinforcement of railway ballast*, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 25, 2007, pp. 326–335.
- [5] BUSSERT, F.: *Recent research into the actual behaviour of geogrids in reinforced soil*, nyomtatásban nem megjelent konferencia előadás, Jubilee Symposium on Polymer Geogrid Reinforcement, London, 2009
- [6] INDRARATNA, B., SHAHIN, M., RUIJKIATKAMJORN, C., CHRISTIE, D.: *Stabilisation of ballasted rail tracks and underlying soft formation soils with geosynthetic grids and drains*, ASCE Special Geotechnical Publication No. 152, Proceedings of Geo-Shanghai 2006, Shanghai, China, 2–4 June 2006, pp. 143–152
- [7] INDRARATNA, B., SHAHIN, M. A., SALIM, W.: *Stabilisation of granular media and formation soil using geosynthetics with special reference to railway engineering*, Journal of Ground Improvement, Vol. 11, No. 1, 2007, pp. 27–44.
- [8] KONIETZKY, H., TE KAMP, L., GROEGER, T., JENNER, C.: *Use of DEM to model the interlocking effect of geogrids under static and cyclic loading*, Numerical Modeling in Micromechanics Via Particle Methods — 2004 (Proceedings of

- the 2nd International PFC Symposium, Kyoto, Japan, October 2004), pp. 3–11, Y. Shimizu et al., Eds. Leiden: Balkema, 2004.
- [9] MCDOWELL, G. R., KONIETZKY, H., JENNER, C., HARIRICHE, O., BROWN, S. F., THOM, N. H.: *Discrete element modelling of geogrid-reinforced aggregates*, Geotechnical Engineering, Vol. 159, No. 1, 2006, pp. 35–48.
- [10] MATHARU, M.: *Geogrids cut ballast settlement rate on soft substructures*, Railway Gazette International, March 1994
- [11] NEJAD, F. M., SMALL, J. C.: *Pullout behaviour of geogrids*, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 29, No. B3, 2005, pp. 301–310.
- [12] PERKINS, S. W., EDENS, M. Q.: *Finite element modeling of a geosynthetic pullout test*, Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 21, 2003, pp. 357–375.
- [13] RAYMOND, G. P.: *Reinforced ballast behaviour subjected to repeated load*, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 20, 2002, pp. 39–61.
- [14] RAYMOND, G., ISMAIL, I.: *The effect of geogrid reinforcement on unbound aggregates*, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 21, 2003, pp. 355–380.
- [15] SHIN, E. C., KIM, D. H., DAS, B. M.: *Geogrid-reinforced railroad bed settlement due to cyclic load*, Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 20, 2002, pp. 261–271.
- [16] SHUWANG, Y., SHOUZHONG, F., BARR, B.: *Finite-element modelling of soil-geogrid interaction dealing with the pullout behaviour of geogrids*, Acta Mechanica Sinica (English Series), Vol. 14, No. 4, Nov. 1998, pp. 371–382.
- [17] SZEPESHÁZI, R.: *Geotechnika*, SZE egyetemi jegyzet, Győr, 2008, p. 187.
- [18] THOM, N. H.: *Rail trafficking testing*, konferencia előadás, Jubilee Symposium on Polymer Geogrid Reinforcement, London, 2009

SUMMARY

STABILIZATION OF BALLAST-BEDDED RAILWAY SUPERSTRUCTURE WITH GEOGRID LAYER

This paper deals with the question of stabilization of railway track geometry. It details numerous in the international journal published results. Having analysed the cited publications the paper points out to a new research topic which is related to geogrid-reinforced railway ballast. A research team of the Department of Transport Infrastructure and Municipal Engineering at the Széchenyi Istvan University would like to run on this research topic.

A BIZONYTALAN IGÉNY INFORMÁCIÓKEZELÉSE AZ EREDET-CÉL MÁTRIX FORGALOMSZÁMLÁLÁSI ADATOKAT FELHASZNÁLÓ BECSLÉSE ESETÉN

TREATING UNCERTAIN DEMAND INFORMATION IN ORIGIN-DESTINATION MATRIX ESTIMATION WITH TRAFFIC COUNTS
T. TSEKERIS, A. STATHOPOULOS
JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING, VOL. 134, 2008. 8, P. 327–337.

A cikk a nagyméretű közlekedési hálózatok dinamikus eredet-cél (honnan-hová) utazási mátrixainak becslésével foglalkozik. A becslés bemenő adatai között az automatikus keresztmetszeti forgalomszámlálások és az előzetes bizonytalan utazási igény információ szerepel. Az utazási mátrix becslésének célja a valós idejű hálózati forgalmi monitoring megvalósítása az intelligens közlekedési rendszeremlek felhasználásával. A cikk kétféle algoritmust javasol, és értékeli azok teljesítményét. Az algoritmusok a kiinduló utazások (utazáskeltések) időbeni eloszlásának becslésére alkalmasak, mely a dinamikus eredet-cél utazási mátrixok előállításához szükséges. Az értékelés alapja egy valós esettanulmányon, több futtatásban végrehajtott kísérleti elem-

zés. A javasolt algoritmusok pontosságát és a számítási sebességet vizsgálták különböző határértékek között, ahol a kiinduló utazások becslése reális lehet, figyelembe véve a keresztmetszeti számlálások rendelkezésre állását és az úthálózat méretét. Az eredmények azt mutatják, hogy a kiinduló utazások arányainak gyors becslésére az a javasolt optimális algoritmus alkalmas, amely alsó és felső határértékkorlátokat tartalmaz. A javasolt algoritmussal előállított dinamikus eredet-cél utazási mátrixok megbízhatósága az utazásiigény-korlátok nélküli algoritmussal összehasonlítva jelentősen megnövekedett.

G. A.

A KÖZÚTI BALESETEK ÉS AZ ÚTBURKOLATOK ÁLLAPOTA (SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS)

DR. HABIL GÁSPÁR LÁSZLÓ¹

1. BEVEZETÉS

Az útburkolatok nem megfelelő állapota közismerten számos nemzetgazdasági hátránnyal jár. Legnyilvánvalóbbak azok a többletkiadások, amelyek az útkezelőknél jelentkeznek, a megnövekedett fenntartási, később pedig a felújítási költségek következtében. Emellett azonban az úthasználókat is anyagi veszteség éri, mivel közlekedésüzemi és/vagy utazási idő- (veszteség-) költségeik megnövekszenek. Részletes vizsgálatot igényel azonban, hogy az egyik fontos úthasználói költségelem, a baleseti költség hogyan alakul a burkolatromlás következtében. Ezt az összefüggést azért lehet csak sokirányú elemzés útján meghatározni, mert

- a globális útállapot egy-egy elemét képező állapotparaméterek (pl. hosszirányú felületi egyenetlenség, csúszásellenállás, pályaszerkezet-teherbírás stb.) értékváltozása a szóban forgó útszakaszon bekövetkező balesetek számának és súlyosságának alakulására különbözőképpen hat(hat),
- a különböző burkolatállapot-jellemző paraméterek szintjavítása általában olyan kedvező pályaállapotot teremt, amely az azon közlekedő járművek vezetőjét a későbbiekben magasabb sebesség kifejtésére ösztönzi (ösztönözheti); ugyanakkor pedig ismeretes, hogy az esetlegesen bekövetkezett balesetek nagyobb járműsebességek mellett jelentős mértékben súlyosabbakká válnak,
- valamely állapotparaméter-szint forgalombiztonságra gyakorolt hatását emellett számos egyéb paraméter (pl. az út forgalomnagysága, az időjárási tényezők) is érdemlegesen befolyásolja [1].

A burkolatállapot, illetve a burkolatállapot romlása közúti forgalombiztonságra gyakorolt hatásának vizsgálata tehát meglehetősen komoly kihívás. Azok a publikációk formáját öltő, kutatási és vizsgálati eredmények, amelyek a meglehetősen széles tárgykörben születtek, közvetve vagy közvetlenül ahhoz próbálnak hozzájárulni, hogy a forgalombiztonságot is az útburkolat-gazdálkodás részévé tegyék, ami úgy is fogalmazható, hogy az állapotjavító beavatkozások „optimális” technológiájának és időpontjának a megállapításakor a közúti baleseti helyzetre gyakorolt befolyást se hagyják figyelmen kívül.

A következőkben a tárgykör külföldi és hazai szakirodalmából nyújtunk válogatást, bővebben szólva a Közlekedéstudományi Intézet egyik kutatási munkájáról.

2. EGYES KÜLFÖLDI PUBLIKÁCIÓK

Legáltalánosabban az útpálya csúszásviszonyainak a közúti balesetek bekövetkezésére gyakorolt befolyásával foglalkoznak kutatási témák, ezen belül is a nedves útburkolat-felület forgalombiztonsági hatásai képezték számos publikáció tárgyát.

A Német Szövetségi Köztársaságban kimutatták, hogy az úthálózat külső szakaszain a közúti balesetek 37,1%-a csúszós bur-

kolatfelületen következett be. Száraz pályán a balesetek 13,9%-ánál, nedves burkolatok esetében 41,9%-ánál, míg a jeges felületek 66,8%-ánál a járműkerek megcsúszását hibáztatják [2]. Franciaországban az összes közúti személyi sérüléssel járó baleset 13,7%-át [3], míg Nagy-Britanniában 16%-át [4] a gépjármű megcsúszásának tulajdonítják. Angol tapasztalat szerint a közúti balesetek bekövetkezése szempontjából kritikus burkolati helyek felületi érdesítésével a nedves pályán bekövetkező balesetek száma 90%-kal, míg az összes közúti balesetek száma 45%-kal csökkent [4].

Belga kutatások eredményei szerint a 0,4 alatti csúszósúrlódási tényezővel rendelkező burkolatfelületű utakon a relatív baleseti mutató értéke a 0,6-os értéket meghaladó csúszósúrlódási együtthatójú pályákon tapasztaltnak hússzorosára adódott [5]. Azt is megállapították, hogy a pálya csúszásviszonyait különösen a harmatszertű nedvesítés veszélyezteti [6]. Ezért a közlekedésbiztonság fokozását szolgálja, ha hosszabb összefüggő útszakaszon a burkolat típusa és érdesége változatlan. Angol kutatások azt is igazolták, hogy a burkolat felületének felújítása – a kedvezőtlen geometriai paraméterek javításának hiányában – csökkenti a forgalom biztonságát [4].

Amerikai megfigyelések szerint a túlságosan érdes pálya a gépjárművezetők kifáradását növeli, és ezzel a balesetek számának növekedéséhez hozzájárul [7]. Belgiumban a fő burkolattípusokra vonatkozóan a következő relatív baleseti mutatókat kapták: beton – 2,96 baleset/10⁶ jármű/km; aszfalt – 2,81 baleset/10⁶ jármű/km; idomkő – 4,04 baleset/10⁶ jármű/km [5]. Hasonló jellegű, Csehszlovákiában végzett vizsgálat a következő eredményeket szolgáltatotta: beton – 2,61 baleset/10⁶ jármű/km; aszfalt – 2,62 baleset/10⁶ jármű/km; idomkő – 6,26 baleset/10⁶ jármű/km; makadám – 2,06 baleset/10⁶ jármű/km [8].

Az angol TRL 2005-ben vizsgálta a közúti balesetek és a stratégiai fontosságú utak csúszásellenállása közötti összefüggést [9]. A hálózati szintű elemzésnek az volt a fő célkitűzése, hogy felmérjék, az angol stratégia úthálózatra vonatkozó csúszás-ellenállási követelményei [10] megváltoztatásának van-e indokoltsága. A kiterjedt statisztikai elemzéshez, az úthálózat leltár jellegű és állapotadatait közös, GIS-alapú vonatkoztatási rendszerben kezelték. Először az egyes útszakaszcsoportokban, az érvényes előírás alapulvételével, a pálya csúszásellenállásának értékét a baleseti kockázat szintjével hasonlították össze, majd pedig – általánosított lineáris modellezés segítségével – a csúszásellenállásnak és olyan tényezőknek mint a homokmélység, pályageometria – a balesetsűrűsége gyakorolt befolyását mérték fel. Új útszakasz-kategóriákra készítettek javaslatot, ezekre, a forgalombiztonság növelése érdekében, eltérő csúszás-ellenállási követelményeket támasztanak. (Így az ívviszonyokat, a hosszsesést és a forgalmi csomópont közelségét egyaránt figyelembe vették). A baleseti

¹ Okl. mérnök, okl. gazdasági mérnök, az MTA doktora, kutató professzor, KTI Nonprofit Kft., Budapest, egyetemi tanár, Széchenyi István Egyetem, Győr; e-mail: gaspar@kti.hu

elemzést ezekre az új kategóriákra megismételték. Ennek eredményei megerősítették a javasolt osztályozás indokoltágát. Felmérték annak pénzügyi következményeit, ha a teljes angol törzshálózat külsőségi szakaszain az ún. új, szigorúbb csúszás-ellenállási követelményeket maradéktalanul ki akarják elégíteni. A következő költség típusokat vették alapul: az újburkolás költsége, a forgalom szervezési kiadások, valamint a beavatkozások során megnövekedett úthasználói költségek. Haszonként pedig az angol Közlekedési Minisztérium által kalkulált balesetszökkenést számították. Úgy találták, hogy a tervezett burkolatfeljavítási tevékenység a baleseti költségek jelentős mértékű visszaszorulása révén meglehetősen rövid idő alatt megtérülne [9].

Egy finn kutatási munka során csúszós utakon a változtatható jelzésekű forgalmi jelzéseknek a járműsebességre – és ezáltal a közlekedésbiztonságra – gyakorolt hatását mérték fel [11]. A két vizsgált jelzéstípus a következő volt: „Vigyázat, csúszós útpálya!” és „Minimális követési távolság”.

Azt találták, hogy az előbbi a korábbi jelzés átlagos sebességet 1-2 km/órával csökkentette. A másik jelzés hatására 1 km/órányi sebességcsökkenés és a 1,5 másodpercnél kisebb követési távolságú személygépkocsik arányának csökkenése volt regisztrálható. A bevezetés utáni második télen valamivel kisebbnek adódott ez a kedvező hatás, mint az első télen.

Dél-afrikai kutatók a burkolat felületi egyenetlenségének a forgalombiztonságra gyakorolt hatását vették vizsgálat alá [12]. A kutatási munka során két tartomány útjainak geometriai, forgalmi, utazáskényelmi és baleseti adatait gyűjtötték össze. Ugyanolyan keresztmetszetű utak szerinti csoportokban – a napi forgalom nagyságán és a domborzati viszonyokon kívül – az utazáskényelem szintjét a Pillanatnyi Használhatósági Index (PSI) értékét és a hároméves időszak alatt bekövetkezett balesetek számát vették alapul. Meghatározott balesettípusokban az összes, a halálos kimenetelű, a személyi sérüléssel járó, valamint a csak anyagi káros balesetekre vonatkozólag a balesetek fajlagos sűrűségét számították. A kiterjedt statisztikai elemzés eredménye arra mutatott rá, hogy a baleseti helyzetet leginkább az út környezetének domborzati jellemzői, a padka szélessége és a pálya utazáskényelme befolyásolja. Érdekes megállapításuk, hogy az utazáskényelemnek csupán nem-síkvidéki terepen volt érdemleges befolyása. Ez a tény a készített regressziós modellben is megjelent.

Számos ország kutatói foglalkoztak a burkolat kátyúosodásának a forgalombiztonságra gyakorolt hatásával. Baker szerint legalább 30 cm-es hosszúságúnak és a járműkeréknél szélesebbnek kell lenni annak a kátyúnak, amely érdemleges balesetveszélyt teremt [13]. Ivey és Griffix Delphi-elemzési technika alkalmazásával azt kapták, hogy a kátyú csupán tizenhatalcadik a vizsgált hús burkolathiba-típus forgalombiztonságra gyakorolt hatása szempontjából [14]. Meglehető eredménytel szolgált egy másik amerikai vizsgálat [15], amely szerint a gépjárművezetők a harmadik baleset-veszélyességűnek tekintik a kátyút az általuk vizsgált 13-féle burkolathiba közül.

Annak érdekében, hogy ezek között az egymástól meglehetősen eltérő kutatási eredmények között „rendet teremtsen”, Zimmer és Ivey – ellenőrzött körülmények között – nagyszámú, a jármű és a kátyú kölcsönhatására vonatkozó vizsgálatot hajtott végre [16]. Azt találták, hogy akár 1 m-es hosszúságú (átmérőjű) és akár 17 cm-es mélységű mélyedések esetében sem került veszélybe a gépjármű stabilitása, azok haladási vonala nem változott meg. A kátyúk egyetlen, lényeges, forgalombiztonságra gyakorolt hatása a gumiabroncs és a keréktárcsa megsérüléséből

származik, amely defekthez vezethet. Igazi veszély azonban abból származik, hogy a gépjárművezetők megpróbálják kikerülni a nagy felületű és/vagy mély kátyút, és annak során következik be valamilyen típusú közúti baleset [17].

A különösen egyenetlen felületű úton haladó járművet elsősorban az a veszély fenyegeti, hogy főleg a nem elegendő tapasztalattal rendelkező gépjárművezető elveszti uralmát a jármű felett, és valamilyen álló vagy mozgó tárgyba ütközik. Kevesebb vizsgálat folyt olyan típusú balesetekre vonatkozólag, amelyek a felületi egyenetlenség miatti részleges rakományvesztés (leesés) következményei [18]. Számos vonatkozásban még kutatásra váró rész kérdések maradtak a gépjármű ütegenetlenségek miatti rezgésének a járművezető teljesítményére gyakorolt hatásának megismerésében [19]. Annyi mindenestre nyilvánvaló, hogy a vezető fáradtabb lesz, ha huzamosabb ideig rezgésnek van kitéve, ami pedig, természetesen, növeli a közúti balesetek veszélyét. Azonban eddig még nem sikerült az útpálya felületi egyenetlensége és a fáradással kapcsolatba hozható közúti balesetek száma között összefüggést állapítani meg. Nagyon komoly baleseti veszély állhat elő, ha egyenetlen felületű útpályán, nagy sebességgel haladó gépjármű vezetője kis sugarú (éles) kanyarodásra szánja el magát [20].

A közutak újburkolásakor (újabb kopóréteg építésekor) kétféle, forgalombiztonsággal kapcsolatba hozható ok merülhet fel: a csúszásellenállás növelésének igénye, illetve az utazáskényelem javításának szándéka. Az előbbi a nedves útpályán bekövetkezett balesetekkel, míg az utóbbi mindenféle időjárás melletti forgalombiztonsággal hozható kapcsolatba. Gyakran előfordul, hogy az újburkolással egy időben az út és az út menti létesítmények geometriai jellemzőit is megjavítják; ilyenkor ennek a tevékenységnek a hatását egyértelműen külön kell az újburkolás balesetekre gyakorolt befolyásától választani.

Az Egyesült Államokban nagyszabású vizsgálatra került sor a csúszós balesetek megakadályozására szolgáló eljárások hatékonyságának felmérése céljából [21]. 428 szakaszról gyűjtöttek információkat, amelyek közül 142 szakaszt korábban újburkoltak, a többi referenciaként szolgált. A vizsgálatba viszonylag kis forgalmú utakat vettek be. Ezeknek az újburkolásoknak az indokát nem a megnövekedett balesetveszély, hanem a rossz burkolatállapot szolgáltatta. Az újburkolt szakaszokon átlagosan 2%-os (tehát meglehetősen kis mértékű), átlagos balesetnövekedést tapasztaltak.

Az amerikai FHWA egyik kutatási munkája 59, két forgalmi sávú útszakasz vizsgálata alapján – kontrollszakaszok nélkül – 2,2%-os balesetnövekedést tapasztalt a burkolatok felújítását követően, 2,39–2,45 baleset/10⁶ járműmérföld baleseti sűrűséggel. Az 59 szakasz közül a baleseti helyzet 36 esetében – bár statisztikailag nem értékelhető mértékben, de – romlott [22].

Másik amerikai vizsgálat [23] negyven útszakaszon, újburkolásokat követően, az összes baleset számában 2%-os növekedést regisztrált. Ugyanennek a vizsgálat sorozatnak a referenciaszakaszain, ugyanazon időszak alatt, ez a növekedés átlagosan 6%-nak adódott. A kutatók egyik eredményt sem tekintették statisztikailag szignifikánsnak.

Az 1980-as évek elején New York államban kétféle újburkolási projektre került sor [24]. Az egyik az ún. Fast-Track csoport, amelybe kizárólag új burkolattal ellátott utak kerültek, a másikba (R & P csoportba) olyanok, amelyekben az újburkoláson kívül – a közúti és az út menti közlekedésbiztonságot is javító intézkedé-

seket hajtottak végre. Ezeknek az útszakaszoknak a forgalom-biztonsági teljesítményét 13 éven keresztül figyelemmel kísérték. A következő fő következtetésekre jutottak:

- a Fast-Track projektcsoporthoz balesetszáma, a beavatkozást követően, eleinte csökkent,
- az R & P projektek csoportjában ugyanakkor már azonnal kedvező irányú biztonsági változást lehetett tapasztalni,
- általában megfigyelhető volt, hogy a burkolatok biztonsága élettartamuk első 6-7 évében fokozatosan javul.

Egy másik kutatási munka, amely az Egyesült Államok 133 újraburkolt útszakaszára vonatkozott, megállapította, hogy a relatív baleseti mutató, a beavatkozást követően – 95%-os megbízhatósági szinten – 24%-kal csökkent [25]. A jelentés nem szól az alkalmazott újraburkolási technológiákról és az esetleges referenciaszakaszokról.

Dél-Afrikában az utépítéseknek a biztonsági hatását vizsgálták [26], és a beavatkozást követő időszakban egyértelműen balesetcsökkenést regisztráltak. Bár ezeknek a vizsgált szakaszoknak mindegyikén mind a keresztmetszet, mind pedig a hosszesés tekintetében komoly mértékű javításokat hajtottak végre.

Brown és McCarthy [27] 2,5%-os balesetcsökkenésről számolt be az USA-beli Alabama állam 24 darab, újraburkolt, két forgalmi sávú útján. Ezt a javulást a kutatók nem tekintették statisztikailag szignifikánsnak.

Cleveland nagyszámú vizsgálat eredményeinek feldolgozása után azt találta, hogy az utak burkolatának cseréjét követően, az első évben a nedves burkolatfelületen bekövetkező balesetek száma 15%-kal csökkent, ugyanakkor pedig a száraz pályán 10%-kal növekedett; összesítve 5%-os balesetszám-növekedés tapasztalható, ha az összes közúti balesetet vesszük tekintetbe [23]. Magyarán azt találta, hogy az újraburkolás után a pálya egyenletesebbé és érdekesebbé válik, ami a gépjármű manőverezését, különösen nedves burkolatfelület esetében, megkönnyíti. A gépjárművek vezetői erre nagyobb sebesség választásával és a korábbiaknál gondatlanabb vezetéssel reagálnak. Mindezek következménye – elsősorban száraz útpályán – a balesetek számának illetve súlyosságának a megnövekedése. Olyan útszakaszokon, ahol korábban a nedves pályán bekövetkező balesetekkel összefüggésben komoly problémák adódtak, az újraburkolás a közlekedésbiztonságot érdemlegesen javíthatja. Idővel azonban ezek az előnyök fokozatosan eltűnnek, elsősorban a kedvező felületi érdességgel kapcsolatosak, kevésbé a pálya egyenletességéből származók. Ennyiben tehát az újburkolat cseréje a forgalombiztonságra vegyes hatást gyakorol: a megnövekedett sebesség súlyosabb balesetekhez vezet, míg a jobb minőségű pálya – a fékút csökkentése révén – a közlekedés biztonságára kedvező hatást gyakorol.

A burkolatállapot forgalombiztonsági befolyásának vizsgálatára két hálózati szintű vizsgálatot is végrehajtottak:

- Izraelben a közúthálózatot burkolatállapot szerint öt csoportba osztották fel, majd mindegyik csoportban – különválasztva a két forgalmi sávú és az osztottpályás utakat – a relatív baleseti mutatót meghatározták [28]. Miután az eredményeket a forgalomnagyságra normalizálták, megállapították, hogy az újburkolat állapotának a közúti balesetek alakulására nincsen jelentős hatása.
- Skandináviában 10 914 szakaszt, 18 567 km-es összes hosszúsággal vizsgáltak [29]. Mindegyik napi forgalma nagyobb volt 1500 járműnél, az azokon megengedett sebesség pedig a 70 km/órát elérte. 2886 személyi sérüléssel járó közúti balesetet vettek vizsgálat alá. A csomópontokban bekövetkezett baleseteket kihagyták a vizsgálatból. Finn, svéd, dán és norvég

utakról származtak az információk. Keréknyomvályú-mélység és hosszirányú felületi egyenetlenség alapján sorolták az utakat jó és rossz burkolatfelületű csoportba. Kizárták a vizsgálatból a teljesen új beavatkozással szakaszokat, valamint azokat, amelyek már tönkrementek. Így a „kissé kopott” és a „középszerűen kopott” útszakasz-csoport maradt. A rosszabb állapotú szakaszokon a relatív baleseti mutató kedvezőbbnek mutatkozott. Okát a száraz vagy csupán kissé nedves burkolatfelületek nagyobb mértékű forgalombiztonsága szolgáltatta. 10 mm-es napi csapadékmennyiség fölött már megfordult a sorrend a balesetek szempontjából a két csoportban. A vizsgálatok során az utak geometriai jellemzőit nem vették vizsgálat alá.

A csúszós burkolatfelületű utak és a halálos kimenetelű gépjármű-balesetek összefüggését kutatták az Egyesült Államok északi részén [30]. Megállapították, hogy különösen a fiatal (tapasztalatlan) gépjárművezetők között gyakori a nedves útpályán való, gyakran balesetet okozó megcsúszás. A probléma enyhítésében a több lépcsős jogosítványkiadási rendszer, illetve jól megalapozott tréningprogramok segíthetnek.

A forgalombiztonság háromdimenziós szimulációs modellje hozzájárulhat ahhoz, hogy a ható tényezők, így a burkolatállapot balesetszámra és súlyosságra gyakorolt befolyását felmérhessék [31].

A közúti forgalombiztonságnak az újburkolat-gazdálkodási rendszerbe történő beépítésével foglalkoztak kanadai kutatók [32]. A következő burkolati jellemzők figyelembevétele teszi lehetővé ennek a kapcsolatnak a megteremtését: a burkolat típusa, a pálya makro- és mikroérdessége. Javaslatokat készítettek a biztonságot is javító útfenntartási technológiákra vonatkozólag.

3. EGYES HAZAI KUTATÁSI EREDMÉNYEK

3.1. A KTI STATISZTIKAI ALAPÚ KUTATÁSI TÉMÁJA

A Közlekedéstudományi Intézet 1994–95-ben olyan témát művelt, amelynek fő célját az útügyi és a baleseti adattár célszerű összekapcsolását követően végrehajtott összefüggés-vizsgálat, majd az eredmények értékelése képezte [33]. A vizsgálat kétirányú volt, egyrészt a különböző burkolatállapot-paraméterek forgalombiztonsági következményeit mérték fel, másrészt pedig az állapotjavító beavatkozások balesetszámra és -súlyosságra gyakorolt hatását vették vizsgálat alá.

3.1.1. A BURKOLATÁLLAPOT BALESETEKRE GYAKOROLT HATÁSÁNAK FELMÉRÉSE

A vizsgálatot a következő lépésekben hajtották végre:

- a) a rendelkezésre álló baleseti adathalmaz célszerű „leválogatása”
- b) a közúti adattárból a vizsgálatához felhasználandó állapotadat-típusok kiválasztása és a balesetekkel megegyező időszakból származó állapotadatok „leválogatása”
- c) a jellemző forgalmi adatok hozzárendelése a megfelelő útszakaszokhoz és időpontokhoz
- d) a meghatározott körben a baleset-burkolatállapot-párok egyes statisztikai jellemzőinek megállapítása,
- e) a kapott eredmények értékelése

ad a) Az adatok leválogatása a következőképpen történt: Magyarországon a személyesérüléssel járó közúti közlekedési balesetek adatait a rendőrség rögzíti, és a balesetet követő 30. nap után a hivatalos statisztika alapbizonylatát képező „személyesérüléssel járó közúti közlekedési baleset statisztika adatfelvételi lap”-on a Központi Statisztikai Hivatalhoz továbbítja.

A statisztikai lap – kisebb módosításoktól eltekintve – 1976 óta változatlan. Ugyanezen időpont óta a Központi Statisztikai Hivatal áttért a balesetek és a sérülések kimenetelére vonatkozó adatok – a balesetet követő 30 nappal későbbi állapotot tükröző – nyilvántartására.

Időközben a KSH adatállománya balesetmegelőző tevékenység szempontjából elengedhetetlen elemekkel (pl. a baleseti típusára, a baleset következtében keletkező nemzetgazdasági veszteség becsült értékére stb.) vonatkozó adatokkal bővült [41].

A KSH baleseti adatait a rendőrség külön e célra kiképzett szakemberei (baleseti helyszínelők) gyűjtik.

Az 1994–95-ös vizsgálat során csupán a személysérüléssel járó közúti balesetekről állt megbízható, a korrelációs vizsgálatban hasznosítható információ rendelkezésre.

A Baleseti Információs Rendszer (BIR) adatbázisából azon események jellemzőit választották ki, amelyeknél a balesetet előidéző okok között a 311 (úteltérzés), 312 (útburkolat rossz állapota), 313 (csúszósság), 314 (lényeges szintkülönbség az úttest és a padka között), 315 (útépítés) és a 316 (egyéb) kódszám szerepel. Ezekben az esetekben a helyszínelő rendőr a baleset fő okaként az úttal kapcsolatos hiányosságokat jelölte meg.

A baleseteknek a következő jellemzőit gyűjtötték ki (a statisztikai lap „szakifejezéseit” alkalmazva):

- a baleset helye,
- az útvonal típusa,
- az út alakzata,
- az útkeresztvezető (forgalomszervezés szerint),
- az azonos irányú forgalmi sávok száma,
- az út esésviszonyai,
- az úttest szélessége,
- az úttest burkolata,
- az úttest burkolatának állapota,
- az úttest felületének állapota,
- időjárási viszonyok,
- látási viszonyok,
- a baleset természete,
- a balesetet okozó személy alkoholos befolyásoltsága,
- a baleset következtében meghalt, illetve megsérült személyek száma összesen.

ad b) A burkolat állapotadatainak arra a vizsgált időszakra történt leválogatása során, amelyből a kutatók rendelkezésére bocsátott balesetek származnak, a következő állapot-adattípusokat ítélték olyanoknak, amelyeknek a baleseti jellemzőkkel való együttes vizsgálata indokolt lehet:

- felületállapot,
- felületi egyenetlenség,
- víztelenítés állapota,
- felületi érdesség (csúszásellenállás),
- keréknyomvályú-mélység.

Hazánkban 1979-től vált rendszeressé a teljes, 30 ezer km-es országos közúthálózat állapotfelvétele, amely az útgazdálkodási célokra szolgáló megfelelőségi vizsgálat fontos elemét képezi.

A rendszeres állapotfelvételi rendszer elemei az 1994–95-ös vizsgálat időpontjában a következők voltak [19]:

- részletes felvételi útmutatóval segített vizuális felületállapot-osztályzat adása minden 1,0 km-es hosszúságú szakaszra (évente megismételt),
- a pályaszerkezet teherbírásának kvázi-statisztikus eljárással, azaz Benkelman-tartóval vagy Lacroix-deflektográfval végzett jellem-

zése, behajlásmérés (átlagosan öt évente egy alkalommal kerül rá sor),

- a pálya hosszirányú egyenetlenségének jellemzése Bump Integrátorral, ill. a mellékutakon a szakasz gépkocsival történő beutazása után az utazáskényelem szubjektív osztályozása (öt évente egy alkalommal kerül rá sor).

Az említett állapotinformációk halmazán kívül az adattárban a következő típusú állapotadatok álltak még rendelkezésre:

- 1979 óta a víztelenítés állapotára 1 km-enként évente adott osztályzat,
- 1986 óta a KTI által kifejlesztett Deformmeter-rel, főleg a nagy forgalmú utakon bizonyos rendszertelenséggel meghatározott nyomvályú-mélység értéke, ill. az ebből származtatott osztályzat,
- a 80-as évek elejétől kezdve egyes szakaszokról a SCRIM-mérőkocsival jellemzett oldalirányú csúszás-ellenállási tényező (SCF) értéke.

1991-től lézeres svéd RST-mérőkocsi is működik a hazai utakon. Ez a világszerte is rendkívül korszerűnek tekinthető többcélú mérőberendezés, egyebek mellett, a következő állapotjellemzőket tudja – nagy mérési sebesség mellett is – felvenni: hosszirányú felületi egyenetlenség (IRI), külső és belső nyomvályú mélysége (mm), a makro- és a mikroérdesség közelítő jellemzése, a pályán található repedések mennyiségének – statisztikai alapon történő – minősítése. A mérőkocsi egy-egy évben mintegy 10 000 km-nyi útszakaszon képes állapotjellemzést végrehajtani.

1990 óta a vizuális felületállapot-jellemzést némileg objektívebbé tették oly módon, hogy az értékelő billentyűzettel ellátott, Roadmaster elnevezésű hibarogató készülék segítségével, a lassan haladó járműben az észlelt hibákat típusokba sorolják, kiterjedésükre és súlyosságukra is kitérve. A jellemző felületépség-osztályzat a tárolt hibajellemzők alapján automatikusan határozható meg.

A következőkben azt tekintjük át, hogy az egyes burkolatállapot-paraméterek – némileg spekulatív alapon – hogyan hozhatók az esetleges balesetek bekövetkeztével összefüggésbe [34].

A felületépség-osztályzatról megállapítható, hogy az különféle vizuálisan észlelhető hibatípusok jelentkezésének összesített mérőszáma. Ezek közül a hibák közül gyakorlatilag mindegyik közvetlenül vagy közvetve balesetek kiváltó oka lehet. A kátyúsodás vagy az elsíkosodott pálya esetében ez nyilvánvaló, de a különböző repedések is rendszerint együtt járnak olyan süllyedésekkel, amelyek a gépkocsi vezetője számára váratlan járműmozgás következtében balesetveszélyt rejtenek magukban.

A felületi egyenetlenséget az 1 km-re eső pálya-hullámmagasságok összegével jellemzik. Ebben a mérőszámokban azonban egy-egy tényleges függőleges elmozdulás nagysága és a hullámhosszak gyakorlatilag nem tükröződnek, így a forgalombiztonságra valóban veszélyes gyűrődések, viszonylag nagy magasságú rövid hullámok az egyenetlenségi osztályzatból nem mutathatók ki.

A gyenge pályaszerkezet-teherbírás – amelyet a behajlási érték vagy a teherbírás osztályzat igazolhat – közvetlenül nem gyakorol hatást az útszakasz baleset-veszélyességének mértékére. Olyan következményeit (pl. a mozaikrepedéses pályasüllyedést), amelyek érezhetően rontják a forgalombiztonságot, a már említett felületépség (felületállapot) osztályzat egyértelműen jellemezni képes.

A keréknyomvályú mélysége már egyértelműen összefüggésbe hozható a szóban forgó útszakasz forgalombiztonságának szintjével. A mély keréknyomvályúk egyrészt az azokba haladó gépjármű „megvezetése” révén okoznak balesetveszélyt, másrészt

pedig a vályúban felgyűlt, összefüggő csapadékvíz felületén alakulhat ki az aquaplaning, azaz a nagy sebességgel haladó jármű fékezésekor a vízen csúszás jelensége, ami gyakorlatilag a jármű kormányozhatatlanságához vezet.

A pálya csúszásellenállása (két elemével, a makro- és a mikroérossal együtt), közismerten, a járművek fékútját befolyásolja, így a biztonságra közvetlen hatást gyakorol. Különösen nedves időben jelentős ennek az állapotparaméternek az értéke.

Mindezek alapján a felületépség-osztályzatot, a víztelenítési osztályzatot, az RST-mérőkocsival mért felületi egyenetlenséget és nyomvályú-mélységet, valamint az RST-mérőkocsi textúramérési eredményeit tekintették olyanoknak, amelyekkel a baleseti adat-tár előre meghatározott szempontok szerint kiválasztott eseményeinek egyes adatait összefüggésbe kívánták hozni.

ad c) A burkolathibák miatt bekövetkező balesetek jellemzőit erősen befolyásolják az útszakasz forgalmi paraméterei. Ezért a megfelelő évekhez és útszakaszokhoz az ÁNF (egységjármű/nap) és az N (egységtengety/nap) értékeket rendeltük hozzá. Ez utóbbi paramétert a jelenlegi OKA2000 országos közúti adattár ANET kód elnevezés alatt tárolja.

Mivel nem minden évben van keresztmetszeti forgalomszámlálás, szükség esetén az érvényes forgalomszámlálási viszony-számok felhasználásával határozták meg a szóban forgó évre extrapolált forgalomnagyságot.

A két említett forgalmi paraméter ismerete lehetővé teszi az arányszám meghatározását is. Ez az N/ÁNF (%) arányszám alkalmas a forgalom jellegének (ipari, üdülőhelyi stb.) minősítésére is, amelynek jelentősége főleg a tehergépjárművek forgalomban való előfordulási gyakoriságának megbecsülhetőségében rejlik.

ad d.) Az állapot- és a baleseti jellemzők közötti összefüggések keresése, a statisztikai jellegű feldolgozás volt a következő lépés. Az 1986 és 1991 közötti hétéves időszakból kiválasztott – a már említett, 311–316-os kódszámmal jelzett pályahibák által magyarázott – balesetek száma az előzetes várakozásnak jóval alatta maradt. A külföldi szakirodalom a közúti balesetek kialakulásában 5–15% közötti arányszámúnak tekinti az útpálya különböző formájú meghibásodásának a szerepét.

Tekintettel arra, hogy az országos közúthálózaton a vizsgált időszakban évente 20–28 ezer személyes baleset következett be, az útpálya hibái miatti balesetszáma 1000–3000-es érték volt várható. Ehelyett a teljes hét éves időszakra összesen 183 olyan balesetet találtunk az adattárban, amelynél a helyszínelést végzett rendőrök az úthibákat jelölték meg a balesetek elsődleges okaként. Ha ebből az egyébként is túlságosan kis halmazból levonjuk a helyi közutakon történt 72 balesetet, akkor az adódik, hogy országos közutakon csupán 111 bekövetkezett baleset halmazával számolhatunk [35]. Ezért azt a megoldást választottuk, hogy az 1–8. táblázatban közölt eredményekkel azt vizsgáltuk meg, évenkénti bontásban, hogy a baleseti helyszíneken mérhető állapotszintek átlaga – természetesen, állapotparaméterenkénti bontásban – hogyan viszonylik a megfelelő években ugyanazon állapotparaméterrel kapott, a teljes hálózatra vonatkoztatott átlaghoz. (Másként fogalmazva, azt kívántuk megállapítani, hogy valamely kedvezőtlen szintű állapotparaméter hozzájárulhatott-e a szóban forgó útszakasz forgalombiztonsági helyzetének romlásához).

A statisztikai adatfeldolgozás egy része a már említett, kiválasztott balesettípusok szerint annak vizsgálatára vonatkozott, hogy azok milyen arányban fordultak elő különböző burkolatállapot-paraméterszintek, osztályzatok esetében. Ezt a felmérést a felületállapot, a víztelenítés, a felületi egyen-

1. táblázat: Az 1985-ös balesetek színhelyeinek állapotadatai, az országos átlaghoz képest

Baleseti indok kódszáma	Balesetszám, db	Burkolatállapot		Vízelenítés	
		szakaszok átlaga	országos átlag	szakaszok átlaga	országos átlag
313	6	2,17	2,34	1,33	2,42
316	1	2,00		3,00	

2. táblázat: Az 1986-os balesetek színhelyén állapotadatok, az országos átlaghoz képest

Baleseti indok kódszáma	Balesetszám, db	Burkolatállapot		Vízelenítés	
		szakaszok átlaga	országos átlag	szakaszok átlaga	országos átlag
312	3	1,33	2,73	1,67	2,49
313	8	2,13		1,63	
314	1	3,00		5,00	
316	3	3,67		3,00	

3. táblázat: Az 1987-es balesetek színhelyeinek állapotadatai, az országos átlaghoz képest

Baleseti indok kódszáma	Balesetszám, db	Burkolatállapot		Vízelenítés	
		szakaszok átlaga	országos átlag	szakaszok átlaga	országos átlag
312	1	5,00	2,89	3,00	2,53
313	11	2,64		1,55	
314	1	1,00		1,00	
316	4	1,75		3,00	

4. táblázat: Az 1988-as balesetek színhelyeinek állapotadatai, az országos átlaghoz képest

Baleseti indok kódszáma	Balesetszám, db	Burkolatállapot		Víztelenítés	
		szakaszok átlaga	országos átlag	szakaszok átlaga	országos átlag
312	2	2,00	2,81	2,00	2,43
313	5	2,00		1,80	
316	4	1,50		1,75	

5. táblázat: Az 1989-es balesetek színhelyeinek állapotadatai, az országos átlaghoz képest

Baleseti indok kódszáma	Balesetszám, db	Burkolatállapot		Víztelenítés	
		szakaszok átlaga	országos átlag	szakaszok átlaga	országos átlag
312	3	2,00	2,88	2,00	2,54
313	19	2,32		1,42	
314	2	3,50		3,00	
316	4	2,75		1,50	

6. táblázat: Az 1991-es balesetek színhelyeinek RST-mérőkocsival meghatározott állapotadatai, az országos átlaghoz képest

Baleseti indok kód-száma	Balesetszám főúton, db	RST-mérőkocsival mért							
		keréknyommélység, mm		IRI, m/km		mikroérdesség		makroérdesség	
		szakasz átlaga	országos átlag	szakasz átlaga	országos átlag	szakasz átlaga	országos átlag	szakasz átlaga	országos átlag
313	4	2,78	5,89	9,23	2,35	0,11	0,14	0,18	0,24
311	1	2,20		4,10		0,08		0,12	
316	2	2,70		6,15		0,15		0,28	

7. táblázat: Kiválasztott balesettípusok helyszínén a felületállapot-osztályzat megoszlása

Baleset-típus	Felületállapot osztályzata						átlaga	országos átlaga
	1	2	3	4	5			
	előfordulási darabszáma							
AI	29	25	48	109	111	3,88	3,49	
SZI	34	47	105	148	187	3,78		
KI	7	23	26	34	52	3,71		
ÁJ	27	34	79	95	18	3,17		
KE	52	85	200	221	299	3,74		
SM	18	32	58	83	131	3,86		
MA	167	237	553	574	865	3,72		
EGY	5	5	12	13	20	3,51		
GYA	128	180	351	469	756	3,82		

Jelmagyarázat:

- AI – azonos irányba haladó járművek összeütközése
- SZI – szembe haladó járművek összeütközése
- KI – keresztező irányba haladó járművek összeütközése
- ÁJ – álló járműnek ütközés
- KE – kerékpáros baleset
- SM – segédmotoros baleset
- MA – motorkerékpáros baleset
- EGY – egyéb járműbalesetek
- GYA – gyalogos elütése

8. táblázat: Az 1991-es balesetek színhelyeinek RST-mérőkocsival meghatározott állapotadatai, az országos átlaghoz képest

Baleseti indok kódszáma	Balesetszám főúton, db	RST-mérőkocsival mért							
		keréknyommélység, mm		IRI, m/km		mikroérdesség		makroérdesség	
		szakasz átlaga	országos átlag	szakasz átlaga	országos átlag	szakasz átlaga	országos átlag	szakasz átlaga	országos átlag
313	4	2,78	5,89	9,23	2,35	0,11	0,14	0,18	0,24
311	1	2,20		4,10		0,08		0,12	
316	2	2,70		6,15		0,15		0,28	

9. táblázat: Kiválasztott balesettípusok helyszínén a felületállapot-osztályzat megoszlása

Baleset típusa	Felületállapot osztályzat						átlaga	országos átlaga
	1	2	3	4	5			
	előfordulási darabszáma							
AI	29	25	48	109	111	3,88	3,49	
SZI	34	47	105	148	187	3,78		
KI	7	23	26	34	52	3,71		
ÁJ	27	34	79	95	18	3,17		
KE	52	85	200	221	299	3,74		
SM	18	32	58	83	131	3,86		
MA	167	237	553	574	865	3,72		
EGY	5	5	12	13	20	3,51		
GYA	128	180	351	469	756	3,82		

Jelmagyarázat: ld. 7. táblázat

letesség, a keréknyomvályú-mélység és a mikroérdesség eseteire elvégezték.

A 9. táblázat – példaként – a felületállapot-osztályzatokra mutatja be ezt a baleset-típusonkénti megoszlást, feltüntetve a felületállapot-osztályzatoknak az egész országos közúthálózatra vonatkozó átlagértékét is.

A 10. táblázat már a többi állapotparaméterre vonatkozóan ad olyan összefoglaló megállapításokat, hogy a különböző balesettípusok esetében a szóban forgó állapotparaméter szempontjából rosszabb vagy nem rosszabb szinteket regisztrált-e az egész országos közúthálózaton mérhető átlagoknál. Ebből a táblázatból egyértelműen megállapítható, hogy a vizsgált állapotparaméterek közül egyedül a pálya mikroérdességének van a bekövetkezett balesetek számára kimutatható hatása.

3.1.2. AZ ÚTÁLLAPOT-JAVÍTÓ BEAVATKOZÁSOK HATÁSA A SZEMÉLYSÉRÜLÉSES BALESETEKRE

Az útburkolatok állapota, közismerten, a forgalmi és az időjárás hatásokra olyan kedvezőtlen szintre jut, amely – valamelyik állapotparaméter (pl. felületi egyenletesség, pályaszerkezet teherbírása) már elfogadhatatlan szintje miatt – sürgős beavatkozást igényel.

Fontos feladat annak a vizsgálata, hogy a szóban forgó útszakasz baleseti jellemzőire (egyebek mellett, baleseti költségére) ezek az állapotjavító beavatkozások miként hatnak. A várható eredmény értéke és előjele azért kétséges, mivel megnövekedett járműsebesség negatív hatásának és a burkolathibák megszűnéséből származó pozitív hatásnak az eredőjéről van itt szó [35].

Az említett összefüggés megismerésére végzett kiterjedt vizsgálat sorozat a következő lépésekből állt:

- a vizsgálatba bevont állapotjavító beavatkozástípusok kiválasztása
- a vizsgálati évek kiválasztása
- a kijelölt időszakokra a vizsgálatba bevonható beavatkozások adathalmazának összegyűjtése
- a beavatkozási helyeken a megelőző és a követő évben regisztrált személysérüléssel balesetek fő paramétereinek összegyűjtése
- az időközbeni balesetváltozások – forgalmi kategóriánkénti – vizsgálata
- következtetések levonása.

ad a) A leromlott állapotú útburkolatok állapotjavítására hazánkban rendelkezésre álló technológiák közül az új aszfaltréteg építését és a felületi bevonást vonták be a vizsgálatba.

Az új aszfaltréteg vagy -rétegek építésével, általános esetben, hossz- és keresztirányban egyenletes útpályát, ép burkolatfelületet és legalábbis átlagos felületi érdességet hoznak létre. Ezzel tehát a különböző pályahibákból (kátyúk, csúszós foltok, süllyedések stb.) adódó baleseti forrást meg lehet szüntetni, ugyanakkor azonban az új pálya a gépkocsivezetők közül sokakat nagyobb – esetenként túl nagy – járműsebesség kifejtésére készített. Indokolt tehát a baleseti következmények felmérése is.

A felületi bevonás célja egyrészt a bizonyos mértékig nyitott pálya lezárása, vízzáróvá tétele, másrészt pedig az elsikosodott burkolatfelület újraerősítése, a csúszásviszonyok kedvezőbbé tétele. A tervezett forgalombiztonsági vizsgálat szempontjából – elsősorban,

mivel az csupán rövid távú, a következő évre vonatkozó hatásokat kíván nyomon követni – a másodikként említett, felületérdesítő hatás a jelentős. Nyilvánvaló ugyanis, hogy kedvező csúszás-ellenállású pályán csökken a járművek fékútja, és így sok baleset elkerülhető. Negatív hatásként azonban itt is jelentkezik az egyenletes textúrájú burkolatfelület, ami a balesetveszélyesen magas sebességek régiójába vonzza a gépjárművezetőket egy részét.

ad b) A rendelkezésünkre álló – és együttes vizsgálatra szánt – útdatbanki és baleseti adathalmaz szabja meg a vizsgálati időszakot. Olyan évek állapotjavító beavatkozásait vehetjük itt számításba, amelyeknek a közúthálózaton elfoglalt helyéről a megelőző és a követő évre vonatkozólag az azon bekövetkezett személysérüléssel balesetek szükséges információi rendelkezésre álltak. Ennek alapján az 1990-es, az 1991-es és az 1992-es állapotjavító beavatkozások (új aszfaltréteg építése, felületi bevonás) alkották a vizsgálati adathalmazt.

ad c) A 11. táblázat mutatja be a kétféle beavatkozástípusból a vizsgált három évben alapul vett szakaszok számát.

ad d) Mivel nem ismeretes, hogy az egyes útszakaszokon az állapotjavító beavatkozások az év melyik hónapjában, illetve napján kerültek sorra, így az sem dönthető el, hogy az ugyanabban az évben regisztrált valamely baleset még a régi vagy pedig már az új pályán következett-e be. Ezért ítélték azt a megoldást célszerűnek, miszerint a beavatkozási évet megelőző és követő év baleseti jellemzőit gyűjtik össze, és állítják egymással szemben.

A baleseti adatok így aztán az 1989-es, az 1990-es, az 1991-es, az 1992-es és az 1993-as évekről kerültek be a vizsgálatra.

ad e) A beavatkozások személysérüléssel közúti balesetekre gyakorolt hatásának vizsgálatokor egyrészt a kétféle állapotjavítás-típust különválasztották, másrészt pedig három forgalmi kategóriát is választottak, emellett a vizsgálat első lépésében a három beavatkozási évet is külön tárgyalták.

A 12. táblázat az 1990-es beavatkozások előtte-utána baleseti adatait veti össze, a korábban említett csoportosításban. A 13. táblázat pedig az 1990-es felületi bevonásos útszakaszokra mutat be hasonló feldolgozást; ebben az esetben – a viszonylag kis balesetszám miatt – nem került sor forgalomnagyság szerinti szétosztásra.

ad f) A hároméves állapotjavító beavatkozás-sor előtt és után regisztrálható balesetek vizsgálata során nyert eredményekből a következő fő következtetések vonhatók le:

- a felületi bevonásnak kimutathatóan kedvezőbb hatása van a baleseti helyzetre, mint az újburkolás vagy erősítés szándékával végzett új aszfaltréteg építésének,
- az állapotjavító beavatkozás inkább a könnyű sérüléssel balesetek számát csökkentette (ez a tapasztalat logikusnak tekinthető, mivel a halálos vagy a súlyos sérüléssel járó baleseteknek általában nem a burkolatállapottal kapcsolatos okai vannak, hanem emberi és/vagy járműhibák következményei),

11. táblázat: A feldolgozáshoz alapul vett beavatkozások száma

Év	A vizsgálatban figyelembe vett	
	új aszfaltrétegek	felületi bevonatok
	évenkénti száma	
1990	984	949
1991	547	290
1992	772	761

12. táblázat: Az 1990. évi új aszfaltréteg-építés baleseti következményei

Forgalmi terhelés E/nap	1989-ben			1991-ben			Változás		
	Balesetek kimenetele			Balesetek kimenetele			Balesetek kimenetele		
	halálos	súlyos	könnyű	halálos	súlyos	könnyű	halálos	súlyos	könnyű
	száma			száma			száma		
0–4000	0	4	10	0	8	7	=	+	–
4001–8000	1	8	18	4	10	15	+	+	–
8000 felett	1	8	20	0	11	19	–	+	–
Összesen	2	20	48	4	41	+	+	–	–

13. táblázat: Az 1990. évi felületi bevonás baleseti következményei

	1989-ben			1991-ben			Változás		
	Balesetek kimenetele			Balesetek kimenetele			Balesetek kimenetele		
	halálos	súlyos	könnyű	halálos	súlyos	könnyű	halálos	súlyos	könnyű
	száma			száma			száma		
	0	1	2	0	0	0	=	–	–

– a forgalmi kategóriák szerinti osztályozás eredményei arra utalnak, hogy a forgalom növekedésével kis mértékben nagyobb lesz az állapotjavító beavatkozások kedvező baleseti következménye,
 – a baleseti jellemzők két év utáni változásának nyomán követésekor azt a tényezőt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy időközben az érdekelt – zömmel főút részei alkotó – útszakaszok forgalmi terhelése megnövekedett, ami már önmagában balesetnövelő tényező. Ezt a ténytet is figyelembe véve, tehát – összefoglalóan – a beavatkozások előtti és utáni balesetek paramétereinek vizsgálata azt eredményezte, hogy, „tendenciájában”, inkább kedvező irányú a baleseti jellemzők alakulása az állapotjavítási szándékkal végrehajtott erősítés vagy felületi bevonás után.

3.2. MÁSHAZAI PUBLIKÁCIÓK

A KTI korábbi vizsgálatai ezen a területen a következő eredményekkel jártak: betonburkolat – 1,94, aszfaltbeton burkolat – 1,68, utáótömörödő aszfaltburkolat – 1,39, kőburkolat – 2,38, keramitburkolat – 5,42 baleset/10⁶ járműkilométer [36].

A hazai vizsgálati eredmények közül említésre méltók azok, amelyeket Heves megyében az útjellemzők és a közlekedési balesetek közötti összefüggés kutatása során kaptak [37]. Megállapították, hogy a burkolatfajta csak laza kapcsolatban áll a balesetek típusával, míg a burkolat állapota a bekövetkezett baleset típusában egyáltalán nem játszott szerepet. Ennek valószínű oka a hibás burkolatú szakaszon utazáskényelmi okokból alacsonyabban megválasztott sebesség. Nyugatnémet vizsgálatok – nagy adathalmaz alapján – igazolták a nedves pályán történő megcsúszások fajlagos számában a növekvő érdesség kedvező hatását [38].

Végül említést teszünk még a KTI egyik, az 1990-es években végzett kutatásáról is [39]. A pálya keréknyomosódása és a közúti balesetek közötti összefüggést vizsgálták. A keréknyommélység és a relatív baleseti mutató (baleset/10⁶ járműkilométer) közötti összefüggést kimutatták. Megállapították, hogy az általános baleseti kockázat mintegy 20–25 mm-es vályómélységig másodfokú polinom szerint emelkedik, majd efelett csökkenni kezd. Az ún. nyomvályús balesetek (a nyomvályúképződéssel kapcsolatba hozható balesetek) kockázata 15–20 mm-es vályómélységig másodfokú parabolát követve csökken, ezután gyakorlatilag változatlan marad.

4. ÖSSZEFOGLALÓ MEGJEGYZÉSEK

A közúti forgalombiztonság és az útburkolatok állapotjellemzői közötti kapcsolat kutatásának jelentős hazai és külföldi szakirodalmi van. A cikk egyes publikációk, illetve kutatási jelentések összefoglalásával érzékelteti a problémakör bonyolultságát és az esetenként egymásnak ellentmondó eredményeket. Rámutat ugyanakkor azokra a területekre is, amelyek még további kutatást igényelnek. A tárgykör közelmúltbeli magyar kutatási munkájának eredményeiről külön publikáció készült [40].

IRODALOMJEGYZÉK

[1] Az útállapot hatása a közúti balesetekre. Az adatbanki (OKA) 2002–2007. évi adatok felújítási munkákra vonatkozó adatállományának és a baleseti adatoknak az összevetése. A KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. 245-010-1-8 számú megbízásának zárójelentése, Budapest, 2009. (Témafelelős: Dr. Gáspár László) 109 p.
 [2] A XI. Útügyi Világkongresszus (Rio de Janeiro, 1959). A Német Szövetségi Köztársaság jelentése

[3] Coquand, R.: Infrastructure routière et sécurité. Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, 1963/6.
 [4] Coburn, T.M.: The relation between accidents and layout of rural roads. International Road Safety and Traffic Review, Autumn 1962.
 [5] Hondermarq, H.: Ausstattung der Strassen und Verkehrssicherheit. Die Autostrasse, 1961/3.
 [6] Koller S.: Az útviszonyok hatása a közúti forgalom biztonságára. Közlekedéstudományi Szemle, 1961/1.
 [7] Matson, Smith, Hurd: Traffic Engineering 10. Accident Characteristics. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York – Toronto – London, 1955.
 [8] Prick, W., Coquand, R. – Goldberg, S.: Recherche – dans le domaine des accidents de la circulation routière. Revue Générale des Routes et Aérodrômes, 1962/4.
 [9] Parry, A.R., Viner, H. E.: Accidents and the skidding resistance standard for strategic roads in England. TRL Report TRL 622. 2005. 18 p.
 [10] Highways Agency Design Manual for Roads and Bridges, London, The Stationery Office. Volume 7: Pavement Design and Maintenance. HD29. Skidding resistance. DMRB 7.3.1. 1998.
 [11] Rämä, P., Kulmala, R.: Effects of variable message signs for slippery road conditions on diving speed and headways. Transportation Research, Part F: Traffic Psychology and Behaviour. Vol. 3, Issue 2, June 2000, pp. 85–94.
 [12] Bester, Ch. J.: The effect of road roughness on safety. Transportation Research Board Annual Meeting, CD-ROM Proceedings. Washington, D.C., 2003. 23 p.
 [13] Baker, J.S.: Traffic accident investigator's manual. 4th Edition North Western University, Evanston, 1975.
 [14] Ivey, D.L., Girfflen, L.: Driver/vehicle reaction on road surface discontinuities and failures – The hidden trigger to accidents. 16th International Congress of SAE, Tokyo, 1976.
 [15] Klein, R. H. et al.: Influence of roadway disturbances on vehicle handling. Systems Technology Inc. Hawthorne, California, 1976.
 [16] Zimmer, R.A., D.L. Ivey: The influence of roadway surface hole and the potential for vehicle loss of control. Report 328-2F, TTI, Texas A&M University, College Station, 1983.
 [17] Raff, M.S.: Interstate highway-accident study. In: Highway Research Bulletin 74, Highway Research Board, Washington, D.C., 1953.
 [18] Burns, J.C.: Roughness and road safety. In: Transportation Research Record 836, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1981.
 [19] Wambold, J. C. et al.: Roughness, holes and humps. In: State of the art report 1, TRB, National Research Council, Washington, D.S., 1984.
 [20] Quinn, B.E., Hildebrand, S.E.: Effect of road roughness on vehicle steering. In: Highway Research Record 471, Highway Research Board, Washington, D.C., 1973.
 [21] Blackburn, R.K. et al.: Effectiveness of alternative skid reduction measures. Report FHWA-RD-73-21, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1978.
 [22] Federal Highway Administration. RRR alternative evaluations for Non-Interstate rural arterial and collector highway systems. US Department of Transportation, Washington, D.C., 1980.
 [23] Cleveland, D.E. et al.: Geometric design element groups and high-volume two-lane rural highway safety. In: Transportation Research Record, 960, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1983.
 [24] Hauer, E. et al.: The effect of resurfacing on the safety of two-lane rural roads in New York. Paper 940 541, 73rd Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1994.

- [25] Dale, C. W.: Cost-effectiveness of safety improvement project. FHWA, US Department of Transportation, Washington, D.C., 1973.
- [26] Bester, C.J.: The effect of rural road construction on the accident rate. Project Report 90/021. Department of Transport, Pretoria, 1991.
- [27] Brown, D.B., McCarthy, J.: Estimating the safety benefits for alternative highway geometric and/or operational improvements. Users manual, Report FHWA/RD-81/181, US DOT, Washington, D.C., 1981.
- [28] Craus, J. et. al.: Effect of pavement and shoulder condition on highway accidents. In: Transportation Research Record 1318, TRB, National Research Council, Washington D.C. 1991.
- [29] Schandersson, R.: Road surface and safety. Proceedings of the European workshop on recent developments in road safety research. Linköping, Sweden, April 1990.
- [30] Marmor, M., Marmor, N.E.: Slippery Road Conditions and Fatal Motor Vehicle Crashes in the Northeastern United States, 1998–2002. American Journal of Public Health 96 (5), May 2006, pp. 914–920.
- [31] Wang Wen-bo: Research of Traffic Safety Simulation based on 3DS MAX. International Conference on Computer Modelling and Simulation, 20–22 February 2009. Proceedings, pp. 307–309.
- [32] Tighe, S., Li, N., Falls, L.C., Haas, R.: Incorporating Road Safety into Pavement Management. Transportation Research Record, TRB of the National Academies. Vol. 1699. 2000. pp. 1–10.
- [33] Burkolatállapot-változás forgalombiztonsági hatása (adattár). A Közlekedéstudományi Intézet Rt. 240-086-2-5. számú téma-jelentése, 1995. (Témafelelős: Dr. Gáspár László). 97 p.
- [34] Gaspar, L.: Poor Pavement Condition and Highway Accidents. International Conference on Urban Engineering in Asian Cities in the 21st Century. Proceedings, Vol. II., Bangkok, Thailand, 1996. pp. 96-101.
- [35] Gaspar, L.: Highway Accident Costs Influenced by Pavement Condition. 1st European Pavement Management Systems Conference. Budapest, 24–27 September 2000. CD-ROM Proceedings, 6 p.
- [36] Balogh T.: A közúti forgalom biztonsága és az útjellemzők. Az Útügyi Kutató Intézet 44.sz. kiadványa, 1966.
- [37] Császár F.: Az útjellemzők és a közlekedési balesetek összefüggése Heves megyében. Mélyépítéstudományi Szemle, 1985/11.
- [38] Potchka, V.: Die Bedeutung der Straßenoberflächeneigenschaften für die Verkehrssicherheit. Straßen und Tiefbau, 1988/10.
- [39] Keréknyomvályú valorizációja. A Közlekedéstudományi Intézet Rt. 243-052-1-2. számú témájának zárójelentése, 1992. (Témafelelős: Kuna Leventéné és dr. Holló Péter)
- [40] Gáspár L., Koczka Zs., Nagy Z.: Burkolatfelújítások forgalombiztonsági hatása. Közlekedéstudományi Szemle 2010/2.
- [41] Holló P.: A közúti forgalombiztonság alakulása a forgalomnagyság függvényében országos úttípus-csoportonként. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1987.

SUMMARY

HIGHWAY ACCIDENTS AND ROAD PAVEMENT CONDITION (LITERATURE REVIEW)

The research on the relationship between the highway safety and the condition characteristics of road pavements has a considerable Hungarian and international literature. The article discusses the complexity of the theme and the eventually controversial results obtained by summarising some publications and research reports in the field. It also identifies the areas needed further research. The results of a recent domestic research work in the topic is presented in another publication.

A KÖZLEKEDÉSÉPÍTÉSI SZEMLE LEKTORÁLÁSI RENDJE

A megjelentetésre leadott kéziratokat – ha azok témája illeszkedik a szakfolyóirat profiljához – a szerkesztőség lektoráltatja, ill. bíraltatja. A bírálatot az erre kijelölt szerkesztőbizottsági tag vagy a felelős szerkesztő által felkért külső szakértő végzi.

Az értékelés szempontjai:

- az eredmények újdonságértéke tudományos és/vagy gyakorlati szempontból;
- a kidolgozás színvonala;
- formai elemek (stílus, nyelvezet, szerkezet, felépítés, illusztráltság).

A bíráló szükség szerint javaslatokat ad a cikk kiegészítésére, ill. átdolgozására. Ezeket a szerkesztőség juttatja el a cikk szerzőjéhez. A szerző ez alapján korigálja a kéziratot, majd visszajuttatja azt a szerkesztőségnek.

(szerk.)

AZ ÉPÍTETT ÉS TERMÉSZETI KÖRNYEZET VÉDELME A 4-ES METRÓ BERUHÁZÁSA SORÁN

BALOGH TIBOR¹

A 4-es metróvonal koncepciójának meghatározó célja, hogy a tervezett vonalon a felszíni forgalom jelentősen csökkenjen, a környezeti terhelésben meghatározó gépjármű- és buszforgalom helyett a tömegközlekedés felszín alatti megoldására, a forgalom jelentős részének átterelésére törekvés egyben a többi tömegközlekedési eszköz fokozottabb mértékű kihasználását indukálja. A beruházás előkészítése során értékelték a lehetséges nyomvonalak hatásait, beleértve az egyes változatok környezeti kockázatait is (pl. Duna alatti átvezetés). A megvalósuló változat kiválasztását jelentős súllyal befolyásolták a környezetvédelmi megfelelőség szempontjai. A projekt kezdettől a környezetvédelmi hatóság, az érintett önkormányzatok és a civil fórumok szigorú kontrollja alatt áll².

KÖRNYEZETVÉDELEM A KIVITELEZÉS ALATT

A kivitelezés során olyan organizációt kellett kidolgozni, hogy az építési terület a lehető legkisebb, az építési idő pedig a lehető legrövidebb legyen. A milánói módszerrel épített állomások a felszín minimális zavarása mellett készülnek, a módszer hátránya azonban, hogy a földkiemelés fajlagosan lassabban végezhető, a földalatti munkaterületen pedig világítást és szellőzést is ki kell építeni. Számolni kell a nagy mélységű résfalak és cölöpfalak talajvíz-visszaduzzasztó hatásával, amely a munkagödör körülzárása által a külső, természetes talajvízáramlás akadályoztatása miatt jöhet létre. A probléma a talajvízáramlás ellenőrzésére kiépített monitoring rendszerrel, valamint speciális építéstechnológiai megoldásokkal megfelelően kezelhető.

Tény, hogy az építés a lakosság számára kellemetlenségekkel, átmenetileg fokozott forgalmi és környezeti terhelésekkel jár. Ezek hozzáadódva a már meglévő környezeti terhekhez – főleg az építési helyszínek hatásterületein –, kellő odafigyelés hiányában elérhetik a kritikus mértéket, lakossági ellenállást generálva a mégoly vonzó célok ellenére is. Ezért a városvezetés részéről felmerült az igény a metrómegvalósítás környezetvédelmi vonatkozásainak felmérésére, a tapasztalatok folyamatos kiértékelésére, valamint a kivitelezők környezetvédelmi tevékenységének folyamatos nyomon követésére.

Környezetvédelmi szempontból további nehézséget jelent, hogy a metróépítés nem szokványos tevékenység Magyarországon, ezért sok rendelet, hatósági vagy önkormányzati előírás nem vonatkoztatható egyértelműen az itt felmerülő környezetvédelmi problémákra, így nem ad kellő útmutatást azok megoldására, illetve az előírások teljesítésére sem. A kivitelezés megkezdése előtt számos intézkedés történt, amelyek közül legfontosabb a DBR Metró Projekt Igazgatóság szerződése a monitoring hálózatok kiépítésére.³ A felelősséget ugyanakkor nem vették le a vállalkozók válláról, hiszen az építési helyszíneken előírt méréseket továbbra is nekik kell elvégezniük, eredményeiről pedig a

havi előrehaladási jelentéseikben beszámolniuk. A vállalkozókkal megkötött szerződések tartalmazzák a környezetvédelmi előírások betartásának kötelezettségét, illetve a környezetvédelmi engedély szerinti tevékenység igényét. Ennek ellenére több bejelentés érkezett (pl. tiltott földlerakással, túlzott zaj- és rezgésterheléssel kapcsolatban, szerencsére zömében megalapozatlanul), amelyekre a kivitelezői rendszer bonyolult hierarchiája miatt nem sikerült minden esetben kellően gyors választ adni és a vitás kérdéseket rövid úton rendezni. Az építés előrehaladtával érzékelhetővé vált, hogy a környezettel kapcsolatos adatok és problémák egyre nehezebben követhetők nyomon, ezért a projektvezetés elhatározta, hogy az építési helyszíneken környezetvédelmi átvilágítást tart a mérnök és külső szakértő bevonásával. Ennek során több környezetvédelmi hiányosság került napvilágra: a környezettel kapcsolatos információk (pl. földszállítások mennyisége és lerakásának helyei) igen lassan, vagy egyáltalán nem jutottak el a hierarchia azon szintjére, ahol lehetőség van az adatok összesítésére, kiértékelésre, a nyilvánosság tájékoztatására vagy a problémák kapcsán gyors válaszadásra.

2007-ben intézkedési terv készült fentiek megoldására, melyben többek között az egész kivitelezésre vonatkozóan egységes környezetvédelmi szervezet felállítását tűzték ki feladatul. Ebben a környezetvédelmi felelősök minden szinten szerepet kaptak, így közvetlenül képesek kapcsolódni a hierarchia felsőbb szintjén levő környezetvédelmi felelősökhöz (a vállalkozó, a mérnök, illetve a DBR Metró Projekt Igazgatóság környezetvédelmi felelősén keresztül). Kidolgozták a környezetvédelemmel kapcsolatos adatok egységes nyilvántartási és adatszolgáltatási rendszerét, a környezetvédelmi tevékenységek építési helyszíneken történő rendszeres ellenőrzésének és nyomon követésének módszereit. A projektvezetés közös elhatározással vállalta a rendszeres (évenként 1-2 alkalommal történő) átfogó környezetvédelmi teljesítményértékelést, ezzel lehetőség nyílt a szükséges adatoknak az egész projektre vonatkozó összesítésére (pl. anyagmérleg készítése). A folytatásban a metróépítés környezetvédelmi tevékenységei és azok ellenőrzése az intézkedési tervben foglaltak alapján történt.

A VÁLLALKOZÓKRA VONATKOZÓ, JOGSZABÁLYBAN MEGHATÁROZOTT ÉS SZERZŐDÉSBEN RÖGZÍTETT KÖRNYEZETVÉDELMI ELŐÍRÁSOK

LEVEGŐTISZTASÁG-VÉDELEM

A levegő minőségének védelmével kapcsolatos egyes szabályokról szóló 21/2001. (II. 14.) kormányrendelet (továbbiakban levegőrendelet) szerint tilos a környezeti levegő olyan mértékű terhelése, amely légszennyezést vagy határértéken felüli légszennyezettséget okoz. Azon tevékenységek esetében, ahol kibocsátási határértéket a légszennyező forrás sajátosságai miatt

¹ Környezetvédelmi szakértő, Eurometro Kft.

² Részletesen lásd a 2010. januári szám 16–18. oldalain

³ Részletesen lásd a 2010. januári szám 18–23. oldalain

megállapítani nem lehet, levegővédelmi követelmények, műszaki intézkedések előírásával, az elérhető legjobb technika alkalmazásával kell a levegőterhelést megelőzni, vagy a legkisebb mértékűre csökkenteni.

A megnövekedett porkoncentráció miatt a legtöbb lakossági panasz az Etele tér környékéről érkezett. Ennek oka, hogy a tér mellett felállított pajzsindító és -kiszolgáló műtárgynál történt a kitermelt talaj tehergépkocsikra rakodása, és elszállítása. A kiporzás nem a szállított talajtól származott, hanem a teherautók abroncsára tapadt talajtól. A szállítás során az abroncsról lehullott talaj megszáradt, és azt a következő gépjármű által okozott légáramlás felkeverte. Ezért a mérnök előírta a szállító járművek kerékmosását, valamint sárrázató közbeiktatását (1. ábra).



1. ábra: Szállítójárművek kerékmosója

ZAJ- ÉS REZGÉSVÉDELEM

A környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályairól szóló 284/2007. (X. 29.) kormányrendelet (továbbiakban: zajrendelet) előírja, hogy ha a létesítmény hatásterületét e rendelet vagy hatósági határozat szerint méréssel vagy számítással kell meghatározni, akkor – a tervezés során – meg kell állapítani a megelőző háttérterhelés mértékét, és e vizsgálat eredményét csatolni kell a létesítés iránti kérelemhez. A környezeti zajt előidéző zajforrásra vonatkozóan a tevékenység megkezdése előtt a környezeti zaj- és rezgésforrás üzemeltetője köteles a környezetvédelmi hatóságtól környezeti zajkibocsátási határérték megállapítását kérni, és a határérték betartásának feltételeit megteremteni. Ez a kivitelezők részéről folyamatos intézkedést igényelt, mivel a kivitelezés különböző fázisaiban különböző új zajforrások lépnek be (pl. résfal készítése, szelőlőberendezés beindítása stb.). A zajrendelet alapján a vállalkozó felmentést kérhet a külön jogszabály szerinti zajterhelési határértékek betartása alól, vagy engedélyt kérhet a határérték túllépésére a környezetvédelmi hatóságtól:

- egyes építési időszakokra, ha a kibocsátási határérték-kérelem szerint a zajkibocsátás műszaki vagy munkaszervezési megoldással határértékre nem csökkenthető,
- építkezés közben előforduló, előre nem tervezhető, határérték feletti zajterhelést okozó építőipari tevékenységre.

A zajterhelés időkorlátjának túllépése előállt pl. a résfal építésénél (egy panel építését nem lehet leállítani a rés megnyitásától a panel befejezéséig).

A szerződés zajvédelemre vonatkozó fejezete szerint a vállalkozónak:

- Az alapállapotra vonatkozóan zajmérési dokumentációt kell készíteni.
- A várható zaj- és rezgés kibocsátást előzetesen meg kell tervezni.
- A szállítás okozta zajterhelési adatokat, valamint a szükséges zajvédelmi intézkedéseket a környezetvédelmi hatósághoz be kell jelenteni.
- Az építési területre vonatkozóan mérési tervet kell kidolgozni. Az építési munkahelyek hatásterületén található, védendő épületek zaj- és rezgésterhelését helyszíni mérésekkel folyamatosan ellenőrizni kell.
- A mérési eredményekről a lakosságot tájékoztatni kell.

A vállalkozók zajvédelemre vonatkozó szerződéses kötelezettségének betartását a mérnök és a megbízó rendszeresen ellenőrzi, és a továbbiakban is ellenőrzi. Hangtompítóval ellátott szellőztetőket mutat a 2. és a 3. ábra.

A zaj- és rezgésemisszió gyorsan és közvetlenül befolyásolja az építés környékén élők életminőségét. A lakosság igen érzékenyen reagál erre a hatásra, ezért a környezetvédelmi engedélyben



2. ábra: Hangtompítóval ellátott szellőztető



3. ábra: Hangtompítóval ellátott szellőztető

a hatóság előírta, hogy éjszaka a felszínen építéssel kapcsolatos munkavégzés csak rendkívüli esetben, és előzetes engedéllyel lehetséges. Egyéb munkavégzés – például a fűrópajzs karbantartása – éjszaka is folytatható. A metróépítés jórészt a föld alatt történik, ezért közvetlen zajhatása nem jelentős, a zaj meghatározó részét a munkafolyamatok felszíni kiszolgálása okozza.

A vonalalagutakban folyó szállítási, építési tevékenység zaja is feljuthat a felszínen lévő lakóépületekbe. Eddig egy esetben fordult elő, hogy a környéken lakók panaszt tettek a rezgésszint megemelkedése miatt, melynek kivizsgálása során az érintett ingatlanokban az alagútban elhaladó kiszolgáló szerelvény zaja mérhető volt, de a zajszint határérték alatt maradt. A zajpanaszok tehát abból adódtak, hogy a lakók által eddig megszokott zajszint megnőtt, a határértéket ugyan nem haladta meg, de a lakókat nagymértékben zavarta. A vizsgálatok során kiderült, hogy a ház alapja beleér az alagútfúrással érintett kiscelli agyagrétegbe, ezért a kiszolgáló vasúti szerelvény által keltett zaj egy ún. merev csatoláson keresztül közvetlenül továbbjutott a lakóházba. A probléma megoldására „elcsatolást” alkalmaztak, mely során a vágánykeresztaljakat alátámasztó keményfa ékek és az alagútfal közé zaj- és rezgéscsillapításként gumialátéteket helyeztek el. A gumialátétet ragasztással rögzítették a fához, így a keresztaljak és az alagút fala közötti csavarrögzítés elhagyhatóvá vált. A tényleges rezgésátvitel rendkívül bizonytalan, a terheléstől, a szerelvény és a vágány közötti kontaktus minőségétől, valamint a haladási sebességtől is függ. Utóbbi miatt a pajzskiszolgáló vonatok sebességét is korlátozták a problémás alagútszakaszon.

HULLADÉKGAZDÁLKODÁS

A hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény (továbbiakban: Hgtv.) alapján hulladék bármely, az 1. számú melléklet szerinti kategóriák valamelyikébe tartozó tárgy vagy anyag, amelytől birtokosa megválnak, megválni szándékozik vagy megválni köteles. A metróépítés során kitermelt nagy mennyiségű talaj besorolásában problémát jelentett a hulladékkategória szerinti minősítés. A metró környezetvédelmi adat-nyilvántartási rendszerében az elszállított földet – annak kiemelkedően nagy mennyisége és specifikus keletkezési módja miatt – külön kategóriaként, az egyéb nem veszélyes és veszélyes hulladékoktól elkülönítetten tartják nyilván.

A metróépítésre hangsúlyosan vonatkoznak a Hgtv. következő előírásai:

- Tilos a hulladékot elhagyni, a gyűjtés, begyűjtés, tárolás, lerakás szabályaitól eltérő módon felhalmozni, ellenőrizetlen körülmények között elhelyezni, kezelni.
- A hulladék termelője, birtokosa a tevékenysége gyakorlása során keletkező, illetőleg más módon a birtokába kerülő hulladékot köteles gyűjteni, továbbá hasznosításáról vagy ártalmatlanságáról gondoskodni.
- Hulladékkezelési tevékenységnek minősül a hulladék gyűjtése, begyűjtése, szállítása, előkezelése, tárolása, hasznosítása, ártalmatlanítása.

A vállalkozók a hulladék-nyilvántartást egységes rendszerben végzik, így az a beruházás felsőbb szintjein összesíthető és ellenőrizhető. Emellett – ezen nyilvántartás alapján – a vállalkozók eleget tesznek a hatóság felé a hulladékokra vonatkozó adat-szolgáltatási kötelezettségüknek is.

VÍZMINŐSÉG-VÉDELLEM

A felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII. 21.) kor-

mányrendelet (továbbiakban FAVIR) szerint a felszín alatti vizek jó állapotának biztosítása érdekében tevékenység csak:

- környezetvédelmi megelőző intézkedésekkel végezhető, a külön jogszabály szerinti legjobb elérhető technika, illetve a leghatékonyabb megoldás alkalmazásával;
- ellenőrzött körülmények között történhet, beleértve monitoring kialakítását, működtetését és az adatszolgáltatást;
- úgy végezhető, hogy hosszú távon se veszélyeztesse a felszín alatti vizek jó állapotát, a környezeti célkitűzések teljesülését.

A felszíni vizek minősége védelmének szabályairól szóló 220/2004. (VII. 21.) kormányrendelet (továbbiakban FEVIR) előírásai alapján a kibocsátó köteles a keletkezett szenny- vagy használt vizet az engedélyben előírt kibocsátási határértékre megtisztítani vagy megtisztíttatni. A metróépítés szennyvízei a közcsatornába kerülnek. Ezért az építés során kibocsátott szennyvízre vonatkozóan az FCSM Zrt.-től mint a közcsatorna üzemeltetőjétől minden esetben befogadó nyilatkozatot kellett kérni, és a kibocsátásra vonatkozó 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendeletben foglalt vízminőségi határértékek betartása mellett lehet a szennyvizet a közcsatornába vezetni. A rendelet teljesítése érdekében az építés során kibocsátott vizek mennyiségét és minőségét ellenőrizni kell. Azokban az esetekben, amikor az építési technológiából szennyezett víz kerül kibocsátásra, szennyvíztisztító berendezést kellett a vállalkozóknak telepíteni. Az építés során keletkező szennyvíz nem érinti közvetlenül a lakosságot, azonban a közcsatornára, és közvetve a felszíni vizekre is káros hatással lehet. Megemlítendő, hogy 2008-ban az évi teljes szennyvízkibocsátás kb. 40 ezer m³ volt.

A metróépítés során az alábbi forrásokból keletkezik jelentős mennyiségű szennyezett víz:

- Alagútból származó csurgalékvizek:
A fűrópajzs vágófejeinek és az injektáló berendezés fúvókáinak tisztítását meghatározott időközönként el kell végezni. A feladathoz használt vizet a tisztítási művelet befejezése után 5-10 m³-es adagokban a gyűjtőtartályba szivattyúzzák. Ezen kívül a bányászati technológiával zajló munkálatok során jelentős mennyiségű magas pH-jú víz keletkezik, a löttbetonos megtámasztáshoz használt lúgos kémhatású cement miatt.
- Hátúrköltő habarcs szállítási rendszerének mosóvize:
A vonalalagutak falazatát alkotó tübbingek külső kontúrja és a talaj közti üreget habarccsal töltik ki, melyet a habarcsüzemből speciális tartályokkal szállítanak a fűróberendezéshez. A szállítóeszközök és a hozzájuk kapcsolódó csőrendszerek tisztítása során jelentős mennyiségű mosó- és csurgalékvíz keletkezik, melyek tisztításáról gondoskodni kell. A kezelendő víz ugyan csak a gyűjtőtartályba kerül.
- Az állomás területéről összegyűjtött csapadékvíz:
Szénhidrogénnel és/vagy szilárd anyaggal szennyeződhet. A területen folyó szállítási és karbantartási tevékenység során előfordulhat kenőanyag-szennyezés, valamint a kitermelt talajból törmelék bekeverülése a csapadékvízgyűjtő aknába. Előfordul, hogy a bélésfal mögül szivárgó csurgalékvíz szulfáttartalma igen jelentős (>5000 mg/l), megnövelve a szennyvízkezelőbe befolyó víz szulfáttartalmát. Az összegyűjtött csapadékvizet kezelni kell, ezért az szintén a gyűjtőtartályba kerül.

A 4-es metró építése során a legfontosabb környezetvédelmi technológia és berendezés az *MS vízkezelő*, amit kezdetben az Etele téri pajzskiszolgáló állomáson, jelenleg pedig a Szent Gellért tér állomáson helyeztek el. A csurgalék-, mosó- és szennyezett csapadékvizet a befogadóra előírt mértékig semlegesítő, illetve tisztító egység másik feladata a keletkező szennyvíziszap víztelepítése. A műtárgyak aljzatbetonjába elhelyezett zompokból az összegyűjtött vizet egy 15 m³ nagyságú fém gyűjtő-ülepítő tartály-

ba szivattyúzzák át, mely a műtárgy alaplemezen van elhelyezve. A tartály egy bukóéllal van ellátva, hogy a leülepedett iszap ne távozzon el az elfolyó vízzel. A szennyvizet ezután egy nagyteljesítményű szivattyú segítségével a felszínre nyomják, ahol egy – a lenti tartály paramétereivel teljesen megegyező – másik gyűjtőtartályba vezetik, melyben egy merülőfal és egy bukóél található. A tartályból a bukóélen keresztül távozó, előkezelte szennyvíz a közcatornába kerül. A lenti tartályban felgyülemlött iszapot kanalas markolóval, a fenti tartályban lévő iszapot pedig szipantással távolítják el. A magas pH-értékű szennyvizek semlegesítésére egy konténerben elhelyezett pH-szabályozó egységet is telepítettek. A kezelés nagy gondosságot igényel, mert a keletkezett szennyvíz kibocsátása gyakorlatilag élővízbe történik (a csatornahálózat a budai oldalon még ma is közvetlenül a Dunába torkollik). A szennyvíz – az alkalmazott technológia következtében – elsősorban lebegőanyagot (homok, mészkőpor, cementpor, agyag), szennyezőanyagként olajat (meghibásodás esetén), és kis mennyiségben habosító anyagokat (ANA dertergens) tartalmaz. A szennyvíz pH-ja 9–12 között ingadozhat, jellemzően pH=11,5.

A szennyvízkezelő berendezés két fő szakaszból áll:

- hidrociklonos leválasztás (homokeltávolítás): A szakasz vízgyűjtő aknából és a hozzá tartozó búvárszivattyúból, valamint egy hidrociklonból áll. A vízgyűjtő akna a három különböző helyről beérkező víz összegyűjtését végzi. A rendszer alján helyezkedik el a szivattyú, melynek feladata a hidrociklon 180 m³/h mértékű, egyenletes ütemben történő táplálása. Az akna túlfolyó segítségével kapcsolódik a szennyvíztisztító rendszerhez, arra az esetre, ha a beérkező vízmennyiség meghaladja a hidrociklon kapacitását. A hidrociklon végzi a homok elválasztását a víztől. Az így kinyert homokot vibrációs eszközzel víztelenítik, majd deponálják. A homoktól megtisztított vizet közbenső puffer tartályba vezetik, és a zagy szuszpenzióban tartását folyamatos keveréssel segítik elő, majd egyenletes 40–60 m³/h ütemben vezetik az ülepítő szakaszhoz.
- víztisztítás: A homokmentes vizet az ülepítőbe vezetik, ahol polielektrolit segítségével a finom diszperz alkotókat leválasztják a szennyvízből, ezáltal a szilárd részecskék kiülepednek és az ülepítő iszapterébe süllyednek. A sűrített, de még folyékony iszapot szűrőprésben víztelenítik. Az iszap szárazanyag-tartalma kb. 20–40%, mennyisége pedig megközelíti a 1–3 t/napot. A szűrletet recirkuláltatják az ülepítőbe. Az ülepítő túlfolyóján távozó előkezelte víz először egy szifonlemez olajleválasztóba jut, az olaj és a finomabb lebegő anyagrészek eltávolítása

érdekében. Az olajleválasztóból a tisztított víz a végső pH-ellenőrző és -beállító berendezésbe jut, ahol a kimenő víz szükség szerinti hígított kénsavas pH-állítás is történik. Innen a befogadóba, azaz a közcatornába vezetik a vizet. A tisztítandó vízbe – üzemzavar esetén – habosító anyag is kerülhet, ennek a kezelésére azonban nincs technológia telepítve, mivel emiatt a kibocsátott szennyvíz szennyezettsége nem lépi túl a közcatornára előírt határértéket.

A 4. ábra szennyvízkezelő, míg az 5. ábra az alaplemezen lévő ülepítőtartályt mutatja.

AZ ÉPÍTÉSI TECHNOLÓGIÁK SPECIFIKUS KÖRNYEZETI HATÁSAI

A metróépítés során létrejövő környezeti hatások jórészt a bányászati technológiákból és azok kiszolgálásából adódnak. A metró bányászati módszerrel kialakított részeinek munkaterét két kategóriára lehet osztani: kültéri ill. felszín alatti munkatér.

- Kültéri munkák: a vonali műtárgyak (pl. állomások) építése során alkalmazott építési technológiák.
- Felszín alatti munkák:
 - bányászati módszer: A vonali összekötő alagutakat és a speciális vonali műtárgyakat építik ezzel a módszerrel.
 - alagút fúrása: A vonalalagút-szelvény fejtéséhez és építéséhez alkalmazott technológiák.

A talajra és talajvízre vonatkozóan a talajban véglegesen bent maradó anyagok hatását kell vizsgálni.

- Vasbeton alagút-falazati elemek:

Az alagútépítés során az alagút falazatát alkotó vasbeton szegmens képviseli a legnagyobb mennyiséget, melyek speciális – szulfátálló cement felhasználásával – betonkeverékből készülnek. A falazati elemeket nagyszilárdságú vasbetonból készítik, nagy pontosságú acélsablonokban előregyártva, a betonhoz polipropilén szálakat kevernek, hogy a vasbeton tűzállósági tulajdonságát javítsák. A műanyag szálak tűz esetén megakadályozzák a beton kipattogzását, így biztosítják, hogy a vasalás betonfedése a lehető legtovább sértetlen maradjon. A szilárdságából adódóan nem mobilizálhatóak az alkotói, ezért nem jelent kockázatot a környezetére és a felszín alatti vízbázisokra sem.

- Hátúr-kitöltő habarcs:

A pajzsos alagútfúrési technológia alkalmazása során a maró-



4. ábra: MS szennyvízkezelő



5. ábra: Ülepítőtartály az alaplemezen

tárcsa által fejtett átmérő 15 cm-rel nagyobb, mint a túbbingek külső átmérője. Ezt az űrt – a fúrópajzs faroklemezeének élén kialakított adagolókon keresztül – habarccsal töltik ki. A habarcs számos műszaki követelménynek kell megfeleljen, ezért gyártása során figyelembe kell venni a talaj mechanikai és kémiai jellemzőit, a fúrópajzs habarcsadagoló rendszerének kialakítását, a habarcs szállítási idejét, tixotróp és kötési tulajdonságait. Ebből is nyilvánvaló, hogy a habarcs összetétele szakaszonként változhat. Az alkalmazott összetevők nem jelentenek kockázatot a felszín alatti közegekre, mert alkotóelemei egyenként sem kockázatosak, a keverék teljesen stabil összetételű, vegyületei immobilisak, vízzel nem kioldhatóak.

– Pajzsfaroklemez-tömítő zsírok:

A fúrópajzs talajvíz elleni tömítése egymás mögött elhelyezkedő, zsírral telített fémkéfékkel történik. A zsír adagolása a fúrópajzs előrehaladtával folyamatos, a kéfék közötti veszteség pedig függ az alagút külső falának minőségétől, a szegmensek illesztésétől, valamint a TBM irányválogatásától. Ezt a veszteséget az elemek lézeres bélyegek alapján történő behelyezésével, a tömítési hézagok minimizálásával és a pajzs lézervezérelt irányításával nagymértékben lehet csökkenteni.

– Gépészeti kenőanyagok:

A talajnyomás-kiegyenlített fúrópajzsok gépészeti kialakítása során a pajzs tengelyét különös gonddal kell megtervezni. Tengelycsapágyazásának nagy nyomást, nagy mechanikai terhelést, változó hőmérsékletet és a pajzs 55 tonnás tömegét kell elviselnie; ezért csúszócspágyas kialakítás mellett döntöttek a pajzs tervezői. A csapágy folyamatos kenéséről zsíradagoló szivattyúk gondoskodnak, és az előbb leírt követelmények speciális kenőanyagok alkalmazását teszik kötelezővé. A gépészeti kialakítás, a csapágy típusa és a javítási lehetőségek korlátozottsága miatt a kenőanyag folyamatos utánpótlásáról gondoskodni kell. Ez úgy valósítható meg, ha a kenőanyagot folyamatosan, nagy nyomással préselik a csapágyba, és az elhasználódott zsírt ugyanolyan ütemben távolítják el. A kimerült kenőanyag a kitermelő térbe jut és onnan a kitermelt talajba kerül. A kenőanyag nem kerül érintkezésbe az alapközettel, csak a kitermelt talajjal. Mivel a kenőanyag ezzel együtt kikerül a környezetbe, ezért a fúrás során a Shell által kifejlesztett és környezetvédelmi szempontból kedvező Alvania típuscsaládba tartozó kenőanyagait alkalmazzák. A kenőanyag kiválasztásánál a környezetvédelmi szempontok kiemelt jelentőséggel bírnak.

– Fúrési segédanyagok:

Az aktív földmegtámasztású fúrópajzsok alkalmazása során a tervezett leállások idejére (pl. hétfévi munkaszünet, ünnepek, ütemezési egyeztetésből vagy műszaki szükségességből adódó leállások stb.) a fúrópajzs kitermelő tér felőli oldalát bentonit zaggal töltik fel, hogy a nyomásegyensúly a leállás idejére is biztosított legyen. Ha ezt a geológiai viszonyok is indokolták teszik, akkor egy ilyen leállás során a fúrópajzs kitermelő teréből a kihordócsiga segítségével eltávolítják a talajt és az előkészített bentonit zagyt betöltik a kiürített munkatérbe. Amennyiben a nyomásviszonyok indokolják, a zagyba stabilizáló polimer adagolnak, hogy javítsák annak tixotróp tulajdonságait. A fúrás újraindításakor a bentonitot a talaj kitermeléséhez hasonló módon távolítják el, azonban a bentonit is érintkezik az alapközettel, mivel a marótárcsa nyílásain keresztül ki tud jutni, beszivároghat a kőzet repedéseibe, illetve rátapad a kihajtott alagúti felületen. A talajban maradó zagy mennyisége jelentős mértékben függ a geológiai viszonyoktól. A bentonit azonban környezetvédelmi szempontból inert anyag, így környezeti ártalmat nem okoz.

– A talaj konzisztenciáját és sűrűlódását módosító habanyag:

Az aktív földmegtámasztású pajzsok alkalmazása során a vágóélek és tárcsák valamint a talaj közötti sűrűlódás, és a kitermelt talaj belső sűrűlódásának csökkentésére a marótárcsa elé

habanyagot injektálnak, melynek mennyiségét és összetételét az adott geológiai körülmények szabják meg. A beinjektált hab a kitermelt talajjal együtt kerül elszállításra, ezért annak környezetbarát, könnyen lebomló terméknek kell lennie.

A KÖRNYEZETVÉDELMI TEVÉKENYSÉGEK TELJESÍTMÉNYÉRTÉKELÉSE

A 2007. évben kiadott intézkedési tervnek megfelelően elkészült a 2008. évre vonatkozó környezetvédelmi teljesítményértékelés (a 2009. évi értékelés még folyamatban van. – a szerk.). Ennek alapján rövid tájékoztatást adunk a vállalkozók éves környezetvédelmi tevékenységéről, illetve annak jellemző adatairól.

LEVEGŐMINŐSÉG ÉS ANNAK VÉDELME

A környezetvédelmi auditok során a gépjárművek műszaki állapotának és környezetvédelmi megfelelőségének ellenőrzése megtörtént (zöldkártya, olajcsepegés stb), melyek alapján elmondhatjuk, hogy a kivitelezők által rendszeresen üzemeltetett gépjárművek és munkagépek a környezetvédelmi előírásoknak megfelelnek.

A vállalkozók tevékenységük során nyomon követték a KvVM által az építési helyszíntől 1000 m-en belül telepített RIV (légszennyezettség-mérő) állomások adatait, melyek regisztrálásával kimutatható volt a határérték feletti (50 µg/m³) PM10 koncentráció jelentős csökkenése 2008. I. félévétől 2008. végéig. A műszertől mért távolság miatt a mérési eredmények csak közvetve mutatják a metrókivitelezés porszennyező hatását, illetve annak változásait. A határérték feletti értékek alapján azonban a kritikus helyeken továbbra is maximális odafigyelés szükséges a porzással járó technológiák esetében.

VÍZSZENNYEZÉS

A metróépítés során az összes kibocsátott szennyvíz a Fővárosi Csatornázási Művek által üzemeltetett közcsatorna-befogadóba került. A legfontosabb eredmény, hogy a BAMCO Kkt. 2008-ban korszerűsítette a vonalagutak építése során keletkező szennyvizek előkezelését végző szennyvíztisztító berendezését. Az Etele téri pajzskiszolgáló állomásra épített – majd 2009 nyarán a Szent Gellért tér munkaterületére áthelyezett – berendezés messzemenően teljesíti a közcsatorna-befogadóra vonatkozó rendelet vízminőségi kritériumait.

Az intézkedési terv szerint – a mérnök utasítására – megvalósított fázissztérválasztók az Etele téri szennyvíztisztító berendezésen kívül a Mórícz Zsigmond körtéren, a Szent Gellért téren és a Rákóczi téren kerültek beépítésre. A Rákóczi tér állomás építése közben történt rendkívüli vízfakadás során jelentős mennyiségű iszapos víz került a munkagödörbe. A fázissztérválasztó közbeiktatásával a hordalék közcsatornába bocsátása a kellő mértékű előkezeléssel elkerülhetővé vált.

TALAJ, TALAJVÍZ

A talajvíz és a karsztvíz védelmére a kivitelezés megkezdésekor széleskörű monitoring hálózat létesült. A monitoring szoftver (Geoscope) riasztási rendszere, a szintadatok észlelése, távjelzése jól működik. Az adatok értékeléséhez azonban szükséges az egyes területekre jellemző természetes vízjárás figyelemmel kísérése is. A talajvíz szintjére vonatkozó monitoring vizsgálatok folyamatosak. A kezdeti (nulla) állapot méréshez képest az építés hatására tartós változás nem következett be, többször tapasztalt átmeneti csökkenés után a vízszint visszaállt az eredeti szintre, illetve annak természetes vízmozgás által meghatározott szintjére.

FÖLDKITERMELÉS

Az intézkedési terv alapján megvalósított adatgyűjtési és adat-szolgáltatási rendszer lehetőséget nyújtott a földszállítással kapcsolatos összes lényeges adat gyűjtésére és feldolgozására, segítségével megtörtént a szállítók és átvevők engedélyének, az eltávolított föld hasznosításának ellenőrzése is.

AZ INTÉZKEDÉSEK EREDMÉNYE

A vállalkozók környezetvédelmi kötelezettségei közé tartozott a földkitermelés során az antropogén réteg vizsgálata. A vizsgált kémiai komponenseknek a 10/2000. (VI. 2.) KöM–EüM–FVM–KHVM rendelet szerint meghatározott „B” határértékeknek kellett megfelelniük. Az akkreditált laboratórium által végzett vizsgálatok több esetben mutattak ki szennyezettséget (a Szent Gellért téren olajszennyezettség, a Rákóczi tér állomás esetében Hg-szennyezettség, a Népszínház utca állomáson szintén olajszennyezettség volt kimutatható). A szennyezett talajokat befogadási engedéllyel rendelkező átvevőkhöz szállították ártalmatlanításra.

Az egységes adatnyilvántartás, és adatszolgáltatási rendszernek köszönhetően ismertté vált az építési helyszínekről elszállított föld mennyisége (m³), valamint az, hogy a szállítók és átvevők rendelkeztek-e a szükséges engedéllyel, valamint hogy az elszállított föld milyen arányban került hasznosításra.

Az egységes adatnyilvántartási és adatszolgáltatási rendszer 2008. I. negyedévében került bevezetésre. 2009. I. negyedévig bezárólag az összes építési helyszínről beérkezett a környezetvédelmi adatszolgáltatás, ez alapján a 2008-ban összesen elszállított föld mennyisége 460 ezer m³ volt, amely adat jól jellemzi a beruházás dimenzióit.

AZ ELSZÁLLÍTOTT FÖLD HASZNOSÍTÁSA

Az európai normatívának megfelelő hulladékgazdálkodási törvény előírja a hulladékok hasznosítását. A metróépítés során kitermelt föld tiszta, szennyeződéstől mentes, ezért széleskörű hasznosításának nincs környezetvédelmi akadálya. A hasznosítás elmaradása esetén engedélyezett módon történő lerakásról van szó, amely tájsebeket okozhat. Az elszállított földanyag kezelés nélkül (általában D1 kóddal jellemezhetően) került elhelyezésre, azaz nagy hányadban, mintegy 73% arányban hasznosításra (pl. bányagödör feltöltésére, rekultivációhoz, lakópark építéséhez terkepkiengyelítés, hulladéklerakók esetében takaróréteg vagy közbelső takaróréteg kialakításához).

HULLADÉK

A metróépítés során – építési, bontási hulladékok mellett – kis mennyiségben veszélyes hulladékok is keletkeznek. A hulladékokkal kapcsolatban hozott intézkedések:

- Egyéb nem veszélyes hulladékok (építési, bontási, kommunális hulladékok) szállítási, és elhelyezési adatainak nyomon követése egységes adatnyilvántartó és adatszolgáltatási rendszer segítségével.
- A veszélyes hulladékok előírás szerinti átmeneti gyűjtése, szállítása és ártalmatlanítása, valamint az egyesített adatnyilvántartó rendszerben történő nyilvántartása, a rendszeres adatszolgáltatás a mérnök, illetve a megbízó felé.

2008. ÉVI ÖSSZES HULLADÉKSZÁLLÍTÁS

Az adatnyilvántartási rendszer lehetőségeinek megfelelően kétfajta dimenzióban kaptuk meg a hulladékokra vonatkozó adatokat:

- „kg” relációban nyilvántartott szállítások: 9 millió kg, hasznosításának mértéke 99%;
- „m³” relációban nyilvántartott szállítások: 15 250 m³, hasznosítási aránya (csak) 87%, mivel a kb. 2000 m³ kommunális hulladék (becsült adat) nem hasznosul.

VESZÉLYES HULLADÉKOK

2008-ban kb. 28 ezer kg veszélyes hulladékot szállítottak el, ennek döntő többsége az alagút építéséből származott (olajos rongyok, műgyanta-maradékok, oldószer-maradékok stb). Minden szállítmány EWC kódszámmal volt ellátva, és „SZ” jegy kíséretében történt a szállítás.

ZAJ, REZGÉS

Az intézkedési tervben megfogalmazott elvárások lényegében a jogszabályokban előírt kötelezettségeket tartalmazták. 2008-ban a vállalkozók teljesítették a zajkibocsátással kapcsolatos adminisztratív kötelezettségeiket (határérték túllépésének engedélyeztetése az eljáró hatóságnál). Megjegyzendő, hogy a jelentős zajhatással járó technológiák száma azóta lecsökkent a résfalazás befejezése és az építési munkák zömének felszín alá kerülése miatt, így a jövőben egyre kevesebb zajterheléssel kell számolni.

A 4-es metró beruházás I. szakasza a közeljövőben várhatóan elkészül, és a főváros tömegközlekedését kedvező irányban fogja befolyásolni. A beruházás környezetvédelmi szempontú hatósági előírásai igen szigorúan szabják meg és korlátozzák a kivitelezés és üzemeltetés során keletkező negatív környezeti hatásokat. A beruházás – mint kiemelt jelentőségű közberuházás – folyamatos hatósági ellenőrzés alatt áll. A 4-es metróvonal elkészülte vélhetően jelentős mértékben csökkenti a főváros közútjainak zsúfoltságát, ezzel is javítva a levegőminőséget, csökkentve a közlekedési eredetű zajterhelést.

A kivitelezés során az elérhető legkorszerűbb technológiák és módszerek kerülnek alkalmazásra, mindezek ellenére a kedvezőtlen környezeti hatások nem védhetők ki teljes mértékben, a hatások azonban az „elfogadható” tartományba esnek.

A legtöbb lakossági panasz a levegőminőség romlásával kapcsolatos. Ennek oka a megnőtt tehergépkocsi-forgalom, és az általuk okozott kiporzás. Ezek az értékek több esetben meghaladták a határértéket.

A zaj- és vibrációemisszió szintén abba a kategóriába tartozik, mely közvetlenül befolyásolja az építés környékén élők életminőségét. A lakosság igen érzékenyen reagál erre a hatásra, ezért a környezetvédelmi engedély kikötése, hogy éjszaka építési tevékenység csak rendkívüli esetben, előzetes engedéllyel lehetséges.

Rezgés miatt eddig egy esetben tettek panaszt a lakosok. Ennek kivizsgálása során az érintett ingatlanokban az alagútban elhaladó pajzskiszolgáló szerelvények zaja határérték alatti, de mérhető volt.

Az építés során keletkező szennyvíz nem érinti közvetlenül a lakosságot, nem megfelelő elhelyezése azonban a közcatornát és a Dúnát szennyezheti, károsíthatja.

Az egész beruházás környezetvédelmi szempontból összefogott, és a kivitelezők környezetet érintő tevékenységei a hatóságok, a DBR Metró Projekt Igazgatóság, a mérnök, valamint a lakosság erős kontrollja alatt állnak. Ezért reméljük, hogy a kivitelezés közben szükségszerűen elszenvedett kisebb-nagyobb kellemetlenséget az üzemelés során élvezett környezetvédelmi és komfort előnyök feledtetni fogják.

HOZZÁSZÓLÁS A „A KOMPAKTASZFALTOS ÉPÍTÉSI TECHNOLÓGIA HAZAI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI” CÍMŰ TANULMÁNYHOZ

DR. KELETI IMRE¹

A tanulmány a Szemle 2010. márciusi számában jelent meg. A szerzők² irodalmi adatokra, németországi tanulmányútra, az eljárás egy német szakértőjének magyarországi előadására, valamint két kisléptékű hazai kísérleti alkalmazásra támaszkodva átfogó összegzést adják az elsősorban Németországban alkalmazott olyan építési módszernek, amely az aszfaltburkolat két rétegét – a kötőréteget és a kopóréteget – egy menetben (forrót a forróra) vagy egymást szorosan követő menetben (forrót a melegre) építi meg. Az eljárás előnyei: rétegeiben egymással összeforró és anyagfelhasználás szempontjából kismértékben olcsóbb aszfaltburkolat (vastagabb kötőréteg, vékonyabb kopóréteg), a szabályzatok szerinti hőmérsékleti viszonyokhoz képest hidegebb időjárásban is lehetővé váló aszfaltburkolat-építés. Hátrányokról a tanulmányban egyenesen kimondva nem esik szó. Habár a forrót a forróra eljárás két finiszerből és aszfaltkomból álló, valamint két keverőtelepes logisztikai hátteret igénylő beépítő gépláncának a költségei minden bizonnyal meghaladják a „klasszikus” aszfaltburkolat-építés gépköltségeit. E költségek csökkentésére kitalált kompromisszum, a forrót a melegre módszer – amely egy finisert és egy keverőgépet igényel – hátránya a beépítési munkaterületi helyi organizáció nem biztonságos volta, hiszen kevésbé tervezhető a munkaterület alkalmas hossza, azaz meddig marad a lefektetett kötőréteg olyan meleg, hogy az arra második menetben fektetett forró és vékony kopóréteg azzal tényleg jó rétegtapadással „összefogadjon”.

Hivatkozva egy K+F tanulmányra [1], a szerzők úgy vélik, hogy mivel a „hazai autópályák burkolatának gyakran tapasztalt korai tönkremenetelét elsősorban a rétegek közötti elégtelen tapadás, illetve az egyes aszfaltrétegek nem megfelelő tömörsége (túlzott szabadhézag-tartalma) okozza”, a kompaktaszfalt eljárásra szerkesztett útügyi műszaki előírás [2] életbe léptetésével a módszer bevezethető. Ennek az útügyi műszaki előírásnak elkészült a tervezete és közmegegyeztetés stádiumában van. Az előírás életbe léptetése után a szerzők az eljárás első hazai „üzemszerű” alkalmazását sürgetik.

A kompaktaszfalt nevű technológia Magyarországon az országos közúthálózat kezelői körében publikációkból ismert [3], [4]. Kísérleti szakasz Magyarországon eddig kettő épült. Az egyik: egy mellékút egyik forgalmi sávjának 180 m hosszú szakaszán a forrót a melegre eljárással egy beépítő géplánccal készült, ami a 180 m hosszú kötőréteg elkészítése után visszaállt a sáv elejére és ráépítette a kopóréteget [5]. A másik: Budapest XXI. kerületében néhány buszmegálló nyomvályúsodott aszfaltburkolata cseréje ugyancsak forrót a melegre eljárással. Ezek hat év után is jó állapotot mutatnak a tanulmány szerint [6].

A szóban forgó útügyi műszaki előírás (ÚME) tervezetét a MAÚT felkérésére véleményeztem. Az álláspontom az, hogy a rendelkezésre álló külföldi információk és a kellő mélységben még nem értékelt hazai tapasztalatból kockázatos ÚME-minőségű szabályozást készíteni annál is inkább, mert a mindenképpen szükséges egy-egy próbaszakasz kiértékeléséből következő változtatások átvezetése egy már jóváhagyott ÚME esetében legalábbis nehézkes. Azt javaslom, hogy a módszer bevezetését mindkét eljárást illetően gondosan tervezett próbaszakasz építésével alapozzák meg. A próbaszakaszokhoz készülő technológiai utasítások alapján összeállíthatók a műszaki szállítási feltételek (MSZF). A próbaszakaszok tapasztalatainak kiértékelése után az MSZF útügyi műszaki előírássá fejleszthető, ami a kompaktaszfalt technológiával előállított termék tervezésével, és mint termékkel szemben támasztott követelmények rögzítése mellett meg kell, hogy adja a kompaktaszfalt burkolatot előállító berendezések minimálisan elvárható gépészeti kritériumait, a technológia logisztikai követelményeit, valamint a költséghatékonyság terén is rögzíti a minimum követelményeket.

A véleményezésre megküldött ÚT 2-303 Kompaktaszfalt. Építési feltételek és minőségi követelmények című tervezet nem hazai próbaszakaszok értékelésére támaszkodva írja elő a termékkel szemben támasztott követelményeket és nem teljesíti a technológia alkalmazását illető fent felsorolt feltételeket, ezért nem értek azzal egyet, hogy a tervezet jelen tartalmával útügyi műszaki előírásként megjelenjen.

Ezt a véleményemet alátámasztja az a módszer és eredményei, amit az *E*, *K* és *R* forgalmi terhelésű, évtized elején a szakma sikerrel alkalmazott. A 2004 óta e szabályozás alapján épült autópálya-aszfaltburkolatokon a hivatkozott tanulmányt [3] megalapozó K+F munka során elvégzett vizsgálatok nem állapítottak meg olyan hibákat, mint amilyeneket a 2004 előtt több ÚME együttes alkalmazásával épített aszfaltburkolatokon ugyanezen vizsgálat talált. Hozzáteszem, hogy a 2004 előtt épült és a vizsgálatba bevont aszfaltburkolatokon talált hibák kialakulására visszavezethető okok közül a rossz rétegtapadást a hivatkozott tanulmány nem a legnagyobb súlyú okként sorolta fel. Megjegyzem, hogy míg a betonburkolatok terén a műszaki szállítási feltételek alapján kiadott építőipari műszaki engedélyek (ÉME) folyamatosan beépültek a 2006-tól megújult vonatkozó útügyi műszaki előírásokba, addig a nagymodulusú aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek még a 2004-es eredetű és többször módosított ÉME-k alapján épülnek.

¹ Okleveles építőmérnök, okleveles gazdasági mérnök, egyetemi doktor, ügyvezető, ORKA Mérnöki Tanácsadó Kft.; e-mail: drkiorka@t-online.hu

² Füleki-Tkálecz Péter, dr. habil. Gáspár László, Karoliny Márton, dr. Pallós Imre

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Dr. Ambrus K., Galuska J., dr. habil Gáspár L., dr. Keleti I., dr. Pallós I., dr. Török K.: Aszfaltburkolatú autópályák minőség-biztosítási rendszeréhez történő hozzájárulás, Közlekedésépítési Szemle, 59. évf. 7. szám. 2009. június
- [2] Kompaktaszfalt. Építési feltételek és minőségi követelmények (útügyi műszaki előírás tervezet)
- [3] Füleki Péter: Kompakt aszfalt. Széchenyi István Egyetem Tudományos és Művészeti Diákköri konferencia, 2006. november 15.
- [4] Pethő László: A kompakt aszfalt pályaszerkezetek építése és alkalmazásának céljai, 34. Útügyi. Napok, Eger, 2006. szeptember 13–15.
- [5] Pethő László: Kompakt aszfalt a pályaszerkezetben. Közúti és Mélyépítési Szemle, 58. évf. 1–2. szám. 2008. március.
- [6] Füleki Péter és társai: A kompaktaszfaltos építési technológia hazai alkalmazásának lehetőségei” Közlekedésépítési Szemle 60. évf. 3. szám. 2010. március

SUMMARY

COMMENTS ON THE ARTICLE “POSSIBILITIES FOR THE USE OF COMPACT ASPHALT CONSTRUCTION TECHNOLOGY IN HUNGARY”

This contribution refers to the article published in March 2010 in our Revue, which has dealt with the Compact Asphalt Pavement Technology applied up to now primarily in Germany,

proposing also the introduction of the respective new technical regulatory framework being currently under preparation in Hungary. The author of the comments expresses his doubts regarding the maturity of the draft technical regulation and proposes to construct test sections at first, in order to gain further experience about the product design of the asphalt mix, the minimal criteria for the building machinery, the logistic requirements of the technology and in order to define cost effectiveness requirements as well.

PROTECTION OF THE BUILT AND NATURAL ENVIRONMENT IN THE BUDAPEST METRO LINE 4 PROJECT

TIBOR BALOGH (PAGE 31.)

In the preparation phase of the Budapest Metro Line 4 Project special attention has been paid to the environmental assessment of the possible alignment options, including environmental risks of each option (e.g. when crossing under the river Danube). The decision process has significantly been influenced by the aspects of environmental conformity. The environmental tasks defined by law for the Contractor were incorporated into the Works Contract as well. They included provisions regarding air quality protection, noise and vibration protection, waste management, water quality protection and specific environmental impacts of the construction technologies. The article outlines also the annual performance assessment of the environmental activities, including typical characteristic data. The environmental activities of the project are under the tight control of the competent authorities, the Investor DBR Metro Project Directorate, the Engineer and last but not least the residents of Budapest.

FEJLETT MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI RENDSZEREK ALKALMAZÁSA A KÖZÚTI KIVITELEZÉSBEN

APPLYING AQS IN THE HIGHWAY INDUSTRY

ALBERTO MIRON, RICHARD B. ROGERS, PETER A. KOPAC

PUBLIC ROADS, VOL. 72, NO. 2, SEPT/OCT 2008, [HTTP://WWW.TFHR.GOV/PUBRDS/08SEP/04.HTM](http://www.tfhr.gov/pubrds/08SEP/04.htm)

A fejlett minőségbiztosítási rendszerek lehetővé teszik a megépülő burkolatok minőségének javítását, és segítik a közúti szakirányítást a burkolatépítési projektek határidőre történő, költségkereten belül maradó befejezésében. A más iparágakban már bevált teljes körű minőségmenedzsment fő célja a megfelelő minőségi szint biztosítása a teljes élettartam alatt. A minőségmenedzsment magába foglalja a minőségtervezést, a minőség-ellenőrzést, a minőségbiztosítást és a minőségjavítás rendszeres elemeit, az előírások helyett a termékek és szolgáltatások tulajdonságaira figyelemmel. Az integrált minőségmenedzsmentben a tervezés és kivitelezés eddigénél szorosabb kapcsolata biztosíthatja a megfelelő teljesítményt. A minőséggel kapcsolatos rendszerek alapja az ISO 9001:2000 nemzetközi szabvány. A folyamat fő résztvevői az úthasználók, a közúti szakirányítás és a szerződött vállalatok. A megvalósítást segítő eszközök között a kivitelezés minőségét tartalmazó adatbázisok (tervezési, építési, minőség-ellenőrzési,

állapotvizsgálati és fenntartási adatok), a pénzügyi források, a résztvevő személyek és az infrastruktúra szerepel. A minőségmenedzsment fontos összetevői a felső vezetés elkötelezettsége, az erőforrás-gazdálkodás, a termék megvalósításának figyelemmel kísérése (útépítés esetén ez a tervezésre és a kivitelezésre egyaránt vonatkozik), valamint az értékelés és a minőségjavítási javaslatok. A tervezési és kivitelezési folyamat lépései között megtalálható a projekttervezés, a kiviteli tervezés, a tervek auditálása, az esetleg szükségessé váló tervmódosítás, majd ezt követően a kivitelezés, az építés közbeni termelésirányítás illetve minőség-ellenőrzés és a termék elfogadása, majd végül a minőség időbeli alakulásának megfigyelése, vizsgálata és értékelése, ennek alapján a hatékonyság folyamatos javítása. Az USA Szövetségi Útügyi Hivatala minden lehetséges módon támogatja a korszerű, fejlett minőségbiztosítási rendszerek alkalmazását.

G. A.

A HOLLAND VÍZÜGYI ÉS KÖZLEKEDÉSI FŐIGAZGATÓSÁG INNOVÁCIÓS ÚTMUTATÓJA (RIJKSWATERSTAAT EN INNOVATIES: SPELREGELS)

AZ ÚTÜGYI VILÁGSZÖVETSÉG (AIPCR/PIARC) D2B HAJLÉKONY ÉS FÉLMEREV PÁLYASZERKEZETEK MŰSZAKI BIZOTTSÁG INNOVÁCIÓS MUNKACSOportJA SZÁMÁRA BIZTOSÍTOTT ANYAG KIVONATA – 2010.

AZ INNOVÁCIÓ SZÜKSÉGESSÉGE

Az innovációban Hollandia Közlekedési, Közmű és Vízügyi Minisztériuma vezető szerepet kíván betölteni. Az új ismeretek és az innováció elengedhetetlen a mobilitás és a vízgazdálkodás céljainak társadalmilag elfogadható költségszinten történő eléréséhez. A minisztérium egyik lebonyolító szervezete, a Vízügyi és Közlekedési Főigazgatóság (Rijkswaterstaat) kulcsszereplője az innovációs folyamatnak. A Rijkswaterstaat által kiadott innovációs útmutató célja, hogy világos definíciókat adjon a piaccal való kommunikációra, professzionális megrendelői pozíciót biztosítson, és tegye lehetővé az üzleti szektor innovációs képességének növelését.

Az innováció nemcsak valami új termék, szolgáltatás vagy folyamat megteremtése, hanem a meglévő, de széles körben még nem alkalmazott új ismeretek alkalmazása is ide tartozik. Az innováció foka eszerint a teljesen új elgondolástól vagy radikálisan eltérő megoldástól az ismert eljárások kedvezőbb, gyorsabb, jobb, olcsóbb módosításáig terjed. A Rijkswaterstaat meghatározása szerint az innovációs folyamat egy új megoldás alkalmazása és/vagy egy termék, szolgáltatás, folyamat vagy rendszer teljesítménynek javítása.

Az innovációra példa az újrahasznosítás és újrafelhasználás (recycling, reuse) elterjedése Hollandiában. Egy másik innovációs példa a teljesítményelvű szerződések bevezetése, funkcionális előírásokkal és a hosszú távú kockázatok kezelésével. Az innováció során is fontos a fenntartható fejlődés biztosítása, melyben a szabad piac nem mindig érdekelt.

Az állami megrendelések területén korábban az innováció nem működött megfelelően az alábbi okok miatt:

- a közbeszerzésekben az állam és a piac hagyományos kapcsolatának megfelelően az állami intézmény határozta meg a terméket,
- az elbírálás során az árhoz való ragaszkodás határokat szabott az újításoknak,
- a felhasználó nem azonos a megrendelővel, ezért nem alakult ki fogyasztói piac,
- a vállalkozásoknak nehézségeik voltak a magas fejlesztési költségek, a hosszú megtérülési idő és a viszonylag alacsony hozam miatt,
- a kevés számú piaci szereplő kevésbé volt érdekelt az innovációban,
- magas kockázatot jelentett a közszférába bekerülő új termékek védettségének hiánya.

Az innováció elősegítésének főbb alapelvei, melyeket sikeresen alkalmaznak:

- a termék meghatározása helyett a megoldás szabad kialakításának lehetősége, figyelemmel a teljesítmény elvárások nem megfelelő vagy átlagon felüli teljesítésének kezelésére,
- a legalacsonyabb ár helyett a teljesítményen alapuló kiválasztás,
- a kiszámíthatatlanság helyett jól meghatározott játékszabályok alkalmazása.

AZ INNOVÁCIÓ MEGVALÓSÍTÁSI MÓDJAI

Egy innováció kezdeményezése történhet a piac oldaláról vállalkozói javaslatként vagy rendes közbeszerzés során, az állami lebonyolító részéről innovációs ötletgyűjtéssel vagy innovációs program meghirdetésével. A vállalkozó javasolhat a közbeszerzési eljárásban új megoldást, ha ennek előnyeit bizonyítani tudja. A vállalkozók önállóan is kezdeményezhetnek innovációt, ez esetben benyújtanak egy eredeti és kreatív ötletet értékelésre. Az állami lebonyolító egy előre meghatározott probléma megoldására kérhet javaslatokat a piaci szereplőktől. Az innováció kereteit bővíti az állam által meghirdetett innovációs programok, a közúti szektorban ilyen az „Utak a jövőbe” program Hollandiában. Az innovációs programokban az állami és magánszektor mellett a kutatóintézetek is részt vesznek.

Az ötlet vagy termék sikeres alkalmazásának feltétele az innováció értékelése. A Rijkswaterstaat szervezetében két értékelő egység működik: az Innovációs Tesztközpont és a Forgalmirányítási Rendszerek Tesztközpontja. Az értékelés során az innováció megfelelőségét vizsgálják az alábbi követelmények szerint:

- az innováció megfelel-e az érvényes műszaki szabályozásnak,
- hosszú távon elérhető-e a kitűzött cél,
- elfogadható-e a kockázatok.

Az „Utak a jövőbe” program célja a környezetbarát, biztonságos és megbízható mobilitás elősegítése. A program keretében hosszú távú kitekintéssel kísérleti építésekre kerül sor, melyek demonstrálják a hosszú távú gondolkodás és a rövid távú cselekvés összekapcsolását. Az innovációk a programban új technológiák, anyagok és módszerek alkalmazását célozzák. A fő hangsúlyt az állami és magán szektor együttműködése helyezik az úthasználók és külső szakértők bevonásával.

AZ INNOVÁCIÓ MEGVALÓSÍTÁSÁNAK SZABÁLYAI

A Rijkswaterstaat piaci megközelítése az innovációval kapcsolatban a szokásos alapelvre épül, mely szerint a vállalkozó el szeretne adni valamit, és a megrendelő meg szeretne venni valamit. A vállalkozót terheli az innovációs fejlesztés költsége a későbbi haszon reményében. A folyamatot a piaci erők irányítják. A főbb játékszabályok a következők:

- a piac határozza meg a folyamatokat,
- az innováció ár/teljesítmény aránya jobb legyen, mint a hagyományos megoldásé,
- a vállalkozó terheli a termék fejlesztésének költsége,
- a megrendelő előre közli, hogyan kívánja értékelni az innováció előnyeit,
- a megrendelő részt vehet a fejlesztésben, de ez nem kötelezi a későbbi felhasználásra,
- az innovációt bevezetése előtt megfelelően értékelni kell,
- nincs vételi garancia, és a jogi védettség nem képezhet akadályt.

Minden tevékenységre az európai szabályozás érvényes, elsősorban az átláthatóság, az objektivitás és a diszkriminációmentesség tekintetében. A vállalkozó megtarthatja az innovatív terméke iparjogi védeltségét. A megrendelő biztosítja a titoktartást és a bizalmas kezelést annak érdekében, hogy a többi piaci szereplő ne ismerhesse meg idő előtt az innováció részleteit.

Az innovációt az általános közbeszerzési szabályok figyelembevételével lehet megvalósítani. A fő célkitűzések: a piacon elérhető legjobb megoldás megtalálása, optimális ár- és minőségarány, valamint hatékonyság a lebonyolításban. Kötelező szerződésminták érvényesek a teljesítményelvű fenntartás és karbantartásra, a nagy léptékű fenntartási munkákra, a tervezési és építési projektekre, végül a komplex fejlesztésekre, melyek az állami és magánszektor együttműködésével valósulnak meg.

Az állami megrendelő kötelessége az érdekek széles körű figyelembevétele, a közpénzekkel történő elszámoltathatóság, a társadalmi felelősség, a megbízhatóság és átláthatóság biztosítása. A szerződéses partnerek kiválasztásánál előre közlik az alkalmazott módszert és az értékelési szempontokat.

AZ INNOVÁCIÓS FOLYAMAT ELEMEI

Tekintsünk át egy tipikus innovációs projektet példaként! A folyamat egy meghatározott jövőkép felé mutató ötletek és elgondolások megalkotásával kezdődik. A következő lépés egy szűkítés, amelynek eredményeként a legígéretesebb ötleteket választják ki továbbfejlesztésre. A legkedvezőbb elgondolás alapján pilot projektet illetve prototípust valósítanak meg, és tesztelés történik. A sikeres kísérleti megvalósítás után, a gyakorlati bevezetés előtt további vizsgálatokat végeznek a műszaki előírásoknak való megfelelést és a termék tulajdonságait illetően. Ez a szakasz az innováció értékelése. A kedvező értékeléssel az innováció eredménye bekerül a közúti építési piacra, és a hagyományos közbeszerzésekben ajánlható.

A folyamat elemei röviden összefoglalva: ötlet → kísérleti fejlesztés → értékelés → termék.

A kísérleti építések, pilot projektek esetén a Rijkswaterstaat figyelembe veszi a piac szerepét és igényli a vállalkozások közreműködését. A vállalkozások motivációjuktól függően megválaszthatják részvételük módját. A pilot projekt teljesítése egyben a sikeres alkalmazás szándékát jelzi. A pilot projektek közbeszerzése az európai előírások szerint zajlik. Az új ötletet vagy terméket a vállalkozó jogvédelemben részesítheti. Fontos tényező a gyakorlati megfontolásokon alapuló kockázatmegosztás, valamint az elvárások harmonizálása.

Az innováció piaci részvétellel történő kezelése, az úgynevezett piaci konzultáció esetén az állam képviselőjeként a Rijkswaterstaat egyes lehetséges új megoldások és ötletek piaci fogadtatását

vizsgálja a vállalkozók reagálásának megismerésével. A vállalkozók bevonásával történő innovációs fejlesztés lehetőséget ad a piaci hatások maximális kihasználására. A lehetséges megoldások megvalósíthatósága és a magánszektor érdeklődése egyaránt értékelhetővé válik.

A piaci konzultáció nem közbeszerzés, de nyilvános folyamat. Az innováció kiválasztása csak lehetőség, ezért a vállalkozók ráfordítása korlátozott. A folyamat szabályait az állami képviselője határozza meg, és a döntés is az állami képviselő kezében van. A nyilvánosság számára publikált jelentés készül az eredményről.

Az innováció másik megvalósítási módja az ötletpályázat, amikor egy jól meghatározott problémára keresnek innovatív megoldást. Az ötletpályázat nyilvános, a vállalkozó szabadon dönthet a részvételtől. A döntést a zsűri hozza, és azt az állam képviselője elfogadja, ugyanakkor a döntés nem kötelezi az állam képviselőjét a megvalósításra. Fontos az ötletek bizalmas és titkos kezelése. Az elfogadott ötletek díjazása csak jelképes mértékű.

Az állam részéről megjelenő innovációs igény hiányában a vállalkozó is tehet – szabályozott módon – javaslatot az általa fejlesztett innováció megvalósítására. Az ilyen javaslat bármikor visszavonható. A folyamat ez esetben előzetes konzultációt is tartalmaz, és leglényegesebb eleme az értékelés. A vállalkozó egy hagyományos közbeszerzés esetén is adhat olyan alternatív javaslatot, mely a meglévő megoldásokhoz képest innovatívnak minősül. Az utóbbi esetben azonban csak előzetesen értékelt megoldást vagy terméket javasolhat a vállalkozó.

AZ INNOVÁCIÓ ÉRTÉKELÉSE

Az innovatív ötletek és termékek kialakítása az innovációs folyamat első szakasza. A második szakaszban történik az innováció átalakítása széles körben alkalmazható terméké, és ennek a szakaszban középpontja az értékelés.

Az értékelést az erre a célra létrehozott Innovációs Tesztközpont végzi. Egy szakértői csoport választja ki azokat az innovációkat, amelyeket alkalmasnak tart az értékelésre. A kiválasztás szempontjai között a javaslat újszerűsége és annak problémamegoldó képessége szerepel, továbbá vizsgálják a fejlesztés eredményének várható ár és teljesítmény arányát a hagyományos megoldással összehasonlítva.

Az értékelés folyamatában a projekt kiválasztását együttműködési megállapodás követi a költségek megosztásával. A folyamat az értékelő dokumentum nyilvános publikálásával zárul. A sikeres értékeléssel rendelkező innováció részt vehet a hagyományos közbeszerzéseken, és ezzel az innovatív termék piaci bevezetése szabad utat kap.

G. A.

ÚJ ÉS ÁTDOLGOZOTT ÚTÜGYI MŰSZAKI ELŐÍRÁSOK

2009. október 15.

- ÚT 2-1.219 **e-UT 03.03.31** A jelzőlámpás forgalomirányítás tervezése, telepítése és üzemeltetése (6100 Ft + áfa) (ÚT 2-1.219:2003 helyett)
- ÚT 2-2.127 **e-UT 09.02.27** Az útburkolat-felület csúszásellenállásának vizsgálata. Mérés ASFT-berendezéssel (2200 Ft + áfa) (ÚT 2-1.217:2008 helyett)
- ÚT 2-3.601-3 **e-UT 05.01.11** Útépitési zúzottkövek és zúzottkavicsok 3. rész • Útalapok (2900 Ft + áfa) (ÚT 2-3.601:2006 helyett)

2009. november 15.

- ÚT 2-3.504 **e-UT 05.01.21** Kationaktív bitumenemulziók. Követelmények (2700 Ft + áfa) (ÚT 2-3.504:2002 helyett)

2010. január 15.

- ÚT 2-1.502 **e-UT 06.03.11** Kerékpárutak, gyalogutak és járdák pályaszerkezete (3300 Ft + áfa) (ÚT 2-1.502:2006 helyett)

2010. február 15.

- ÚT 2-3.301-1 **e-UT 05.02.11** Útépitési aszfaltkeverékek. Aszfaltbeton (AC) (2700 Ft + áfa) (ÚT 2-3.301-1:2008 helyett)
- ÚT 2-3.301-2 **e-UT 05.02.12** Útépitési aszfaltkeverékek. Aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez (BBTM) (2100 Ft + áfa) (ÚT 2-3.301-2:2008 helyett)
- ÚT 2-3.301-5 **e-UT 05.02.13** Útépitési aszfaltkeverékek. Zúzalékvasas masztixaszfalt (SMA) (2100 Ft + áfa) (ÚT 2-3.301-5:2008 helyett)
- ÚT 2-3.301-6 **e-UT 05.02.14** Útépitési aszfaltkeverékek. Öntöttaszfalt (MA) (2100 Ft + áfa) (ÚT 2-3.301-6:2008 helyett)
- ÚT 2-3.302 **e-UT 06.03.21** Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek. Építési feltételek és minőségi követelmények (3400 Ft + áfa) (ÚT 2-3.302:2008 helyett)

2010. március 15.

- ÚT 2-1.161 **e-UT 04.04.12** Közúti visszatartó rendszerek I. Feltartóztatási követelmények és elhelyezés közutakon (3300 Ft + áfa) (ÚT 2-1.161:2005 és ÚT 2-1.101:1982 helyett)
- ÚT 2-3.313 **e-UT 09.02.41** Aszfaltrétegek tapadásvizsgálata nyírással (2000 Ft + áfa)

2010. április 15.

- ÚT 2-1.203 **e-UT 03.04.11** Kerékpárforgalmi létesítmények tervezése (A KTSZ kiegészítése) (21 100 Ft + áfa) (ÚT 2-1.203:2006 helyett)
- ÚT 2-2.210 **e-UT 08.01.26** A Kerékpárút Nyilvántartó Rendszer (KeNyí) adatfeltöltési és működési rendje (3100 Ft + áfa)
- ÚT 2-2.401 **e-UT 08.03.11** Szórósó. Technikai nátrium-klorid (2800 Ft + áfa) (ÚT 2-2.401:1999 és az /1M:2005 helyett)

2010. május 15.

- ÚT 2-1.119 **e-UT 04.05.12** Közutakon folyó munkák elkorlátozása és ideiglenes forgalomszabályozása (26 800 Ft + áfa) (ÚT 2-1.119:2007 helyett)
- ÚT 2-1.403 **e-UT 07.05.11** Közúti visszatartó rendszerek II. Követelmények hidakon (2300 Ft + áfa) (ÚT 2-1.403:2009 helyett)

2010. június 15.

- ÚT 2-1.206 **e-UT 03.03.11** Körforgalmak tervezése (A KTSZ kiegészítése) (10 400 Ft + áfa) (ÚT 2-1.206:2001 helyett)

ÚJ TERVEZÉSI ÚTMUTATÓK

- TÚ 16 **e-UT 01.01.12** Vizsgálati kézikönyv 2009 (9300 Ft + áfa) (2008. évi helyett) (új kiadás!)

NYOMTATOTT ELŐÍRÁSTÁR 16 kötetben, kb. 8000 oldal (kb. 708 000 Ft + áfa)

e-UT DIGITÁLIS ÚTÜGYI ELŐÍRÁSTÁR előfizetés (250 000 Ft + áfa összegtől)

700 Ft