



60. ÉVFOLYAM
8. SZÁM

KÖZLEKEDÉSÉPÍTÉSI SZEMLE

2010. AUGUSZTUS

FELELŐS KIADÓ:
Völgyesi Zsolt főigazgató

FELELŐS SZERKESZTŐ:
Dr. Koren Csaba

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

A CÍMLAPON: A Megyeri híd

A BORÍTÓ 2. OLDALÁN:
Az Oresund híd és alagút

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, Lövház 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. RÓSA DEZSŐ – DR. TÖRŐCSIK FRIGYES

Budapest és a megyei jogú városok közötti közlekedése
összevont statisztikai mutatóinak képzése

1

DR. HABIL GÁSPÁR LÁSZLÓ

A Direct-Mat projekt – az utépítési anyagok újrafelhasználásának európai
körképe

9

DR. PETHŐ LÁSZLÓ – TÓTH CSABA

Beépített aszfaltrétegek vastagságának roncsolásmentes
meghatározása

15

FISCHER SZABOLCS – DR. HORVÁT FERENC

A georács erősítésű vasúti zúzottkő ágyazat diszkrét elemes
modellezési lehetőségei

20

HALVAX KATALIN

A ferdekábeles hidak története és szerkezeti kialakítása

30

DR. RIGÓ MIHÁLY

A rácsos-sugaras úthálózat

37

BUDAPEST ÉS A MEGYEI JOGÚ VÁROSOK KÖZÜTI KÖZLEKEDÉSE ÖSSZEVONT STATISZTIKAI MUTATÓINAK KÉPZÉSE

DR. RÓSA DEZSŐ¹ – DR. TÖRŐCSIK FRIGYES²

1. BEVEZETÉS

1.1. A FELADAT INDOKLÁSA, CÉLKITŰZÉSE

A közúti közlekedés mára kialakult, városenként eltérő mértéke, infrastruktúrájának helyzete jelentősen befolyásolja az érintett városban lakók, az ott közlekedők mindennapi életminőségét. Gondoljunk elsősorban a lég- és zajszennyezésre, amit nem csak a forgalom mértéke befolyásol, hanem a közúti forgalom összetétele, a folyamatossága, vagyis a minősége is.

Nem állt rendelkezésünkre eddig a hazai nagyvárosok közúti közlekedésének minőségét egyetlen mutatóval kifejező módszer arra az esetre, amikor dönteni kell(ett), hogy mely város, városok úthálózatának fejlesztését, bővítését, elkerülését, az utak felújítását stb. helyezték előtérbe, ugyanakkor más városok indokolt hasonló feladatai esetleg halasztást szenvedtek.

Az EU által lehetővé tett támogatás – melynek egy része a közlekedés javítására használható – a közeljövő olyan lehetősége, melyet objektív szempontok figyelembevételével kell felhasználni, csökkentve a korábban sokszor kevésbé objektív döntések mai hátrányos következményeit.

Jelenleg sem a városi vezetők, sem más döntéshozók, de az útügyi szakemberek sem képesek a hazai városok, valamint a nagyszámú kiemelkedő főváros összetett, sokoldalú út- és forgalmi állapotát egymással összehasonlítható módon jellemezni. Ha például a főváros bemutatja az úthálózata fejlesztési, felújítási igényeit, nem lehet jól érzékeltetni, hogy ez milyen arányban áll más hazai városok hasonló igényeihez képest. Ugyancsak bizonytalanság lehet egyes régiókon belül a saját városaik fejlesztési igényeinek sorolásánál, súlyozásánál. Szükség van tehát olyan megalapozott módszerre, mely

- a döntéshozók, valamint a széleskörű közvélemény részére is közérthetően, az egyes városok között összehasonlíthatóan be tudja mutatni a városok és a főváros utellátottsági, közúti közlekedési viszonyait, valamint
- a mutató felhasználható a közutak jó állapotban tartásához szükséges felújítási-fenntartási munkák forrásarányainak meghatározásához is.

A fenti igények indokolták, valamint inspirálták, hogy az Eurout Kft. – saját kezdeményezésére és költségére, a szerzők szerkesztésében – a témában nagy gyakorlattal és felkészültséggel rendelkező neves szakemberek³ folyamatos véleményezésével, segítő bírálatával 2007 folyamán elkészítsen egy olyan tanulmányt, amelyben a kidolgozott módszer lehetőséget biztosít az egyes hazai városok közúti közlekedésének objektív, egyszerű, mindenki által jól érthető összehasonlítására, rangsorolására.

A tanulmány elsőrendű célkitűzése, hogy a főváros és a megyei jogú városok közúti közlekedése a városok forgalmára, utellátottságára, a közúti közlekedésben résztvevőkre jellemző – rendelkezésre álló – objektív műszaki-forgalmi adatok felhasználásával, majd az ezekből képzett összevont közúti közlekedési statisztikai mutató ($K_{mutató}$) előállításával legyen jellemezve. A képzett mutató előnye egyébként még abban is áll, hogy kapcsolatba hozható az érintett város útfelújítási, bővítési forrásigényének nagyságával, valamint a középtávú – 3–5 évet átfogó, méltányos és igazságos, gazdaságilag az optimálishoz közelebb eső – forráselosztás megapozottabbá tehető.

Más szavakkal kifejezve a szerzők úgy ítélték, hogy szükség van olyan objektív, szakmailag megalapozott módszer kidolgozására, mely

- a döntéshozók, valamint a széleskörű közvélemény részére is közérthetően, az egyes városok között összehasonlíthatóan be tudja mutatni azok közúti közlekedési viszonyait, valamint
- a mutató rendszeres előállításával előállított idősor a jövőben felhasználható a közutak jó állapotban tartásához szükséges felújítási-fenntartási munkák forrásarányainak meghatározásához.

1.2. ELŐZMÉNYEK

A tanulmány előkészítése során megállapítottuk, hogy a célkitűzésben meghatározott „mutató” – vagy ahhoz hasonló mérőszám – sem hazánkban, sem máshol külföldön még nem készült. Az előkészületek során fellelt szakirodalom általában egyes jellemzőként végzett a városok közúti forgalmára jellemző értékeket, de többszempontú, összevont, súlyozott összehasonlításokra nem vállalkoztak. A következőkben röviden utalunk a tanulmányban részletesen bemutatott – előzménynek tekinthető – cikkekre, vizsgálatokra.

a) A kitűzött feladatunkhoz legközelebb Ehrlich Éva DSc és Szigetvári Tamás PhD: Az infrastruktúra fejlettsége Magyarországon 1990–2002 című munkája áll. A kutatási anyag célja megismerni a megyék fejlettségeinek eltéréseit az infrastruktúra vizsgált szektoraiiban. A kutatás a tizenkilenc megyére és a hét régióra, valamint nyolc nagyvárosra terjedt ki, melyek lakossága meghaladja a százezer főt.

b) Az Európai Bizottság 1999 júniusában döntött az összehasonlítható európai városok statisztikai adatgyűjtéséről. A programot „Urban Audit”-nak⁴ nevezték el. Az EU-15-re kiterjedő vizsgálat 58 európai nagyvárost mutatott be, amelyből még kihagyták Londont és Párizst. 2001-re elkészült az a vizsgálat, mely kitért a városok agglomerációjára is, és amely 482 változót tartalmazott a vizsgált témakörökben.

¹ Okl. mérnök, Eurout Kft., szakértő

² Okl. mérnök, Eurout Kft., ügyvezető igazgató

³ Arató Balázs, vállalkozásvezető, HE-DO Kft., dr. Karsay László, ny. vezérigazgató-helyettes, Uvaterv Zrt., dr. Keleti Imre, ügyvezető, Orka Kft., Keszthelyi Tibo, Főmterv Mérnöki Tervező Zrt., közlekedéstervezési igazgató, Lelkes Mihály, Budapest Főváros Városépítési Tervező Kft. Térségkutatási és Városfejlesztési Iroda vezetője, Matuzsné Harasta Mónika, Főmterv Mérnöki Tervező Zrt., úttervezési irodavezető, dr. Monigl János, Transman Kft., ügyvezető, Plachy Sándor, ny. igazgató, Ukig, Somfai András, szakmérnök, önkormányzati és vállalkozói szaküzemgazdász, dr. Timár András, egyetemi tanár. Utólagos bírálat: Molnár László Főmterv Mérnöki Tervező Zrt., elnök-igazgató

⁴ Megjelent: Gazdaság és Statisztika (GÉS). A Központi Statisztikai Hivatal folyóirata, 2005. október

Az Urban Audit 2001-es befejezése után az Európai Bizottság úgy döntött, hogy folytatja és tökéletesíti a városok fejlődésére vonatkozó összehasonlító adatok gyűjtését, és megindította az Urban Audit II. programot, mely 2003–2004-ben került végrehajtásra.

Az Urban Audit II. témakörei:

1. szociális jellemzők
2. gazdasági jellemzők
3. a lakosság közéleti aktivitása
4. képzés, továbbképzés, oktatás
5. környezet
6. utazás, közlekedés
7. információs társadalom
8. kultúra, szabadidő eltöltése.

Az Urban Audit II-ben az EU-25-ök 258 városa, ezen belül az új tagok 64 városa került vizsgálatra, kiterjesztve Románia és Bulgária városaira is. A vizsgálat – természetesen – tartalmazta Budapestet is, amelybe még a főváros mellett három közepes méretű városunk is bekerült (Miskolc, Nyíregyháza, Pécs).

Az Urban Audit II. összesen 17 szempontcsoport szerint, de jellemzőként külön-külön értékelte a vizsgálatba bevont nagyvárosokat.

A tanulmányunk az egyes szempontcsoportok ismertetését követően a vizsgálatból kiemelte, hogy a relatíve kis vagy közepes országok fővárosainak népessége az ország teljes népességéhez viszonyítva általában magas arányt képvisel, tehát Budapestnek ez a jellemzője nem tekinthető egyedi esetnek. Ugyanakkor Budapesten a tömegközlekedés aránya – bár csökkent az utóbbi években, de még így is – az európai fővárosokhoz képest magasnak mondható.

c) Kapitány Gabriella – dr. Lakatos Miklós: A munkaerő napi mozgása és közlekedése a budapesti kerületekben és a fővárosi agglomerációban 1980–2001⁵. A vizsgálat részletesen foglalkozik a fővárosi agglomeráció területével, a fővárosi forgalomvonzásával, forgalomkeltési mértékével, az ingázási kapcsolatokkal.

Az elemzés szerint Budapest és a vidék napi ingázási kapcsolatára az egyoldalúság jellemző: a fővárosból kifelé áramló munkaerő jóval kevesebb, mint a vidéki településekről a fővárosba áramló tömeg. Budapesten koncentráldott az ország foglalkoztatottakkal betöltött munkahelyeinek közel negyede. 2001 elején a fővárosból naponta 65 ezer budapesti lakóhelyű munkavállaló ingázott naponta vidékre, így a főváros szempontjából az ingázási egyenleg 110 ezer fős többlettel zárult. A bejárók között valamivel magasabb a fizikai foglalkozásúak aránya, mint az eljárók között.

Ugyanakkor, míg országosan 2001-ben a foglalkoztatottak 30%-a tartozott az ingázók, eljárók körébe, a fővárosi agglomerációban ez az arány 59% volt. Egyes települések (Dunakeszi, Gyál, Vecsés, Nagykovácsi stb.) eljáróinak 80%-a jár naponta Budapestre. Ez a magas érték egyértelműen Budapest munkaerővonzó képességének köszönhető.

A fenti cikkekkel, vizsgálatokkal csak azt kívántuk alátámasztani,

hogy van igény az élet különböző területein az objektív, több szempontú összehasonlításokra, de a rendelkezésre álló tények-re, adatokra támaszkodó megismert vizsgálatok csak egyes elemenként, tényezőnként adnak lehetőséget a sorolásokra, mérték szerinti összehasonlításokra.

2. BUDAPEST ÉS A MEGYEI JOGÚ VÁROSOK KÖZÜTI KÖZLEKEDÉSE ÖSSZEVONT STATISZTIKAI MUTATÓJA – $K_{MUTATÓ}$ – KÉPZÉSÉNEK ELVE, MÓDJÁ

2.1. RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ, ELÉRHETŐ ADATOK

Az előzőekben már többször is jeleztük, hogy olyan módszer kialakítását tűztük ki célul, amelynek sem itthon, sem a nemzetközi gyakorlatban nincs előzménye. Ez eleve kiteszi a kialakítandó módszerünket lehetséges kritikáknak.

A kritikák elsősorban arra vonatkozhatnak, hogy a közúti közlekedést befolyásoló mely jellemzőket vonunk be, illetve hagyunk ki az értékelésből. Itt a rendelkezésre álló, rendszeresen előállított adatok megléte jelentett korlátokat. Ugyanakkor a kritikák arra is vonatkozhatnak, hogy a vizsgált jellemzők milyen mértékben befolyásolják a végső értékelést, vagyis mekkora súlyuk van egymáshoz képest, melyre nincsenek előzmények.

A mutató képzésénél törekednünk kellett az egyszerűsége – de persze ne a túlzott leegyszerűsítésre –, az ismételhőségre. Itt szintén a rendelkezésre álló, rendszeresen előállítható adatok jelentették a korlátot. Végül az is célunk volt, hogy a vizsgálat megjeleníthető eredménye természetesen ne csak egy várost – a fővárost – jellemezze, hanem elsősorban legyen képes a vizsgálatba bevont bármely várost bármely másik várossal is összehasonlítani.

A fentiek alapján törekedve a – viszonylagos – egyszerűsége, a jó átláthatóságra és érthetőségre, a közúti közlekedésre legjellemzőbb, de rendelkezésre álló, elérhető adatszoportokat, illetve adadfajtákat kívántuk csak felhasználni. Ezek: a közúti forgalom mértéke, az utak terjedelme, valamint az ún. egyéb adatok, melyek mértéke közvetlenül is befolyásolja a közúti forgalom mértékét (lakosság, gépjármű-ellátottság, tömegközlekedési teljesítmény). Nem vontunk be – nem vonhattunk be – olyan adatokat, melyek nem álltak teljes körűen, minden városban rendelkezésre.

A felszíni közlekedésre vonatkozó ún. terjedelmi adatokat két helyről sikerült beszerezni. Ezek az adatforrások a Központi Statisztikai Hivatal (KSH)⁶, valamint a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium (GKM)⁷.

A hazai városi utak esetében nem vagy csak néhány kiemelt út esetében áll rendelkezésre forgalomszámlálási adat, valamint a burkolatok minőségére vonatkozó útállapotadatok is csak korlátozottan kerülnek meghatározásra. Ezért a számításoknál útállapotadatokat nem tudtunk figyelembe venni. Az egyes városok közúti forgalmi mértékét viszont – konkrét városi forgalomszámlálási adatok hiányában – az adott városokba bejövő és azon átmenő vagy ott végződő országos közutak 2005. évi Átlagos Napi Forgalmával (ÁNF) és ezen utak hosszával (napi forgalmi teljesítmény = $\text{ÁNF} \times \text{m}$) arányos mértékűnek tekintettük. Ezek az utak ugyanis az érintett települések fő útvonalai, valamint jelentős szerepük van a helyi forgalom viselésében és így a helyi forgalmi körülmények alakulásában is. Ezen adatokat megrendelésünkre a Magyar Közút Kht. állította elő.

⁵ Megjelent: KSH Gazdaság és Statisztika 2005.

⁶ KSH Informatikai főosztály: 2003., 2004. évi adatok

⁷ Közlekedési adatok GKM, 2002.

A fentiek alapján végül az alábbi jellemzőket vettük figyelembe a $K_{mutató}$ kiszámításához.

a) Forgalomra vonatkozó adat:

Bejövő forgalom = mivel a városokra jellemző keresztmetszeti forgalmi értékek nem állnak rendelkezésre, ezért a településbe bejövő/átmenő országos közutakon – szakaszonként mért – ÁNF értéke, szorozva az érintett útszakasz hosszával ($ÁNF \times m$ = forgalmi teljesítmény mutató) vehető jellemzőnek. Ez az érték, illetve mutató azért is jó jellemző, mert egyrészt nagyobb akkor, ha a településnek van számottevő agglomerációja, valamint kisebb akkor, ha a településnek van elkerülő útja.

b) Terjedelemre vonatkozó adat:

Kezelt úthossz = városok esetében a belterületi közutak hossza (km) az országos közutak nélkül, kivéve Budapestet, ahol a belterületi közutak hosszában figyelembe veendő a főváros területén lévő – állami tulajdonú – országos közutak hossza is (mivel ezek is önkormányzati kezelésben vannak).

c) A településhez tartozó, a közúti forgalmat keltő vagy kifejező egyéb terjedelmi adatok:

1. autóbussz-utaskm értéke⁸,

2. lakosság,
3. személygépkocsik száma,
4. tehergépkocsik száma.

2.2. A SZÁMÍTÁSBA VETT ADATOK ABSZOLÚT ÉRTÉKEI

A fenti – elérhető és rendelkezésre álló – terjedelmi adatok közül a 1. táblázatban feltüntetett abszolút értékeket használtuk a további számítás során.

A forgalmi teljesítményre utaló adatokat – mint említettük – a Magyar Közút Kht. állította elő az Országos Közúti Adatbankból. Példaként bemutatjuk Szeged város felhasznált útvázlatát és forgalmi adatait (1. ábra és 2. táblázat).

2.3. A SZÁMÍTÁSI KÉPLET KIALAKÍTÁSÁNAK LÉPÉSEI

- Az egyes jellemzők abszolút értékei sorba rendezendők
- mindegyik jellemző esetében kiszámítandó a legkisebb helyezésű város = 1,000-hez viszonyítva a többi város relatív nagyságrendi mutatója (3. táblázat),
- az így kapott, nagyságrendeken alapuló relatív értékeket – a „szakértői módszer”-rel kialakított – súlyozással, az alábbi képlet segítségével összevont jelentésű mutatóvá alakítjuk:

1. táblázat: A közúti közlekedés statisztikai mutatóinak számításához felhasznált kiinduló adatok, a belterületi utak hossza szerint sorolva

Sorszám	Városnév	Belterületi		Országos utak km	Autóbussz, 1000 utaskm	Lakosság	Szvk-szám	Tgk-szám
		utak						
		2004						
1.	Budapest	4289	0	2 884 766	1 697 343	602 114	79 060	
2.	Pécs	738	33	356 419	156 567	46 694	6 696	
3.	Debrecen	566	30	387 512	204 297	61 088	10 079	
4.	Miskolc	526	37	419 282	175 701	43 679	6 941	
5.	Szeged	467	47	341 251	162 889	44 255	6924	
6.	Érd	395	4	21 597	60 546	22 418	3 080	
7.	Kecskemét	392	26	109 395	108 286	37 870	5 822	
8.	Győr	347	33	174 497	127 594	41 618	7 188	
9.	Nyíregyháza	325	47	153 210	116 336	37 637	6 139	
10.	Szolnok	314	23	115 548	76 331	21 012	3 561	
11.	Székesfehérvár	309	30	147 347	101 465	36 504	5 868	
12.	Szombathely	254	15	55 157	80 154	26 439	3 895	
13.	Békéscsaba	235	20	45 763	65 691	19 502	3 108	
14.	Tatabánya	234	7	105 148	71 154	19 669	2 534	
15.	Hódmezővásárhely	197	18	9 282	48 013	11 924	2 058	
16.	Kaposvár	190	23	67 223	67 954	20 656	3 160	
17.	Veszprém	187	7	93453	61 131	19 448	3 044	
18.	Sopron	179	18	45 462	56394	17 342	2 382	
19.	Zalaegerszeg	159	31	69 374	62 029	20 309	3 543	
20.	Nagykanizsa	141	25	44 455	51 102	15 100	2 222	
21.	Eger	130	22	101 240	56 317	17 452	2 955	
22.	Salgótarján	130	29	69 045	43 681	11 504	1 474	
23.	Dunaújváros	126	2	56 842	51 378	12 709	1 602	
24.	Szekszárd	120	5	21 937	35 008	12 293	2 012	

⁸ Itt jegyezzük meg, hogy a felszíni villamosközlekedés mutatója nem szerepel a figyelembe vett jellemzők között. Tény, hogy autóbussz-közlekedés minden vizsgált városban van, de villamosközlekedés csak három nagyobb városban, míg metróközlekedés egyedül Budapesten. Ez a helyzet nyilvánvalóan összefügg a városok népességszámával. Ugyanakkor a tanulmány célkitűzéseként „csak” a közúti közlekedés összevont statisztikai mutatószám előállítását határozta meg, ezért tehát indokoltnak tartottuk a vizsgálatból a villamosközlekedés mutatóinak kihagyását.

2. táblázat: Szeged város, forgalmiteljesítmény-mutató számítása

Út száma	Pálya	Kezdőszelvény	Végzőszelvény	Rész-szakasz hossza, m	Évi átlagos napi keresztmetszeti forgalom, E/nap	Hossz*ANF
		km + m				
5	0	164 + 952	165 + 730	778,0	18 348	14 274 744
5	1	165 + 838	165 + 928	45,0	18 348	825 660
5	1	165 + 928	166 + 068	52,5	42 409	2 226 472
5	0	166 + 068	166 + 474	406,0	42 409	17 218 054
5	0	166 + 474	168 + 079	1591,0	37 805	60 147 755
5	0	168 + 079	169 + 228	1145,0	25 157	28 804 765
5	0	169 + 228	170 + 052	824,0	24 393	20 099 832
5	0	170 + 052	170 + 600	548,0	18 518	10 147 864
5	0	170 + 600	171 + 838	1250,0	13 411	16 763 750
5	0	171 + 838	172 + 230	390,0	14 175	5 528 250
5	0	172 + 230	173 + 440	1209,0	8 326	10 066 134
5	0	173 + 440	173 + 620	180,0	5 471	984 780
43	0	0 + 000	0 + 693	693,0	30 767	21321 531
43	0	0 + 693	1 + 227	534,0	28 368	15 148 512
43	0	1 + 227	1 + 526	299,0	28 086	8397 714
43	0	1 + 526	3 + 900	2374,0	29 465	69 949 910
43	0	3 + 900	7 + 292	3387,0	20 405	69 111 735
43	0	7 + 292	7 + 902	610,0	10 412	6 351 320
47	0	219 + 059	220 + 899	1850,0	19 573	36 210 050
47	0	220 + 899	222 + 175	1265,0	12 385	15 667 025
55	0	0 + 000	1 + 101	1100,0	13 841	15 225 100
55	0	1 + 101	2 + 530	1428,0	16 929	24 174 612
55	0	2 + 530	3 + 050	525,0	11 399	5 984 475
502	0	0 + 4513	0 + 4575	62,0		0
502	1	0 + 4575	0 + 4624	24,5		0
502	0	0 + 4624	0 + 4653	29,0		0
4301	0	0 + 000	0 + 292	292,0	1 949	569 108
4301	0	2 + 000	2 + 1736	1736,0	1 949	3 383 464
4302	0	0 + 000	2 + 168	2267,0	4 254	9 643 818
4302	0	2 + 168	2 + 596	428,0	708	303 024
4412	0	15 + 6556	23 + 580	1914,0	3 314	6 342 996
4412	0	23 + 580	23 + 1415	835,0	8 679	7 246 965
4412	0	23 + 1415	23 + 1775	360,0	20 512	7 384 320
4412	0	23 + 1775	23 + 2209	434,0	10 894	4 727 996
4412	0	23 + 2209	23 + 2346	137,0	28 645	3 924 365
4519	0	54 + 311	54 + 516	205,0	10 466	2 145 530
4519	1	54 + 516	54 + 549	16,5	10 466	172 689
4519	0	54 + 549	54 + 970	421,0	10 466	4 406 186
4519	0	54 + 970	56 + 173	1216,0	14 323	17 416 768
5405	0	63 + 378	64 + 219	853,0	4 583	3 909 299
5405	0	64 + 219	64 + 940	721,0	4 616	3 328 136
5408	0	49 + 128	50 + 273	1135,0	4 309	4 890 715
5408	0	50 + 273	51 + 659	1372,0	12 258	16 817 976
5408	1	51 + 659	51 + 706	23,5	12 258	288 063
5408	0	51 + 709	52 + 303	605,0	12 258	7 416 090
5408	0	52 + 303	53 + 610	1320,0	18 438	24 338 160
5428	0	2 + 012	2 + 371	359,0	1 812	650 508

43 101	0	0 + 000	0 + 423	423,0	354	149 742
43 103	0	0 + 000	2 + 229	2230,0	4 155	9 265 650
43 103	0	4 + 170	4 + 987	817,0	1 445	1 180 565
43 104	0	0 + 000	0 + 500	500,0	1 290	645 000
43 113	0	0 + 000	0 + 293	293,0	1 071	313 803
43 303	0	0 + 000	0 + 213	213,0	537	114 381
43 304	0	0 + 000	0 + 975	975,0	2 004	1 953 900
43 304	0	0 + 975	0 + 1851	876,0	976	854 976
54 124	0	0 + 000	0 + 1352	1352,0	16 506	22 316 112
92 501	0	0 + 000	0 + 025	25,0	1 331	33 275
92 502	0	0 + 000	0 + 025	25,0	1 331	33 275
Összesen						640 796 899

3. táblázat: Példa egy jellemző – a kezelt úthossz – relatív nagyságrendi mutatójának kialakítására

Sorszám	Városnév	Önkormányzati	Országos	Kezelt utak	Relatív nagyságrend
		közutak			
		km			
1.	Budapest*	4289	0	4289	35,742
2.	Pécs	738	33	738	6,150
3.	Debrecen	566	30	566	4,717
4.	Miskolc	526	37	526	4,383
5.	Szeged	467	47	467	3,892
6.	Érd	395	4	395	3,292
7.	Kecskemét	392	26	392	3,267
8.	Győr	347	33	347	2,892
9.	Nyíregyháza	325	47	325	2,708
10.	Szolnok	314	23	314	2,617
11.	Székesfehérvár	309	30	309	2,575
12.	Szombathely	254	15	254	2,117
13.	Békéscsaba	235	20	235	1,958
14.	Tatabánya	234	7	234	1,950
15.	Hódmezővásárhely	197	18	197	1,642
16.	Kaposvár	190	23	190	1,583
17.	Veszprém	187	7	187	1,558
18.	Sopron	179	18	179	1,492
19.	Zalaegerszeg	159	31	159	1,325
20.	Nagykanizsa	141	25	141	1,175
21.	Eger	130	22	130	1,083
22.	Salgótarján	130	29	130	1,083
23.	Dunaújváros	126	2	126	1,050
24.	Szekszárd	120	5	120	1,000

* A kezelt úthossz a főváros esetében tartalmazza a területén lévő 291 km országos közút belterületi szakaszait is, míg a többi város esetében anélkül kerültek meghatározásra. Ennek oka, hogy az országos közutak a városok esetében állami kezelésben vannak, kivéve Budapestet, ahol ezen utak kezelése önkormányzati feladat!

$$K_{\text{mutató}} = 0,4 \times \text{forgalom} + 0,2 \times \text{úthossz} + 0,2 \times \text{buszutaskm} + 0,1 \times \text{lakos} + 0,05 \times \text{szgk} + 0,05 \times \text{tgk}$$

3. EREDMÉNYEK

A közúti közlekedése összevont statisztikai mutatóinak ($K_{\text{mutató}}$) városenkénti értékei a 4. táblázat szerintiek.

Megállapítható, hogy Budapest közúti közlekedése összevont statisztikai mutatója egyedül 1,25-ször nagyobb, mint az összes többi megyei jogú városé együttesen!

Lehet, hogy a fenti megállapítás elsőre meglepőnek, talán túlzottnak tűnik, de a főváros forgalmiteljesítmény-mutatója mintegy másfélszerese az összes többi város együttes forgalmiteljesítmény-muta-



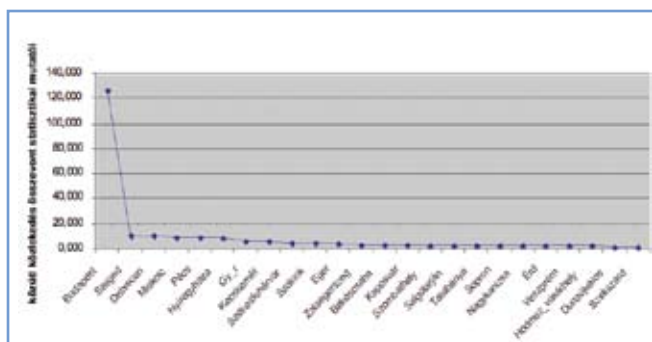
1. ábra: Szeged város térképe a forgalmiteljesítmény-mutató számításához

4. táblázat: A közúti közlekedés összevont statisztikai mutatóinak ($K_{mutató}$) városenkénti értékei

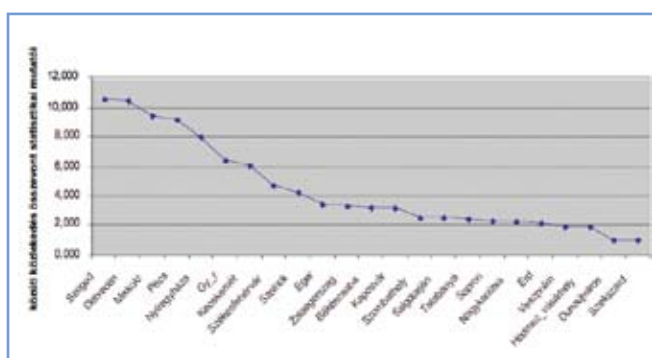
Sorszám	Városnév	Összevont relatív mutató
1.	Budapest	126,776
2.	Szeged	10,570
3.	Debrecen	10,515
4.	Miskolc	9,447
5.	Pécs	9,216
6.	Nyíregyháza	8,061
7.	Győr	6,412
8.	Kecskemét	6,070
9.	Székesfehérvár	4,717
10.	Szolnok	4,270
11.	Eger	3,437
12.	Zalaegerszeg	3,319
13.	Békéscsaba	3,265
14.	Kaposvár	3,185
15.	Szombathely	2,549
16.	Salgótarján	2,534
17.	Tatabánya	2,451
18.	Sopron	2,319
19.	Nagykanizsa	2,258
20.	Érd	2,120
21.	Veszprém	1,951
22.	Hódmezővásárhely	1,923
23.	Dunaújváros	1,047
24.	Szeksárd	1,025

tójának, az úthálózata azonos – az öt kiemelt város kivételével – az összes többi város úthálózatának összegével, a személygépkocsik, valamint a buszutaskm-teljesítmény relatív mutatója azonos a számításban szereplő összes többi város együttes mértékével.

Az $K_{mutató}$ városenkénti kimutatásában minél nagyobb ez a szám, annál nagyobb „problémája” van az adott városnak, akár a nagyobb



2. ábra: A közúti közlekedése összevont statisztikai mutatói ($K_{mutató}$) városenkénti értékeinek grafikus ábrázolása a fővárossal, illetve nélküle



3. ábra: A közúti közlekedés: összevont statisztikai mutatói ($K_{mutató}$) városenkénti értékeinek grafikus ábrázolása a főváros nélkül

úthálózata, akár a nagyobb forgalmi terhelése, akár a magasabb gépjárműszám, a nagyobb tömegközlekedési igény stb. következtében.

Az előbbi – táblázatos – eredményt grafikusán is bemutatjuk. Mivel a főváros mutatójának kiemelkedő abszolút mértéke következtében a többi város értékei Budapesttel együtt ábrázolva nem jól érzékelhetők (2. ábra), a 3. ábrán külön is bemutatjuk a többi várost a főváros nélkül.

Itt jegyezzük meg, hogy a tanulmány nem tartalmazott a feldolgozások alapján értékeléseket. Részben azért, mert ezt már nem tekintjük feladatnak, részben azért, mert indokoltnak érezzük, hogy előbb a szakmai közvélemény értékelje, kritizálja, esetleg kiegészítse, módosítsa a módszert. A következtetések, alkalmazások ezután következhetnek.

A feldolgozás során olyan áttekintő mátrix-táblázatot is készítettünk, mely az egyes városok abszolút $K_{mutató}$ -jának mindegyik másik városhoz való arányát mutatja, lehetővé téve azon célunkat, hogy a tanulmány a vizsgálatba bevont összes város értékelését – egymáshoz való összehasonlíthatóságukat – is szolgálja (5. táblázat).

4. BEFEJEZÉS, ÖSSZEFOGLALÁS

A nagyobb – városias – települések történetében az ún. urbanizációs fejlődésben négy szakaszt szokás megkülönböztetni:

- a városrobbanás
- a viszonylagos dekoncentráció
- a dezurbanizációs szakasz
- az informatika urbanizációs hatásai.

A viszonylagos dekoncentráció és a dezurbanizáció időszakait az elővárosi fejlődés, később a nem városias (rurális) gyűrű népes-

5. táblázat: A vizsgálatba bevont városok egymáshoz viszonyított „közúti közlekedés összevont statisztikai mutató”-inak mátrixa

Városnév	Budapest	Szeged	Debrecen	Miskolc	Pécs	Nyíregyháza	Győr	Kecskemét	Székesfehérvár	Szolnok	Eger	Zalaegerszeg	Békéscsaba	Kaposvár	Szombathely	Salgótarján	Tatabánya	Sopron	Nagykanizsa	Érd	Veszprém	Hódmezővásárhely	Dunaújváros	Szekszárd
Budapest	1,00	11,99	12,06	13,42	13,76	15,73	19,77	20,89	26,88	29,69	36,88	38,20	38,82	39,81	49,73	50,02	51,72	54,67	56,15	59,79	64,98	65,92	121,09	123,70
Szeged		1,00	1,01	1,12	1,15	1,31	1,65	1,74	2,24	2,48	3,08	3,18	3,24	3,32	4,15	4,17	4,31	4,56	4,68	4,99	5,42	5,50	10,10	10,31
Debrecen			1,00	1,11	1,14	1,30	1,64	1,73	2,23	2,46	3,06	3,17	3,22	3,30	4,13	4,15	4,29	4,53	4,66	4,96	5,39	5,47	10,04	10,26
Miskolc				1,00	1,03	1,17	1,47	1,56	2,00	2,21	2,75	2,85	2,89	2,97	3,71	3,73	3,85	4,07	4,18	4,46	4,84	4,91	9,02	9,22
Pécs					1,00	1,14	1,44	1,52	1,95	2,16	2,68	2,78	2,82	2,89	3,62	3,64	3,76	3,97	4,08	4,35	4,72	4,79	8,80	8,99
Nyíregyháza						1,00	1,26	1,33	1,71	1,89	2,35	2,43	2,47	2,53	3,16	3,18	3,29	3,48	3,57	3,80	4,13	4,19	7,70	7,87
Győr							1,00	1,06	1,36	1,50	1,87	1,93	1,96	2,01	2,52	2,53	2,62	2,76	2,84	3,02	3,29	3,33	6,12	6,26
Kecskemét								1,00	1,29	1,42	1,77	1,83	1,86	1,91	2,38	2,39	2,48	2,62	2,69	2,86	3,11	3,16	5,80	5,92
Székesfehérvár									1,00	1,10	1,37	1,42	1,44	1,48	1,85	1,86	1,92	2,03	2,09	2,22	2,42	2,45	4,51	4,60
Szolnok										1,00	1,24	1,29	1,31	1,34	1,68	1,68	1,74	1,84	1,89	2,01	2,19	2,22	4,08	4,17
Eger											1,00	1,04	1,05	1,08	1,35	1,36	1,40	1,48	1,52	1,62	1,76	1,79	3,28	3,35
Zalaegerszeg												1,00	1,02	1,04	1,30	1,31	1,35	1,43	1,47	1,57	1,70	1,73	3,17	3,24
Békéscsaba													1,00	1,03	1,28	1,29	1,33	1,41	1,45	1,54	1,67	1,70	3,12	3,19
Kaposvár														1,00	1,25	1,26	1,30	1,37	1,41	1,50	1,63	1,66	3,04	3,11
Szombathely															1,00	1,01	1,04	1,10	1,13	1,20	1,31	1,33	2,43	2,49
Salgótarján																1,00	1,03	1,09	1,12	1,20	1,30	1,32	2,42	2,47
Tatabánya																	1,00	1,06	1,09	1,16	1,26	1,27	2,34	2,39
Sopron																		1,00	1,03	1,09	1,19	1,21	2,22	2,26
Nagykanizsa																			1,00	1,06	1,16	1,17	2,16	2,20
Érd																				1,00	1,09	1,10	2,03	2,07
Veszprém																					1,00	1,01	1,86	1,90
Hódmezővásárhely																						1,00	1,84	1,88
Dunaújváros																							1,00	1,02
Szekszárd																								1,00

ségének növekedése jellemzi. A városfejlődés legutolsó szakaszára az informatika urbanizációja (nem termelő, szolgáltató szektor bővülése) és az idegenforgalom lesz jellemző. A nyugat-európai – fejlett gazdasággal rendelkező – országok fővárosai a negyedik szakaszban tartanak, míg a kelet-közép-európai fővárosokban keverednek az elővárosi gyűrű kibővülésének (dezurbanizációs szakasz) hatásai az informatikai korszak kezdeti jegeivel.

Az európai autósok a világon a legnagyobb mértékben adózott közlekedők. Megérdemlik a jó állapotú úthálózatokat. Az országos, a régiós és a helyi útügyi szervek kötelessége kidolgozni azokat a pénzügyi mechanizmusokat, amelyek segítségével az utak megfelelő fenntartását és hosszú távú használhatóságát biztosíthatják. A pénzügyi eszközök mértékének, valamint városokénti arányainak kialakításához módszerek, kapaszkodók szükségesek.

A tanulmány célkitűzése – megismételve –, hogy a főváros és a hazai megyei jogú városok közötti közlekedését – ezen városok úteljárására, forgalomra, népességre stb. vonatkozó, hozzáférhető adatai felhasználásával – egy összevont közúti közlekedési statisztikai mutatószám ($K_{mutató}$) előállításával jellemezzük. Ez a mutató továbbá kapcsolatba hozható az érintett város útfelújítási, bővítési forrásigényének mértékével. A képzett mutató jelentősége még abban is áll, hogy ennek alapján következtetések levonására, összehasonlításokra nyílik lehetőség.

Ismereteink szerint a $K_{mutató}$ -hoz hasonló „mutató” sem hazánkban, sem külföldön nem készült. Kétségtelen, hogy az előállítása nem olyan objektív, mint valamely fizikai teljesítmény mérése, értékelése. Ezért az egyes jellemzők súlyozásánál az ún. „expert-system” módszerét követtük. A cikk elején feltüntetett közlekedési szakemberek nem kifogásolták véleményükben azoknak a közúti forgalommal kapcsolatos jellemzőknek a használatát, melyek egyrészt előállíthatók, rendelkezésre állnak, másrészt közvetlen kapcsolatosak a közúti közlekedés statisztikai mutatójával ($K_{mutató}$). Ugyancsak egyetértettek azzal, miszerint ezeket a jellemzőket egyenként összehasonlítva, köztük nagyságrendi kapcsolatokat létesítve, majd a jellemzőként így előállított mértékeket a bemutatott „szubjektív” súlyok használatával összevonva kerüljenek előállításra az egyes városokra vonatkozó – relatív nagyságú, egymáshoz viszonyított – közúti forgalmat jellemző összevont statisztikai mutatók.

Mint már említettük, a tanulmányt – éppen újszerűsége következtében – bíráltnak is ki lehet tenni. Így például lehet azt állítani, hogy a tanulmány túlzottan fővároscentrikus. Véleményünk szerint a fővárosi közlekedés helyzetének megítélése a többi hazai nagyvároséhoz képest nem arányos, de végül az objektív – mennyiségi, terjedelmi – adatokat használó tanulmányunk a valós, összehasonlítható, számszerűsített mutatókkal azt – remélhetőleg – alá is támasztotta.

Megemlíthető, hogy Budapestet elsősorban nem a nagyságrendileg kisebb hazai városokkal, hanem a hasonló nagyságú európai városokkal kellene összehasonlítani. A véleményel egyetértünk, ezt a célt szolgálta – legalább részben – a tanulmány I. fejezete. Az ott hivatkozott Urban Audit bár több szempont szerint, de külön-külön, jellemzőnként, tehát sorolásra nem alkalmas módon hasonlítja össze a vizsgálatba bevont 258 európai várost. A jelen

tanulmányunk célja viszont csak a hazai városokra kiterjedő, a közúti közlekedést jellemző, összevont – az összehasonlításokat lehetővé tevő – statisztikai mutató előállítása volt.

A bírálatok között szóba jöhet, hogy a felhasznált adatok csak mennyiségi adatok, minőségi adatok nem kerültek felhasználásra. Ennek elsődleges oka, hogy ilyen adatok a vizsgálatba bevont városok mindegyikére nem állnak rendelkezésre (pl. eljutási idő, torlódások, útállapotok stb.) A közúti közlekedés minőségére vonatkozó összehasonlító elemzés egy másik tanulmány tárgya lehet, melyet pótolni is kellene.

A bemutatott tanulmány nehézségének és újszerűségének jellemzésére utalunk a Sarkozy francia elnök által kezdeményezett vizsgálatra, mely a GDP-t helyettesítő, a nemzetek fejlődését hitelen bemutató összevont mutatószám kidolgozására vonatkozik. A feladattal a Joseph Stiglitz Nobel-díjas közgazdász által vezetett bizottságot bízták meg. A fejlődés kifejezésének – a vizsgálatról eddig rendelkezésre álló információk alapján – két oldala van: az emberek „jólléte”, valamint a környezet állapota. A vizsgálatba bevont néhány szempont a „jóllét” kifejezésére: fogyasztás, vagyon, egészségi állapot, oktatási helyzet, munkalehetőségek minősége, lakhatási lehetőség, bűnözés alakulása, politikai szabadságjogok stb. A környezet állapotát jellemző néhány mutató: jövőképpel rendelkező, világos értékrendű, fejlődés- és nem növekedés-központú kormány, az erőforrásokkal – levegő, víz, ásványkincsek stb.– való gondos gazdálkodás, a tudásszint folyamatos emelése, az intézményrendszer működésének javítása, a korrupció visszaszorítása, az eladósodottság felszámolása. Kérdés, hogy a vizsgálat hogyan fogja ezeket a szempontokat számszakilag kifejezni, ezek országokként rendelkezésre fognak-e állni, valamint hogyan lesznek ezek a mutatók aggregálva, összevonva vagy más szóval súlyozva.

A címben hivatkozott, röviden bemutatott tanulmány valóban csak a kezdet lehet: ez a hiánypótló munka folytatható akár a jelen vizsgálat időszakonkénti elvégzésével – vagyis idősor előállításával –, akár a hazai városok közötti közlekedése minőségét jellemző összevont mutatóinak előállításával, akár a csak Budapestre vonatkozó nemzetközi összehasonlítás elvégzésével.

SUMMARY

A SUMMARIZED STATISTICAL INDEX OF SURFACE-TRAFFIC FOR BUDAPEST AND 23 OTHER HUNGARIAN CITIES

The study was made by Eurout Ltd involving the proposals and opinions of numerous well-known experts. The study in our knowledge has not got any international and national precedents, because there never was ambition or demand to express with one statistical-number the surface-traffic and to make it comparable. Besides being without precedents the difficulty of the study was to get comparable, relatively up-to date, usable data. As a result the study with expert-system could express and compare the „quality” of surface-traffic of Budapest and 23 biggest cities with one summarized number.

A DIRECT-MAT PROJEKT AZ ÚTÉPÍTÉSI ANYAGOK ÚJRAFELHASZNÁLÁSÁNAK EURÓPAI KÖRKÉPE

DR. HABIL GÁSPÁR LÁSZLÓ¹

1. ELŐZMÉNYEK

Közismerten az Európai Unió országaiban (is) a közúthálózaton bonyolódik le az áru- és a személyszállítás nagyobb része [1]. Döntő jelentősége van a hálózat megfelelő állapotának, amelyet az időben végrehajtott, szakszerű útfenntartás és -felújítás biztosíthat. Az állapotjavító beavatkozások egyik fontos eleme a régi pályaszerkezet bontása, amely „hulladékanyagot”, mellékterméket hoz létre. Az Európai Unión belül az évenként keletkező, 510 millió tonnányi építési törmelék jelentős része közúton történő bontásból származik [2]. Ugyanakkor az útfenntartási tevékenység az évente előállított, 2,7 milliárd tonnányi természetes adalékanyag jelentős hányadát hasznosítja [3].

A közúthálózat jó minősége ugyan az elsődleges cél, de az azzal kapcsolatosan felmerülő költségek korlátozása is nyilvánvalóan központi kérdés, a közúti megbízóknak minden országban takarékoskodniuk kell. A minőség/költség arány és a környezetbarát útfenntartási technológiák egyidejű optimalálására van szükség. Ennek biztosítása érdekében a primer nyersanyagok felhasználási arányának csökkentése a rendelkezésre álló közúti hulladékanyagok javára hatékony eszköz, ami egyébként az Európai Közösség fő célkitűzéseivel is tökéletes összhangban van [4], amely szerint „azt kell biztosítani, hogy a megújuló és a nem megújuló erőforrások felhasználása a környezet teherbíró képességét ne haladja meg: az erőforrások fokozott felhasználási hatékonyságát és a hulladékanyagok csökkentését el kell érni. A végleges tárolásra kerülő hulladékok mennyiségét 2010-re 20%-kal, míg 2050-re 50%-kal szándékozzuk mérsékelni”.

Az elmúlt években számos európai ország készített az útpályaszerkezetek és a földművek bontásának és utógazdálkodásának tárgyában nemzeti stratégiát. Ezen kívül az Európai Unió Kutatási és Technológiafejlesztési Keretprogramjai által finanszírozott Alt_Mat [5], és Samaris projekt [6] is széles körben

hasznosítható ajánlásokat készített az újrahasznosított útépítési anyagok mechanikai és környezeti tulajdonságai tekintetében. Jelenleg művelik – a cikk fő témáját képező Direct-Mat-tal [7] párhuzamosan – a Re-Road projektet [8], amely az aszfaltanyagok újrahasznosítása tekintetében kíván új eredményekre jutni. Mindezek a dokumentumok hangsúlyozzák annak a szükségességét, hogy a klasszikus mérnöki közelítésen túlmenően, szükség van a környezetvédelmi, a biztonsági és az egészségügyi szempontok messzemenő figyelembevételére is. Hangsúlyozzák ezen kívül a globális, fenntartható fejlődés előnyeit, amikor az újrahasznosíthatóságot, valamint a helyi, a gazdasági és egyéb, speciális szempontokat egységes egésznek tekintik.

Az útépítési anyagok újrahasznosítása tekintetében elért komoly eredmény, hogy az Európai Unió országaiban a bontott aszfalt több mint felét már ismételten hasznosítják [9]. Az egyes államok gyakorlata azonban meglehetősen eltérő, így például a gumiabroncs kötőanyag-adalékszerként vagy könnyű adalékanyagként történő hasznosítása tekintetében is [10].

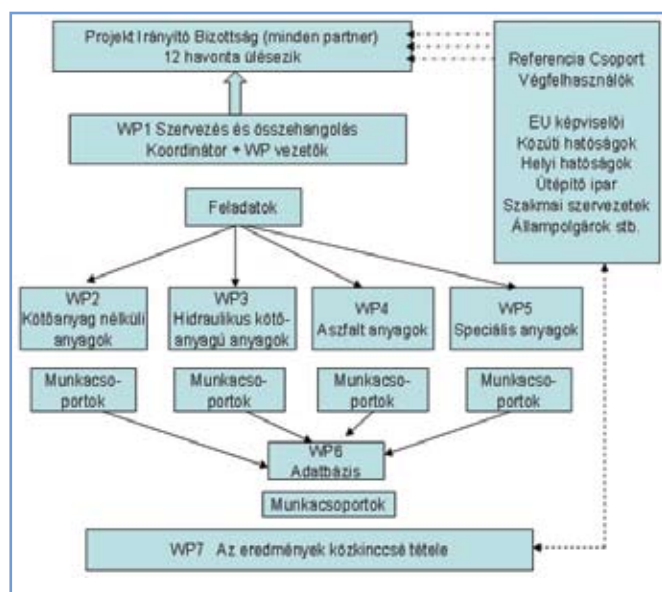
Az útépítési anyagok újrahasznosítási arányának elősegítésére egyes országokban, például Dániában, olyan honlapot létesítettek, amely az újrafelhasználási gyakorlatokra vonatkozó adatokat tartalmazza [11, 12]. Franciaországban szintén honlapot hoztak létre [13], amely az útépítőket arra ösztönzi, hogy a helyi anyagokat a közúti infrastruktúra-projektekben újrahasznosítsák, emellett azonban a környezeti és a geotechnikai akadályokra (nehézségekre) is rámutatnak.

Az útépítési anyagok újrahasznosítása tárgyában az egyes európai országokban már sok kutatási eredményt értek el, de azok széles körű gyakorlati alkalmazására csak ritkán kerül sor. Az egyes államok közötti tapasztalatcsere előnyeit kevészer hasznosítják. Ezt felismerve került sor a Direct-Mat projekt konzorciumának megalakulására, amely azt a célt tűzte ki, hogy az európai országok

1. táblázat: A Direct-Mat projekt munkabizottságai

Munkabizottság száma	Tárgya	Vezetője
1.	Irányítás, szervezés	Descantes (F)
2.	Kötőanyag nélküli anyagok	Pihl (DK)
3.	Hidraulikus kötőanyagú rétegek	Gáspár (HU)
4.	Aszfaltrétegek	Möllenhauer (D)
5.	Speciális anyagok	De Bock (B)
6.	Adatbázis	Gobert (F)
7.	Eredmények közkinccsé tétele	Arm (S)

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



1. ábra: A Direct-Mat projekt felépítése

között – gazdaságuk és környezetük érdekeit szem előtt tartva – az újrafelhasználás témakörében a tagországok tapasztalatait közkinccsé tegyék, hangsúlyozottan gondolva az új EU-tagországok ez irányú, viszonylagos elmaradottságára.

A sikeres pályázatot követően, a hároméves Direct-Mat program az Európai Unió 7. Kutatási és Technológiafejlesztési Keretprogramjához kapcsolódóan, 2009. január 1-jén kezdődött [7]. Ennek az ún. Koordinációs Akciónak a célkitűzéseiről, felépítéséről és első eredményeiről a következőkben számolok be.

A Direct-Mat projekt azt tűzte ki céljává, hogy a közúti szervezetek, valamint különböző útelemelek bontásából származó anyagoknak új pályaszerkezetek, illetve földmű készítésekor való hasznosításával kapcsolatos európai gyakorlatról tájékozódják, és a tárgyban sikeres gyakorlatot bemutató útmutatót (Best Practice Guide) készítsen. A 15 európai ország szakembereiből álló konzorciumot a francia Descantes vezeti, és az 1. táblázatban bemutatott munkabizottságok (Work Package) alkotják.

2. A PROJEKT CÉLKITŰZÉSE ÉS FELÉPÍTÉSE

A 2011 végére befejeződő projekt olyan európai webes adatbázist szándékozik létrehozni, amely az érdeklődők és a felhasználók számára szabad hozzáférést biztosít, valamint az utépítési anyagok bontása és utügyi célokra történő újrahasonosítása tárgyú, sikeresnek bizonyult gyakorlatot bemutató útmutatót is elkészíti. A témaművelők reményei szerint az adatbázis az újrahasonosított anyagok utügyi hasznosításának növekedéséhez hozzájárul. Emellett azt is célul tűzik ki, hogy a témakörben (is) tevékenykedő CEN műszaki bizottságok szabványosítási munkájához is segítséget nyújtsanak.

A 2–5. munkabizottságok az utépítési anyagok teljes spektrumát fedik le, amennyiben kötőanyag nélküli, hidraulikus kötőanyagú, termoplasztikus (bitumen) kötőanyagú és speciális anyagokkal foglalkoznak.

A témaművelés első fázisában olyan kérdőív készült, amely az egyes résztvevő országoktól az utépítési anyagok bontásával és újrahasonosításával kapcsolatos szabályozásukról, gyakorlatukról és tapasztalataikról tájékozódott. Ennek alapján ún. nemzeti jelentések készültek, a munkabizottságok (1. táblázat) szerinti bontásban. A következő feladat a nemzeti gyakorlatok benchmarkingja volt. Ennek a tevékenységnek első lépéseként az egyes nemzeti jelentéseket értékelően összefoglalták, ún. Synthesis Report-okban, hogy a későbbiek során a Best Practice Guide elkészülhessen. A következőkben a legnagyobb információmentységre támaszkodó, a 4. munkabizottság tevékenységként az aszfaltanyagokról készített Synthesis Report – összegző jelentés – egyes megállapításait foglaljuk össze.

Az 1. ábra a három évesre tervezett projektművelési időszak alatt művelendő, egymáshoz kapcsolódó tevékenységeket szemlélteti.

3. ÖSSZEGEZŐ JELENTÉS AZ ASZFALTANYAGOK EURÓPAI ÚJRAFELHASZNÁLÁSÁRÓL

A Synthesis Report [14] a következő országok tárgyban készült nemzeti jelentéseinek alapul: Belgium, Dánia, Franciaország, Németország, Magyarország, Írország, Lengyelország, Portugália, Szerbia, Szlovénia, Spanyolország és Svédország. Az Összegező jelentés az alábbi két témával foglalkozott:

- üzemi élettartamuk végén az aszfaltrétegek felbontása,
- újrahasonosított utépítési anyagok alkalmazása új aszfaltrétegekben.

2. táblázat: Ajánlott aszfaltréteg-bontási technológiák

Ország	Ajánlott vagy általánosan alkalmazott bontási technológia				Ajánlott utólagos kezelési és tárolási technológia		
	Rétegenkénti marás	Marás	Repszítés	Burkolatjel előzetes eltávolítása	Zúzás	Homogenizálás	Jellemzők/eredet szerinti tárolás
Belgium	+	+	+		+	+	+
Németország	+			+	+	+	+
Magyarország		+			+		+
Írország	+	+	+		+	+	
Lengyelország	+						
Szerbia	+		+				
Szlovénia	+	+		+	+	+	+
Spanyolország		+			+	+	+
Svédország	+			+	+	+	+

3. táblázat: Bontott útépitési anyagok alkalmazhatósága új aszfaltrétegekben

Ország	Bontott, kötőanyag nélküli anyag	Bontott, hidraulikus kötőanyagú réteg	Mart aszfalt
Belgium			+
Dánia	+		+
Franciaország			+
Németország	+	+	+
Magyarország			+
Írország			+
Lengyelország	+	+	+
Portugália			+
Szerbia	-	-	-
Szlovénia	+	+	+
Spanyolország			+
Svédország			+

Jelmagyarázat:

+ alkalmazható (megfelelő szabályok betartása mellett)

- alkalmazása nem megengedett

2008-ban Európában mintegy 333 millió tonna aszfaltkeveréket gyártottak, ugyanakkor 51 millió tonnányira tehető a bontott aszfaltok mennyisége. Az aszfalt újrahasznosítására különböző – forró, meleg vagy hideg – helyszíni és keverőtelepi eljárások terjedtek el.

Az aszfaltrétegek bontására a marást vagy pedig a repesztés utáni eltávolítást alkalmazzák széleskörűen.

Egyes európai országok különböző technikákkal és eltérő célokra használják fel újra az útépitésben a mart aszfaltot. A legnagyobb eltérés közöttük abban van, hogy az aszfalttörmelékét elsősorban kötőanyag nélküli pályaszerkezeti rétegek vagy pedig új aszfaltrétegek építéséhez hasznosítják-e.

A mart aszfaltot új pályaszerkezeti rétegekben szemcsés formában lehet újrahasznosítani. A jövőbeli felhasználás területe határozza meg a megengedhető szemcse nagyságot. Maráskor a maróberendezést és a marási sebességet úgy kell kiválasztani, hogy a szükséges szemmegoszlás elérhető legyen. A mart aszfalt minőségének javulását szolgálja, ha a marás megkezdése előtt a burkolatjelek anyagát eltávolítják.

A repesztés után történő burkolatbontás olyan nagy darabokban távolítja el az aszfaltréteget, hogy az anyag utólagos törése elkerülhetetlen, de gyakran homogenizálásra is szükség van, ha egyszerre több réteget bontottak fel. Egyes országok az aszfaltok bontási technológiájához hivatalos ajánlásokat készítettek. A 2. táblázat ezeket az ajánlott aszfaltréteg-bontási technológiákat szemlélteti.

Egyes vizsgált országokban különböző bontott útépitési anyagokban az új aszfaltrétegek építésében történő felhasználásra vonatkozóan ajánlások készültek, illetve előírások vannak érvényben. A 3. táblázat azt mutatja be, hogy ezek az országok milyen bontott útépitési anyagokat engednek meg, illetve szabályoznak az új aszfaltrétegekben. Vannak olyan országok, ahol a bontott anyagokat is tartalmazó aszfaltkeveréket teljes mértékben egyenértékűnek tartják azokkal, amelyek kizárólag primer anyagokból

készülnek. Így az előbbieket akár nagy forgalmú utak pályaszerkezeti rétegeibe is alkalmazhatónak tekintik. Abban a tekintetben azonban általában felső korlátot szabnak, hogy forgalmi terheléstől függően az adott pályaszerkezet rétegeiben mekkora lehet a bontott anyag aránya.

Az aszfaltkeverő telep típusától függően, az újrahasznosított aszfaltkeverék beadagolására különböző műszaki megoldások jönnek számításba:

- folytonos üzemelésű aszfaltkeverő telepek:
 - a tört aszfalt és a forró keverék kőfrakciójának együtt történő melegítése
 - a tört aszfaltnak külön berendezésben (ún. fekete dobban) történő melegítése,
- hagyományos, adagos keverőtelepek:
 - a tört aszfaltnak és a forró keverék kőfrakciójának közvetett módon történő felmelegítése (adagonként történő hozzáadás)
 - a tört aszfaltnak és a forró keverék kőfrakciójával közvetett módon történő felmelegítése (folyamatos adagolás)
 - a tört aszfaltnak a forró keverék kőfrakciójával együtt történő melegítése
 - a tört aszfaltnak és a forró keverék kőfrakciójának külön-külön történő melegítése (párhuzamos dobok).

A bontott, kötőanyag nélküli útépitési anyagoknak az új aszfaltkeverékekben történő újrahasznosítására egyetlen megkérdezett országban sincsen külön szabályozás. Ez a technológia sehol sem tekinthető gyakorinak. Dániában és Németországban minden aszfaltrétegben szóba jöhet alkalmazása, ha a tört anyagnak a természetes adalékanyaggal megegyező tulajdonságait igazolták. Szlovéniában csupán az aszfalt anyagú alaprétegekben történő felhasználás megengedett.

A hidraulikus kötőanyagú pályaszerkezeti rétegek bontásából származó anyagok új aszfaltrétegekben történő hasznosítását a kérdésre választ adó országok zöme nem zárja ki, de a tört anyagnak a természetes adalékanyaggal megegyező műszaki és környezetvédelmi jellemzőit feltételként támasztja. Német-

4. táblázat: A tört aszfalt egyes tulajdonságainak inhomogenitására vonatkozó határértékek

Ország	Szemmegoszlás			Kötőanyag-tartalom, %	Penetrációs érték, 0,1 mm	Lágyuláspont, °C
	T	H	K			
	%					
Belgium	± 3		± 10	± 1	± 10	± 10
Németország	x	x	x	x		x
Lengyelország	x	x	x	x		x
Portugália	± 1,5	± 3	± 5	± 0,4	± 4	
Spanyolország	± 1,5	± 3	± 5	± 0,4	± 4	

Jelmagyarázat:

T, % – töltőanyag-tartalom

H, % – homoktartalom

K, % – kőanyag-tartalom

X – létezik szabályozás

országban és Szlovéniában azonban a recycling lehetőségét az aszfalt anyagú alaprétegekre korlátozzák.

A tört aszfalt új aszfaltkeverékben történő újrahasznosítása mind a 12 választ adó európai országban általános gyakorlatnak számít. Az ezzel kapcsolatos szabályozások azonban meglehetősen vegyes képet mutatnak. A tört anyag újrafelhasználhatósága általában a következő jellemzők vizsgálata után dönthető el:

- tört aszfalt: legnagyobb szemcsenagyság, kötőanyag-tartalom, legnagyobb térfogatsűrűség, idegenanyag-tartalom
- a tört aszfalt visszanyert kőanyaga: adalékanyag típusa, szemmegoszlás, szemalak index, zúzott felület aránya, Los Angeles-érték, polírozott kő érték, vízfelvétel, fagyással és felengedéssel szembeni ellenállás (többek között NaCl-oldatban),
- visszanyert kötőanyag: típusa, gyűrűs-golyós lágyuláspont, penetrációs érték, viszkozitás.

A tört aszfalt homogenitása a legfontosabb tényező annak megállapításában, hogy az legfeljebb milyen százalékos arányban adagolható az új aszfaltkeverékhez. Több ország a bontott anyag inhomogenitása tekintetében a 4. táblázatban közölt határértékeket állapította meg.

A következő fontos kérdés annak a maximális adagolási arányának a szabályozása, amelyet az egyes országokban – a keverőtelep típusa és a tört aszfalt melegítési technológiája függvényében – az új aszfaltkeverékek készítésekor határként megszabnak. Az európai szintű felmérés főbb eredményei a következők:

- a folytonos üzemű vagy az adagos keverőkben 25–40%-nyi tört aszfalt felhasználást engedélyeznek, ha a tört aszfaltot a forró aszfalt kőanyagával együtt melegítik
- ha a tört aszfaltot adagos keverőben, a forró aszfaltkőanyaggal együtt, közvetett módon melegítik, akkor 10–30%-nál több aszfalt-újrafelhasználást nem engedélyeznek
- ha pedig, bármilyen üzemű aszfaltkeverőben, a tört aszfaltot külön berendezésben melegítik fel, akkor 50–100%-nyi a recycling megengedett aránya.

Általában az is jellemző, hogy a pályaszerkezet felső rétegeiben szigorúbb az adagolási előírás, így

- kopórétegben 0–30%-ot engedélyeznek (egyedül Németországban szabad 50%-os arányig eljutni)
- kötőrétegben 10–50%-os a maximális adagolási arány,
- alaprétegben 30–100%-ot is elérhet a tört aszfalt új aszfaltkeverékben levő aránya (100% Dániában és Németországban jöhet számításba).

A kétféle tulajdonságú aszfalt együttes adagolásából létrejövő keverék kötőanyagának penetrációs értékét, gyűrűs-golyós lágyuláspontját, valamint viszkozitását és komplex modulusát egyszerű algoritmusok alkalmazásával becsülik előre.

A hideg és a meleg (nem forró!) aszfaltkeverési technológiák alkalmazása esetében is szóba jöhet tört aszfalt újrahasznosítása. Az ezzel kapcsolatos európai gyakorlatról az 5. táblázat nyújt rövid tájékoztatást.

Ezek a technológiák akár 100%-os újrafelhasználási arányt is megengednek, de a tört aszfalt alkalmazását csupán kis forgalmi terhelésű utakra korlátozzák.

A helyszíni recycling tekintetében a megkérdezett európai országok a következő technológiákról számoltak be:

- meleg helyszíni újrafelhasználás:
 - újraburkolás (felmelegítés, lemarás, szintkiegyenlítés és új aszfaltréteg ráterítése),
 - meleg remix (felmelegítés, lemarás, a lemarat anyag új aszfaltkeverékkel történő együttes keverése, egy réteggént történő elterítése; egy vagy két berendezéssel végezhető),
 - Remix Plus (az előbbi két eljárás kombinálása),
- hideg helyszíni újrafelhasználás:
 - stabilizáció (mart aszfalt + bitumenemulzió vagy habosított bitumen alsó alaprétegbe történő beépítése),
 - hideg remix (mart aszfalt bitumenemulzióval, modifikált bitumenemulzióval, portland cementtel vagy bitumenemulzióval + portland cementtel, illetve természetes adalékanyaggal vagy keverékkel történő összekeverése, elterítés előtt),
 - „mély marás” (az aszfaltrétegek akár 0,5 m-es mélységig történő lemarása, kötőanyag hozzáadása nélkül, alapréteggént történő elterítése).

4. ÖSSZEGZŐ JELENTÉS A HIDRAULIKUS KÖTÉSŰ ANYAGOK EURÓPAI ÚJRAFELHASZNÁLÁSÁRÓL

Az ezzel foglalkozó Synthesis Report [15] a következő országok tárgyban készült nemzeti jelentéseinek alapul: Ausztria, Belgium, Cseh Köztársaság, Dánia, Franciaország, Magyarország, Szlovénia és Svédország. Az Összegző jelentés főleg a témához kapcsolódó törvényeken, szabályozásokon, ajánlásokon, irányelveken és publikációkon alapul, de az egyes országok szakembereivel folytatott interjúk eredményeit is hasznosítja.

5. táblázat: Tört aszfalt (RA) felhasználhatósága hideg és meleg aszfaltkeverési technológiákban

Ország	RA + adalékanyag + emulzió	RA + adalékanyag + habosított bitumen	RA + adalékanyag + emulzió + cement	Melegaszfaltkeverő telepen RA
Dánia	+			
Franciaország	+			+
Németország	+	+	+	+
Írország	+	+		
Portugália	+			+
Szlovénia				+
Spanyolország	+			
Svédország	+	+	+	+

Ausztriában 1904 óta, Dániában 1923 óta, Magyarországon 1927 óta, míg a Cseh Köztársaságban 1930 óta építenek betonburkolatot. A hidraulikus kötőanyagú pályaszerkezeti rétegek anyagának újrafelhasználása az 1980-as évek második felében kezdődött el az említett országokban. Jelenleg csak Ausztria, Belgium és a Cseh Köztársaság jelezte, hogy általános gyakorlat a tört betonok vagy cementstabilizációs rétegek új pályaszerkezeti rétegben történő újrahasznosítása.

Ausztriában, Dániában, Szlovákiában és Svédországban a bontott hidraulikus kötőanyagú anyagok deponálásáért jelentős mértékű adót kell fizetni. Ehhez Svédországban még az is társul, hogy a természetes kavicsnak a felhasználását 1997 óta külön adó sújtja. Szlovéniában speciális tanfolyamokat szerveznek a hatékony és gazdaságos újrahasznosítási technológiák széles körben történő megismertetése érdekében. Mindezek a természetes erőforrásokkal való fokozott mértékű takarékoskodás és az energiaigény csökkentése irányában hatnak.

A hidraulikus kötőanyagú pályaszerkezeti rétegek (leggyakrabban betonburkolatok) bontására legerjedtebb az a megoldás, amikor a réteget „guillotine” típusú készülékkel vagy ráejtett gölyóval törik össze, majd eltávolítják, hogy központi tárolóhelyre vagy keverőtelepre szállítsák. Az esetleges újrahasznosítás előtt Belgiumban a korábbi tervek és vizsgálati eredmények átvizsgálását, georadarral történő mérést és a magminták laboratóriumi vizsgálatát javasolják. Ausztriában a tört betont zúzzák, szitálják, mossák és a következő frakciókban tárolják: 0/4, 4/16 és 16/32 mm. A bontási és a kezelési műveletek során hangsúlyozottan törekedni kell a szennyeződésektől való mentességre.

Kötőanyag nélküli rétegek bontásából származó anyagok új, hidraulikus kötőanyagú keverékekben történő alkalmazása Belgiumban, Ausztriában és a Cseh Köztársaságban elterjedt. A tört anyaggal szemben támasztott követelmények, természetesen, az út típusától (forgalmi terhelésétől) és a szóban forgó réteg pályaszerkezeten belül elfoglalt helyétől nagy mértékben függenek.

A hidraulikus kötőanyagú rétegekből származó, tört anyagokat általában felhasználhatónak tartják új – szintén hidraulikus kötőanyagú – pályaszerkezeti rétegek építéséhez. Ebben a tekintetben kivételt képez Belgium, ahol az új betonburkolatok adalékanyagának tört beton vagy más hidraulikus kötőanyagú réteg nem képezheti részét. Ausztriában a tört beton alsó betonrétegek részét képezheti, ha az előbbi a következő feltételeket kielégíti:

- a régi betonnak faggal és olvasztó vegyszerekkel szemben ellenállónak kell lennie,
- legfeljebb 20%-nyi bitumenes kötőanyagú anyagot tartalmazhat,

– a 4 mm-esnél durvább részének alkáli-szilika reakcióra történő vizsgálata megnyugtató eredményt szolgáltatott.

A Cseh Köztársaságban a bontott anyagok az újrahasznosítás előtt a klorid-tartalmát, a vízben oldható szulfát-tartalmát és az alkáli reaktivitását ellenőrizni kell.

Magyarországon műszaki irányelvek foglalkoznak a bontott, hidraulikus kötőanyagú anyagoknak – bár nem elsősorban utépítési – betonkeverékben történő alkalmazására vonatkozó feltételekkel [16]. A dokumentum követelményeket, tartóssági jellemzőket, alkalmazási javaslatokat és vizsgálati módszereket is tartalmaz. Az adalékanyagokat a következő, szabványos jellemzői alapján sorolják osztályokba: tömörség, vízfelvétel, látszólagos viszkozitás, szemcse nagyság, szemeloszlás, a vízben oldható szulfátok mennyisége, klorid-tartalom, fagyállóság és olvasztószerekkel szemben tanúsított ellenállás. A fizikai tulajdonságok közül a Los Angeles-érték, a Micro Deval-érték és a nyomószilárdság játszik kiemelt szerepet. Mindezek ismeretében lehet dönteni arról, hogy a tört anyag a kívánt célra újrahasznosítható-e.

A Cseh Köztársaságban folytatott kutatási munka eredményei rámutattak, hogy újrahasznosított adalékanyag felhasználása a betontulajdonságokat a következőképpen változtatja meg:

- hatással van a betonkeverék konzisztenciájára (többlet vízáradási igénytel)
- a beton sűrűsége csökken,
- a beton nyomószilárdsága 10–15%-kal csökken,
- a rugalmassági modulusa 15–20%-kal kisebb lesz,
- a kúszás értéke akár 50%-kal is megnövekedhet,
- a zsugorodás mértéke 20–40%-kal nagyobbá válik.

Ausztriában a tört beton 4 mm-es szemnagyság alatti finom részét az alsó alapréteg stabilitásának növekedésére használják, míg a 4/32 mm-es, durva frakció új alaprétegek adalékanyagaként szolgál.

Belgiumban kísérleti szakaszt építettek 6,3/20 és 20/32 mm-es szemnagyságú, tört beton frakciók új alaprétegekben történő alkalmazhatóságának vizsgálatára. Az eredmények kedvezőek, hasonlóan viselkedik a réteg, mint a kizárólag természetes adalékanyaggal épült referenciaszakasz.

Dániában és Svédországban a régi betonburkolatot guillotine-szerű készülékkel, 1 m-enként elrepszik, majd 10 cm-es vastagságú aszfaltburkolatot terítenek rá. Tapasztalatuk szerint, ez a szerkezet hosszú ideig reflexiók repedéstől mentes lesz.

Belgiumban tervezési nehézségnek találták, hogy az újrahasznosított adalékanyagok nem pontosan ismert vízfelvétele miatt, a

keverék optimális vízadagolását nem könnyű megállapítani. Azt is tapasztalták, hogy az adalékanyagok újrafelhasználásának az egyik következménye, hogy a megfelelő bedolgozhatóság biztosítása a megszabottnál több nedvességet igényel, ami pedig a beton minőségére hátrányos következményekkel jár.

Osztrák, belga és cseh szabályozások a tört aszfaltnak új hidraulikus kötőanyagú út-pályaszerkezeti rétegek építésekor történő hasznosítását lehetővé teszik. Belgiumban általános gyakorlatnak számít, hogy a tört aszfaltnak homokot, cementet és vizet is adnak. A helyszíni újrafelhasználáskor esetenként szükség van a szemeloszlás javítására vagy pedig az alapréteg vastagságának növelésére. Ilyenkor mindig aszfaltburkolat is kerül a javított alaprétegre.

A cseh CSN 736114 szabvány szerint, újrahasznosított adalékanyagot tartalmazó keverékek alapréteggként vagy kötőréteggként, cementtel vagy cementtel + bitumenemulzióval keverve, használhatók.

Belgiumban a kátránytartalmú, bontott aszfaltok csak hidegen használhatók újra. A cseh előírások a kátránytartalmú keverékeket különleges kezelés után tekintik felhasználhatónak.

Ausztriában a tört aszfaltot hasznosító, új, hidraulikus kötőanyagú rétegek összetételének tervezéséhez nincsen külön előírás, csupán az a szabály, hogy nagyobb aszfaltadagolási arány esetében a víz/cement tényezőt csökkenteni kell.

Belga előírások szerint a tört aszfalt alsó alapréteggként használható, ha azt cementtel és legalább 15%-nyi homokkal keverik.

Ausztriában 20%-os aszfalttartalomig a „hagyományos” pályaszerkezet-méretezésre van szükség. Egy 1997-ben épített kísérleti szakaszon – ahol a betonburkolat 35%-nyi aszfalttörmelék tartalmazott a 4/32 mm-es frakcióban, és a V/C-tényezője 0,38-at tett ki – ez semmilyen kivitelezési problémát nem okozott, és azóta is kedvező a teljesítménye. Érdekes megfigyelésük, hogy 4%-os aszfaltadagolásnál a beton húzó-hajlító és nyomószilárdsága kedvezőbbnek mutatkozott, mint a csupán természetes adalékanyaggal készült referenciaszakaszé.

Belgiumban kedvező eredményeket kaptak 80-90%-nyi tört aszfalttal és 3-7%-nyi cementtel készült alsó alapréteggel. A hosszú távú állapotmegfigyelés kedvező eredményeket szolgáltatott.

5. A DIRECT-MAT PROJEKT TOVÁBBI MUNKABIZOTTSÁGAINAK FELADATA

A WP5 Egyéb, az útépitésben nem elterjedten alkalmazott anyagok munkabizottság célkitűzéseit a következőkben lehet összefoglalni:

- az útfenntartás és az élettartam végi felújítás során keletkező speciális hulladékanyagok fenntartható módon történő kezelésének elősegítése,
- a gumiabroncs-törmelék útépitési hasznosításának elősegítése, bemutató annak előnyeit,
- a bontási, a deponálási és az újrahasznosítási folyamatnak a természetre és az emberi egészségre gyakorolt, kedvezőtlen környezeti hatásainak korlátozása,
- amennyiben környezeti és egészségügyi okok miatt a mérgező anyagok újrahasznosítása végképp nem lehetséges, ezen anyagok biztonságos deponálásának megoldása.

A WP6 Web-adatbázis munkabizottság fő célkitűzését a különböző útépitési anyagok bontásának és új útépitéseknél történő hasznosításának európai stratégiájához hozzájárulni kívánó, elektronikus adatbázis létrehozása képezte. Az adatbázis referenciaszközként elő tudja segíteni a „zöld” útépitést, miközben:

- a tárgykorben érdekelt (többek között a kivitelezők) számára a bontott anyagok ügyi újrahasznosítása terén globális információkkal szolgál,
- az útépitési anyagok bontása és újrahasználata vonatkozásában európai, integrált kutatási területeket határoz meg,
- különböző, a tárgykorhoz kapcsolódó CEN műszaki bizottságok számára műszaki és tudományos információkkal szolgál,
- a kutatók számára szakirodalmi adatbankként működik.

Különböző lehetőségeket mérlegelnek a várhatóan értékes adatbázisnak a projekt befejeződése utáni karbantartása, illetve további üzemeltetése tárgyában.

A WP7 Az eredmények közzététele, hálózat kiépítése és az ismeretek cseréjének koordinálása munkabizottság azt a célt tűzte ki maga elé, hogy a potenciális végfelhasználókkal kapcsolatot létesítsen és tartson fenn, valamint várakozásaikat folyamatosan figyelembe vegye, emellett a kapott eredmények széles körű és megbízható közzétételéről gondoskodik. Ennek érdekében Stakeholders' Panel (Érdekelte Felek Bizottsága) létrehozásakor a közúti hatóságok, a vállalkozók, az anyagszállítók, az útépitő mérnökök és kutatók széles körét be kívánja a munkába vonni. Az eredményeket szakcikkekben, konferencia-előadásokban, kerekasztal-beszélgetésekben és tréningeken kívánják a szakemberekkel megismertetni.

6. ÖSSZEFOGLALÓ MEGJEGYZÉSEK

A – magyar szakemberek részvételével folyó – Direct-Mat projekt az Európai Közösség egyik keretprogramjához kapcsolódva folyik. Az útépitési anyagok bontásával és a bontott anyagok különböző új szerkezetekben való újrahasznosításával kapcsolatos elméleti és gyakorlati eredményeket összegyűjtik, európai szintű, elektronikus adatbázist hoznak létre, és a legsikeresebbnek bizonyult gyakorlatot útmutató formájában közkinccsé teszik. A kötőanyag nélküli szerkezetekkel, a hidraulikus kötőanyagú rétegekkel, az aszfaltrétegekkel és az útépités szempontjából speciálisnak tekinthető anyagokkal külön munkabizottság foglalkozik. A munkába az érdekelt felek széles körét be kívánják vonni, hogy az eredmény minél inkább hasznosítható legyen.

SUMMARY

DIRECT-MAT PROJECT, A EUROPEAN REVIEW OF ROAD RECYCLING

The Direct-Mat project with the participation of Hungarian experts has been carried out related to a R&TD Framework Programme of the European Commission. The theoretical and practical results are collected on the demolition of road materials and the use of the reclaimed material in new road structures, a European Web data base is created and a Best Practice Guide is compiled for dissemination. Separate work packages deal with the unbound road structures, the hydraulically bound materials, the asphalt layers and other materials not commonly reused in roads. The representatives of stakeholders are involved in the project activities so that the outcome could be as widely as possible used.

folytatás a 19. oldalon

BEÉPÍTETT ASZFALTRÉTEGEK VASTAGSÁGÁNAK RONCSOLÁSMENTES MEGHATÁROZÁSA

DR. PETHŐ LÁSZLÓ¹ – TÓTH CSABA²

1. A HAZAI ÉS A NEMZETKÖZI GYAKORLAT

A beépített aszfaltréteg-vastagság meghatározásának jelentőségét nem kell különösebb módon bizonygatni. Az aszfaltréteg egy olyan pályaszerkezeti réteg, ahol 10-15% tűrés megengedett, amelyet így minden ügyes vagy akár kevésbé ügyes kivitelező úgy kezel, hogy az építési vastagságot ennek figyelembevételével állítja be. A minőség iránt természetes módon elkötelezett szakmánk ezt a vállalkozói megfelelésigazolási illetve a megrendelői kontrollvizsgálatok rendszerével igyekszik kordában tartani. Ezek hatékonyságának részletesebb kifejtésére a cikk terjedelmi kötöttsége és egyéb okok miatt sem kívánunk kitérni.

A nemzetközi gyakorlatban a vastagságmérés kérdése ennél árnyaltabb. A szerzők egy német tanulmányúton a gyakorlatban ismerkedtek meg a roncsolásos mintavétel alternatíváját jelentő roncsolásmentes, ún. elektromágneses eljárással. A réteg vastagsága ez esetben egy, az örvényáram elvén működő elektromágneses készülékkel és egy, a réteg terítése előtt a fogadófelületre rögzített antipólussal mérhető, ami célszerűen egy – az 1. ábra alapján – egyszerű alumíniumlap.



1. ábra: A mérendő aszfaltréteg alá elhelyezett antipólus

A német autópálya-építés során alkalmazott egyszerű mérőkészüléket, ami egyébként nagyon hasonlít egy egyszerű fémkereső detektorra, a 2. ábra mutatja, „éppen nem munka közben”

A 3. ábra a mérést követően mutatja a készülék kijelzőjét. A készülék a fűrt mintavétel pontosságával megegyezően képes rétegvastagság-meghatározásra, így például - mint ezen projekt



2. ábra: A burkolatra fektetett mérőkészülék

kapcsán is – a kompaktaszfalt építése során a kopóréteg vastagságának megállapítására is (Merkblatt für den Bau kompakter Asphaltbefestigungen, 2001), ami jelen esetben 28 mm volt.



3. ábra: A mért aszfaltvastagság megjelenítése a kijelzőn

¹ Okl. építőmérnök, PhD, adjunktus, BME Út és Vasútépítési Tanszék; e-mail: petho@uvt.bme.hu

² Okl. építőmérnök, MBA, adjunktus, BME Út és Vasútépítési Tanszék; e-mail: toth@uvt.bme.hu

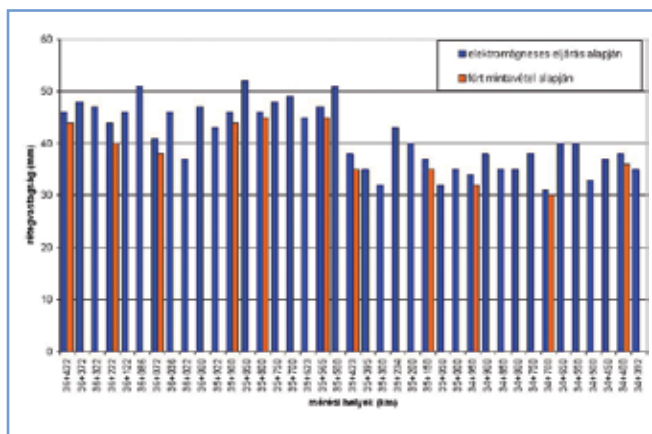
A roncsolásmentes vastagságmeghatározás és az elektromágneses mérés részleteire az alábbiakban már nem térünk ki. Azt szabatosan leírja a hazánkban kicsit elfeledett Az aszfaltburkolat vastagságának meghatározása című MSZ EN 12697-36:2003 szabvány.



4. ábra: Az esetleges keresztmetszeti inhomogenitást ellenőrizni hivatott antipólusok a fektetést követően



6. ábra: Fúrt minta jellemző képe



7. ábra: A különböző elven meghatározott vastagsági értékek

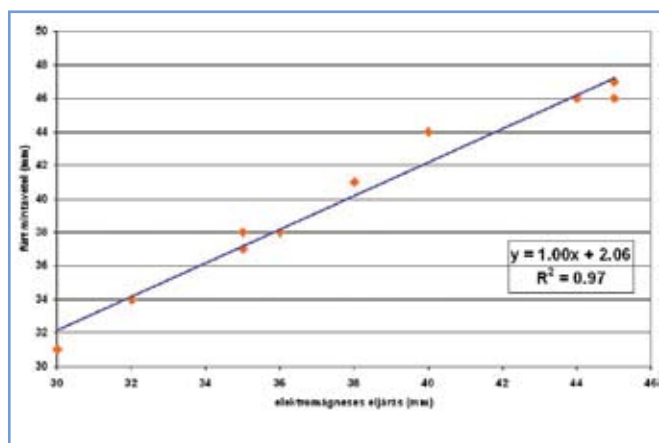
2. HELYSZÍNI ÉS LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

Az Eulab és a H-TPA Kft.-nek köszönhetően lehetőségünk nyílt a roncsolásmentes vastagságmeghatározást egy hazai kivitelezés során kipróbálni. Tekintettel arra, hogy a vizsgált burkolatmegerősítés egy vállalkozói munka volt, nem kísérleti szakasz, így az innovációs elképzeléseinket alá kellett rendelni a mindenkorai építéstechnológiai és szervezési szempontoknak. Ez elsősorban az ún. antipólusok helyének kijelölését, az elhelyezés módját, illetve a referenciafúrásokat érintette, de az így keletkezett adatok is megteremtették néhány egyszerűbb elemzés elvégzését.

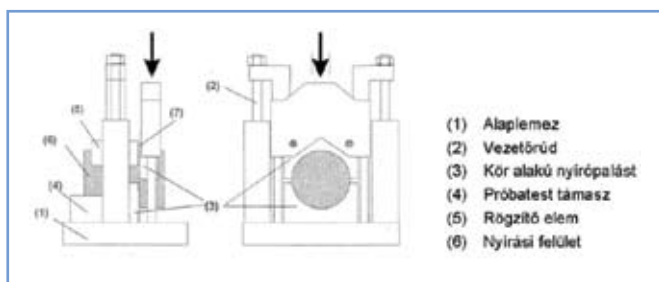
Az eredeti elképzelés szerint az alumíniumfóliák fektetése a 4. ábrán láthatóak szerint keresztmetszetenként három pontban történt volna. Figyelembe véve, hogy ez kezdetben kismértékben akadályozta a beépítő géplánc munkáját – precízebb előkészítéssel és jobb munkaszervezéssel természetesen ez a probléma is orvosolható – a későbbiekben a fólia elhelyezése minden esetben már csak a forgalmi sáv közepén történt.

1. táblázat: A referencia pontokon mért értékek összehasonlítása

Mintavétel helye, km-szelvény	Vastagság, mm	
	Fúrt mintavétel alapján	Elektromágneses eljárás alapján
36+422	44	46
36+222	40	44
36+072	38	41
35+900	44	46
35+800	45	46
35+565	45	47
35+423	35	38
35+150	35	37
34+950	32	34
34+700	30	31
34+400	36	38
Átlag	38,5	40,7
Szórás	5,4	5,5



8. ábra: A két eljárás korrelációjának szemléltetése



9. ábra: A Leutner nyírásvizsgálat elvi vázlatja

A beépítést követően, kivárva természetesen a burkolatlelülést, az Eulab Kft. segítségével megkeresve az antipólusokat, megmértük a vastagságokat. Az elhelyezett antipólus helyek lehetővé teszi a folyamatának egy kiragadott pillanata látható az 5. ábrán. A rendelkezésünkre álló szakaszon 39 keresztmetszvényben tudunk antipólust elhelyezni.

A vastagság elektromágneses eljárással történő meghatározását követően 11 keresztmetszvényben referenciaként fúrt mintavételre is sor került. A kontroll mintavételi helyek tökéletesen egybeestek

a roncsolásmentes eljárás mérési helyeivel. A fúrt mintákat megtekintve, mint az a 6. ábrán is látható, minden esetben átfúrással került az előzetesen beépített alumíniumfólia.

A 11 keresztmetszvényből származó fúrt minták, illetve a 39 keresztmetszvényben végzett roncsolásmentes mérések vastagsági értékeit együttesen ábrázolja a 7. ábra. Tekintsünk el annak elemzésétől, hogy elvben azonos tervezési szakaszon a vastagsági értékek miért szórnak 30–52 mm között, és milyen körülmények kedvezőtlen alakulása folytán alakult a 35+500 km-szelvény közelében egy kvázi szakaszhatár.

Jól látható azonban, hogy a fúrt mintavétel eredménye vékonyabb vastagságokat valószínűsít, mint a roncsolásmentes eljárás. Külön ábrázolva az 1. táblázatban a referenciapontokat, ahol együttes mintavétel történt, látható, hogy kísértetiesen hasonló szórásértékek mellett az átlagok közötti különbség ca. 2 mm.

Hasonló eredményre vezet, ha a különböző értékek közötti korrelációt vizsgáljuk a 8. ábrán ábrázoltak szerint.

Magas korreláció ($R^2 = 0,97$) mellett az összefüggés egyenlete az alábbi:

$$Y = X + 2,06 \quad (1)$$

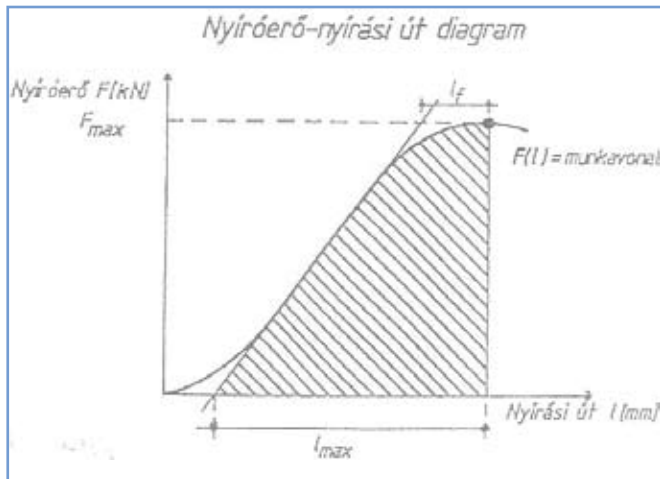
A regressziós egyenes konstans értéke szintén 2 mm-es különbséget prognosztizál.

A vizsgálatok szórása megegyezik, ami valószínűsíti, hogy a roncsolásmentes eljárás éppoly megbízható lehet, mint a megszkott fúrt mintavétel.

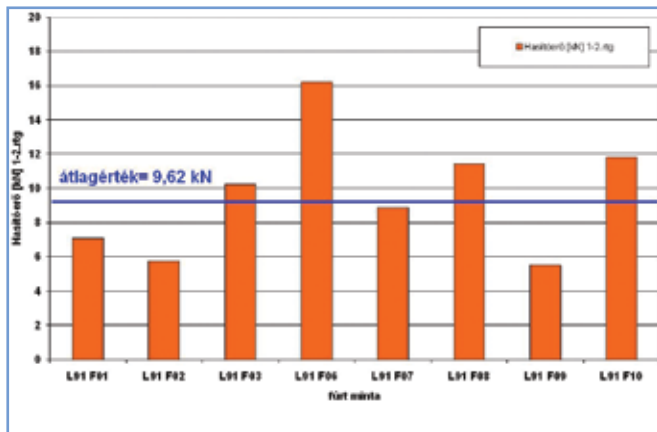
Jogos szakmai aggályként merülhet fel, hogy a beépített alumíniumfóliánál a rétegtapadás esetlegesen nem megfelelő. Ennek megállapítására a BME Út- és Vasútépítési Tanszékének laboratóriuma a fúrt mintákon Leutner-féle készülékkel rétegtapadásvizsgálatokat végzett. A módszert és a vizsgálati eredményeket a 3. fejezetben ismertetjük.

3. ASZFALTRÉTEGEK TAPADÁSVIZSGÁLATA LEUTNER-FÉLE NYÍRÁSSAL

A vizsgálat célja a beépített keverékek mint rétegek tapadásának vizsgálata az ALP A-StB/1999 – a rétegtapadás meghatározása



11. ábra: A Leutner nyírásvizsgálat tipikus vizsgálati eredménye



12. ábra: A rétegtapadás meghatározása nyírással

Leutner szerint – műszaki előírás szerint. A vizsgálat elve, hogy a burkolatból vett vagy laboratóriumban előállított kétrétegű mintából fűrt mintát a palástra merőleges irányban a réteghatáron terheljük és meghatározzuk a réteg leszakadásához tartozó erőt – legnagyobb nyíróerőt –, valamint a réteg leszakadásakor fellépő elmozdulást – legnagyobb nyírási út –. A vizsgálat során az alábbiakat mérjük:

- a legnagyobb nyíróerő (F_{max}): A legnagyobb nyíróerő az a legnagyobb erő, amely a többrétegű, 150 mm átmérőjű, 20 °C-on kondicionált fűrt minta egyik rétegének a réteghatáron történő leválasztásához szükséges 50 mm/min nyomógép-előtolási sebesség esetén.
- a legnagyobb nyírási út (l_{max}): A legnagyobb nyíróerőhöz tartozó elmozdulás mértéke.

A vizsgálathoz használt eszközök az alábbiak:

- Nyomógép: Legalább 60 kN erő mérésére alkalmas, $\pm 3\%$ leolvasási pontosságú, hitelesített, erőmérővel ellátott gép, amelynek előtolási sebessége 50 \pm 3 mm percnként. A nyomógép tartozéka a középpontosan elhelyezett nyírófeltét, amely két párhuzamosan vezetett nyírópofából és a próbatest nem vizsgált részeinek a vizsgálat alatt elmozdulásmentes rögzítésére szolgáló tartószerkezetből áll. A felső mozgó félhöz önsúlyát a vezetőrudhoz kapcsolódó két acélrugó kompenzálja. A berendezés lehetséges legnagyobb nyírási útja 25 mm.
- Kiírószerkezet: A nyomógéphez csatlakozó kiírószerkezet a

2. táblázat: A rétegtapadás meghatározása nyírással

Próbatest jele	Hasítóerő, kN 1. és 2. réteg között
L91 F01	7,09
L91 F02	5,77
L91 F03	10,23
L91 F06	16,21
L91 F07	8,87
L91 F08	11,44
L91 F09	5,54
L91 F10	11,84
Átlagos hasítóerő	9,62

nyomóerőt 0,2 kN pontossággal, az erő irányába eső elmozdulást 0,1 mm pontossággal, folyamatosan rögzítse.

– Vizsgálati próbatest: A vizsgálat végrehajtásához 150 \pm 2 mm átmérőjű, legalább kétrétegű fűrt minta szükséges. A vizsgálat során a szennyeződésektől megtisztított fűrt mintát 20 \pm 1 °C hőmérsékleten legalább 12 óra hosszúra tároljuk, majd a nyírófeltétbe helyezzük úgy, hogy a vizsgálandó réteghatár a mozgó és fix félhöz találkozási síkjába essen. A minta behelyezése és rögzítése után a gép megindításával közvetítjük az erőt a nyírófeltét mozgó részén kialakított terhelőponton keresztül a réteghatárra. A réteghatárt 50 \pm 3 mm/min előtolási sebességgel a legnagyobb nyíróerő eléréseig terheljük. A nyíróerő növekedését és a réteghatár leszakadása közben létrejövő elmozdulást folyamatosan – kiírószerkezet segítségével – rögzítjük. A vizsgálat jellegét a 9–10. ábrák mutatják be. Egy tipikus vizsgálati eredményt a 11. ábra mutat be. A vizsgálati eredményeket a 2. táblázat és a 12. ábra tartalmazza.

A mért hasítóerőket tekintve megállapítható, hogy nem várt, elégtelen rétegtapadásra visszavezethető, korai lokális meghibásodástól nem kell tartani.

4. ZÁRÓ GONDOLATOK

Szűkebb szakmai körben ismert csak, hogy az MSZ EN 12 697-36 2003: Az aszfaltburkolat vastagságának meghatározása. című szabvány a jól ismert roncsolásos mintavétel mellett lehetővé teszi az aszfaltburkolat vastagságának meghatározását roncsolásmentes, ún. elektromágneses eljárással is. Ismertek továbbá azok a műszaki és gazdasági előnyök, amelyek megrendelői oldalról – azaz nemzetgazdasági szinten – realizálhatók a roncsolásmentes eljárás átgondolt bevezetésével, mint ahogy közismertek a fűrt mintavétel triviális előnyei is mind a kivitelezői oldal, mind annak szűkebb környezete, a közúti vizsgálólaboratóriumi háttér szempontjából. A megrendelői oldal érdekeltsége és viszonya e kérdéshez ennél nyilván összetettebb.

A roncsolásmentes vastagságmérés bevezetése és alkalmazása a kivitelezői oldal munkáját is támogathatja. Gondoljunk végig, hogy a kész, tömörített aszfalttréteg vastagságmeghatározásának gyártásközi vizsgálatára ez eddig nem adódott lehetőség, a fűrt magminta vételének okszerű időbeli eltolódása miatt. Ezen módszer segítségével azonban a vállalkozó a kész, tömörített réteg vastagságát közvetlenül az építés folyamán megismeri, ez az ismeret így a beépítésre közvetlenül, érdemi befolyásoló hatással lehet. Érthető ez mind negatív, mind pozitív vastagsági eltérésre is.

Külön cikket is megérne, de most csak megemlítjük, hogy az elmúlt időszakban többször felmerült, majd elhalkult kompaktaszfalt-építés alapfeltevétele, az egy ütemben beépített két réteg vastagságának megbízható ismerete. Könnyen belátható hogy a fentiekben felvázolt roncsolásmentes eljárás egyúttal ennek jelenleg legegyszerűbb megoldását is kínálja.

Nem elsősorban a fent ismertetett vizsgálati eredményekre támaszkodva, sokkal inkább német gyakorlati tapasztalatok alapján állítható, hogy a roncsolásmentes eljárás alkalmas a beépített aszfaltrétegek vastagságának megbízható meghatározására.

A szerzők jelenlegi meggyőződése szerint a roncsolásmentes eljárás kapcsán a kérdés nem az, hogy bevezethető-e, hanem az, hogy mikortól.

IRODALOMJEGYZÉK

ÚT 2-3.302:2008 Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek. Építési feltételek és minőségi követelmények.

MSZ EN 12 697-36:2003 Az aszfaltburkolat vastagságának meghatározása

ALP A-StB/1999, Teil 4, Prüfung des Schichtenverbundes nach Leutner, Ausgabe 1999

folytatás a 14. oldalról

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] EUROSTAT (2006), Europa in figures – EUROSTAT yearbook 2006–2007.
- [2] EUROSTAT (2005) Waste generated and treated in Europe – data 1995–2003. 131 p.
- [3] European Aggregate Association (2005), Aggregates from Construction and demolition waste in Europe
- [4] European Commission (2001), Sixth Environment 2010: Our future, our choice. <http://europe.eu/scadplus/leg/en/lvb/l208027.htm>
- [5] ALT-MAT (1999), The use of alternative materials in road construction. <http://www.trl.co.uk/altmat/index.htm>
- [6] SAMARIS (2006) Sustainable and Advanced Materials, for Road Infrastructure. Final Report. <http://samaris.zag.si>
- [7] DIRECT-MAT (2009) Dismantling and Recycling Technique for Road Materials – sharing knowledge and practices. <http://direct-mat.fehrl.org>
- [8] Re-Road (2009), End of life strategies of asphalt pavements. <http://re-road.fehrl.org>

Merkblatt für den Bau kompakter Asphaltbefestigungen. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrsvesen 2001

SUMMARY

IDENTIFYING THE THICKNESS OF INSTALLED ASPHALT LAYERS BY A NON-DESTRUCTIVE METHOD

In terms of identifying the thickness of asphalt layers, the European technical regulations allow the use of two methods. In addition to the destructive method, a well-known and exclusively employed approach in Hungary, the non-destructive method is also an applicable option according to the regulation. This article uses a construction project as a basis to discuss the conditions of using the non-destructive method and compares the accuracy of the traditional sampling method of drilled samples with that of the electromagnetic damping-based alternative approach. The results prove that the non-destructive method provides sufficiently accurate and reliable data for practical purposes, while it is inevitable for compact asphalt installations to have the thickness of the pavement's wearing course measured.

- [9] European Asphalt Pavement Association (2005), Asphalt in figures, 5 p.
- [10] European Tyre & Rubber Manufacturers Association (2006), End of life tyres – a valuable resource with a wealth of potential – report. 2006, 16 p.
- [11] <http://www2.mst.dk>
- [12] <http://www.nordic-waste.info>
- [13] <http://ofrir.lcpc.fr>
- [14] Möllenhauer, K. et.al. (2009): Synthesis of national and international documents of existing knowledge regarding the recycling of reclaimed road materials in asphalt. DIRECT-MAT WP4 Asphalt Materials. Deliverable D5. 16 p.
- [15] Gaspar, L. et al. (2009): Synthesis of the national reports on dismantling hydraulically bound layers and recycling road materials in hydraulically bound layers. WP3 Hydraulically Bound Materials. Deliverable D4. 15 p.
- [16] BV-MI 01:2005 (H) Beton és Vasbetonépítési Műszaki Irányelv. Betonkészítés bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék újrahasznosításával. A fib Magyar Tagozatának Műszaki Irányelv Bizottsága. Budapest, 2005. 120 p.

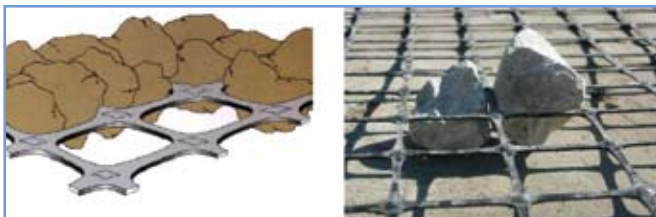
A GEORÁCS ERŐSÍTÉSŰ VASÚTI ZÚZOTTKŐ ÁGYAZAT DISZKRÉT ELEMES MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEI

FISCHER SZABOLCS¹ – DR. HORVÁT FERENC²

1. BEVEZETÉS

A zúzottkőves-keresztaljas vasúti vágány geometriai stabilizálására, azaz a fekvésgeometria romlási ütemének lassítására többféle lehetőség létezik. Ezek általában geotechnikai alapúak, de számos felépítményszerkezeti megoldás is létezik. A geotechnikai alapú megoldások csoportjába a különböző altalaj-, valamint alépítménymegerősítések (pl. stabilizációk, geoműanyag erősítések), a felépítményszerkezeti változtatásokhoz pedig például a nagyobb tömegű keresztaljak és vasúti sínek, a kedvezőbb leszorító erőt és keretmerevséget biztosító rugalmas sínleerősítések tartoznak. A fekvésgeometria tartósságának biztosítására az utóbbi időben kezdődtek kísérletek közvetlenül a zúzottkő ágyazat alá fektetett georácsokkal. Az utóbbi három évtizedben széleskörűen elterjedté vált a geoműanyagok talajanyagok erősítésére történő használata. A geoműanyagok általánosságban véve a talajok egyes – az építendő szerkezet szempontjából – hiányzó tulajdonságait hivatottak pótolni. Leggyakrabban többlet húzó- és esetenként nyírószilárdságot biztosítanak a földszerkezeteknek. Ilyen típusú talajerősítésnél a talajanyag a nyomóerő mellett – a megfelelő talaj-georács kapcsolat fennállása esetén, a hossz- és keresztirányú georács bordák, valamint a csomópontok révén – húzóerők felvételére is képes, így közel hasonló elven működő szerkezetet kapunk, mint a vasbeton, ahol a nyomóerők jelentős részét a beton, míg a húzóerőket a betonacélok veszik fel.

A georácsos ágyazaterősítést úgy kell elképzelni, hogy közvetlenül a zúzottkő ágyazat alá, ritkább esetben magába a zúzottkő ágyazatba helyeznek el vízszintes – vagy közel vízszintes – síkban fekvő georácsokat. Ezeknek a bordái közé be tudnak ékelődni az alul fekvő zúzottkő szemcsék, s ezzel egy összefogott réteg alakul ki, melyre azután kapaszkodva ráülnek a további rétegek szemcséi. Így az ágyazatban úszó, dinamikus hatásoknak kitett keresztaljas vágány geometriailag stabilabb, a fekvéshibák kialakulásával szemben ellenállóbb lesz. Ezt a beékelődésből származó hatást a nemzetközi irodalomban „interlocking effect”-nek nevezik (1. ábra). Az ilyen módon alkalmazott georácsnak azonban csak bizonyos „h” rétegvastagságig van többlet összetartó hatása.



1. ábra: Az interlocking hatás szemléltetése (Rakowski és Kawalec, 2009)

Jelen cikk célja, hogy a georács erősítésű vasúti zúzottkő ágyazat diszkrét elemes modellezési lehetőségeiről átfogó képet nyújtson a hazai és a nemzetközi irodalmak alapján, valamint a Széchenyi István Egyetem Közlekedésepítési és Településmérnöki Tanszékén folyó, ezzel a témakörrel foglalkozó kutatás célkitűzéseit megfogalmazza.

2. SZEMCSÉS ANYAGOK SZÁMÍTÓGÉPES MODELLEZÉSE

Közvetlenül a vasúti zúzottkő ágyazat alá beépített georáccsal erősített vágányt véges elemes (FEM), vagy diszkrét elemes programokkal (DEM) szokás modellezni, két vagy három dimenzióban.

Véges elemes programmal az altalaj, a georács, a zúzottkő szemcsehalmaz, a keresztalaj egy-egy szerkezeti elemként van modellezve, amelyeket a számítás során vagy külön elemként kezel a program, vagy hálógenerálás révén 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. Véges elemes programokat talajanyagból való georács kihúzásvizsgálatoknál (Perkins és Edens, 2003, Shuwang et. al., 1998), valamint például vasúti vágányoknál a drénezés hatásvizsgálatánál is alkalmaztak (Indraratna et. al., 2007). Ezekkel azonban jelen cikkben nem foglalkozunk, csak a lehetséges felhasználási területek kicsit bővebb bemutatása miatt említettük meg.

Diszkrét elemes programok esetén az 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. A szemcsehalmazt a vizsgálattal meghatározott szemeloszlási görbe alapján szokás generálni a zúzottkő ágyazat modellezéséhez (ennek megoldása kicsit bonyolultabb; részben a 3. fejezetben bemutatjuk az eljárást), de egyéb problémák megoldásánál véletlenszerű generálás is elképzelhető. A program számára általában a szemcsék mechanikai tulajdonságait és a szemcse–szemcse, illetve a szemcse–fal közötti érintkezések, kapcsolatok paramétereit kell megadni. Egyes diszkrét elemes numerikus programok (PFC, OVAL, Contact Dynamics) végtelen merevnek tekintik a szemcséket, és az anyaghalmaz összes mechanikai tulajdonságát a szemcsék közötti kapcsolatba sűrítik, amely kapcsolatok egyben deformálhatóak is. Ezzel szemben léteznek olyan szoftverek, amelyek deformálható elemeket alkalmazó modellt használnak, ilyen pl. az UDEC. Deformálható elemek esetén anyagmodellek, feszültség–alakváltozás közötti összefüggések szükségesek a számításhoz, míg a végtelen merev szemcsék és deformálható kapcsolatok alkalmazása esetén

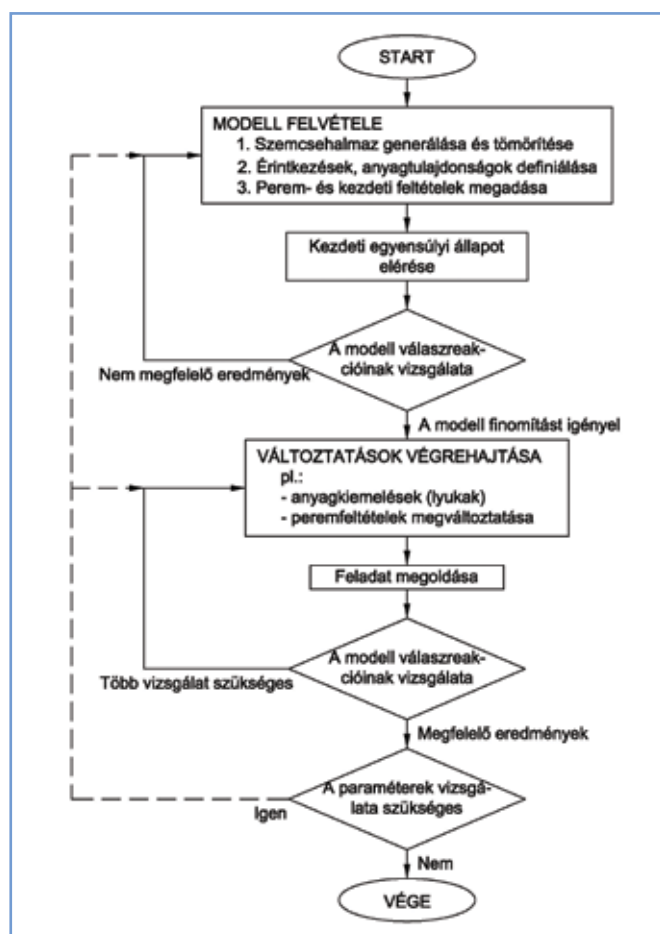
¹ Okleveles építőmérnök, egyetemi tanársegéd, Széchenyi István Egyetem Közlekedésepítési és Településmérnöki Tanszék, e-mail: fischer.szabolcs@szte.hu, szabolcs.fischer@gmail.com

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

a nyomóerő és a relatív normálirányú eltolódás összefüggése, a nyíróerő és az érintőirányú eltolódás kapcsolata, illetve a szemcsék közötti súrlódási tényező megadása szükséges (Bagi, 2007) (bővebben ezzel a témával a 3. fejezetben foglalkozunk). Mivel a zúzottkő ágyazat általában belső kötés nélküli (kivételesen pl. a ragasztott ágyazat), ezért húzó- és nyírószilárdság definiálására ebben az esetben nincs szükség. A georácsokat is hasonlóan diszkrét elemekből lehet felépíteni, mint a zúzottkő szemcsehalmozatot, de ebben az esetben a bordákra húzószilárdsági, hajlítómerevségi tulajdonságokat, valamint normálirányú és nyírómerevséget, a csomópontokra pedig csavarási merevséget is meg lehet adni a georács elemek közti párhuzamos kapcsolat jellemzésénél.

Pontosabb, részletesebb eredményeket lehet kapni diszkrét elemes modellezéssel, mint véges elemessel, de ehhez előzetes laborvizsgálatok szükségesek. Ezek eredményeivel pontosítani kell a diszkrét elemes modellt, azaz el kell érni, hogy a modell ugyanúgy viselkedjék, mint a laboratóriumi. Ennek biztosításával sokkal egyszerűbb további méréseket, vizsgálatokat szimulálni, mint az idő- és költségigényes laboratóriumi vagy terepi méréseket nagyon nagy számban végrehajtani.

Diszkrét elemes modellezéssel kapcsolatos cikkek gyakoriak a nemzetközi szakirodalomban (Bertrand et. al., 2005, Bhandari és Han, 2009, Bussert, 2009, Konietzky et. al., 2004, McDowell et. al., 2006, Tutumluer et. al., 2009). Ezekben a cikkekben mind a vasút-, mind az útépítés területéről hoznak alkalmazási példákat, de gabionfalak DEM-es modellezéséről is találunk kutatási jelentést.



2. ábra: PFC3D-s feladatmegoldás általános megoldási sémájának folyamatábrája (Itasca Consulting Group Inc., 2008a)

Cikkünkben részletesen a PFC-s diszkrét elemes modellezéssel foglalkozunk, különös tekintettel a vasútépítési alkalmazásra, azon belül is a közvetlenül a vasúti zúzottkő réteg alá beépített georácsok esetére.

3. DISZKRÉT ELEMES MODELLEZÉS PFC-SZOFTVERREL

Az Itasca Consulting Group Inc. által kifejlesztett PFC (Particle Flow Code) programok a gömbszerű szemcsék mozgásait és kölcsönhatásait modellezik két vagy három dimenzióban Cundall és Strack 1979-ben publikált diszkrét elemes módszere (Cundall, Strack, 1979) alapján. A módszer eredeti alkalmazása a szemcsés anyagok viselkedésével foglalkozó kutatásokhoz kívánt segítséget nyújtani, amelyeknél néhány száz szemcsét vizsgáltak numerikusan. A szemcsemodellt anno az elemek viselkedésének (egyforma, egységes körülmények fennállása esetén) megértéséhez használták, emellett egy kontinuum módszert is alkalmaztak olyan valós problémák megoldására, amelyeknél bonyolult alakváltozások jönnek létre. A kontinuum módszernél a szemcsemodellel végzett vizsgálatok eredményeiből levezetett viselkedésekkel pontosították a számításokat. Ennél a megközelítésnél két tényező hozott változást. Egyrészt a laborvizsgálatok eredményeiből általános, lényeges törvények, törvényszerűségek levezetése nagyon bonyolult, másrészt a számítástechnika óriási fejlődésével manapság a szemcsékkel, szemcsehalmozatokkal kapcsolatos problémák teljes körűen, könnyedén megoldhatók, a viselkedési mechanizmusok már automatikusan be vannak építve a modellekbe. A PFC háromdimenziós változatával nagyon hatékonyan meg lehet oldani közetmechanikai és szemcsemozgásokkal kapcsolatos bonyolult problémákat. Továbbiakban csak a háromdimenziós PFC-változatot tárgyaljuk.

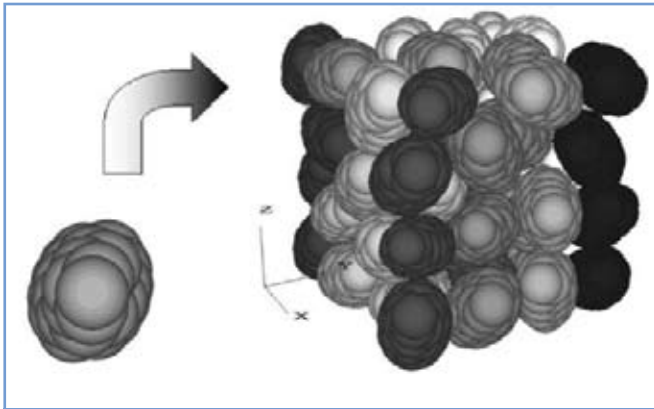
3.1. DISZKRÉT ELEMES FELADAT MEGOLDÁSA PFC3D PROGRAMMAL

A PFC3D szoftverhez hatkötetnyi angol leírást mellékelnek (Itasca Consulting Group Inc., 2008a-2008f). Ezekben a kötetekben nagyon precíz ismertetést adnak a program által használt módszerek elméleti háttéréről, a szoftver alkalmazásáról, a FISH programnyelvről, valamint mintapéldákkal is segítik a leendő felhasználó munkáját. A 2. ábrán egy feladat általános megoldási sémáját, annak folyamatábráját láthatjuk. Ennek a folyamatábrának a főbb pontjain végigmenve mutatjuk be a diszkrét elemes modellezési lehetőségeket a PFC3D programban. A program használata egyszerű a miatt nehéz, mert nem grafikus felületen, hanem parancssorból lehet irányítani, másrészt azért is, mert egy saját programnyelv (FISH) tartozik hozzá. A PFC használata során arra is vigyázni kell, hogy PFC-s parancsot akarunk-e megadni, vagy FISH-ben lévő. Ebben a kurzor helyzete is próbál segíteni.

3.1.1. MODELL FELVÉTELE

3.1.1.1. Szemcsehalmoz generálása

A modellben általánosságban véve két típusú elemet lehet használni: szemcsét (ball) és falelemet (wall). Mind a szemcsék, mind a falak végtelen merev elemek, a köztük (szemcse-fal) és egymás közt (szemcse-szemcse) fellépő érintkezések, kapcsolatok tulajdonságai határozzák meg az anyag viselkedését. A szemcsék hivatottak szimbolizálni a szemcsés anyagban (vagy egyéb diszkrét elemekkel modellezhető anyagokban) a „szemeket”, a falak pedig határoló funkciót látnak el alapesetben, de a perem- és kezdeti feltételek megadásánál is fontos szerepet játszanak. Létezik egyszerű (ball) és összetett szemcse (clump) (3. ábra), ahol az egyszerű szemcse egyetlen gömb elemből áll, míg az összetett szemcse érintkező vagy egymásba metsződő gömbök ösz-



3. ábra: Ellipszoid alakú összetett szemcsék (Bertrand et. al., 2005)

szeállítással nyerhető. A modell szemcséi közt deformálható kapcsolatokkal rendelkezik. Mind az egyszerű, mind az összetett szemcséknél az alábbi paraméterek megadására van szükség a szemcsehalmaz generálásakor:

- gömb sugara [m],
- azonosító (opcionális),
- pozíció (x, y, z koordinátákkal),
- szemcsék darabszáma.

A falak esetén léteznek véges és végtelen kiterjedésűek, valamint ezen belül ún. „general” és „standard” falak. Véges falak lehetnek poligon, henger, spirál, gyűrű stb. alakúak, valamint a felhasználó is definiálhat különböző formákat, természetesen csak megadott korlátok közt. General fal esetén a fal mindkét fele aktív, míg standard esetben csak az egyik oldala. A falak csak szemcsékkel lehetnek kölcsönhatásban, falakkal nem, de ettől függetlenül átlapolhatók egymással. A falaknak vastagságuk nincsen a PFC programokban, hisz végtelen merevek, így erre a paraméterre nincs szükség a modellezésben.

A szemcsék és a falak helyének, helyzetének megadását az alábbi felsorolásokban pontosítjuk. A szemcsék helye megadható:

- derékszögű koordináta-rendszerben x, y, z koordinátákkal,
- generálással adott koordinátájú térelemben (fallal körülhatárolt) vagy fal nélküli térben, ahol a generálás lehet véletlenszám-generátoros, vagy Gauss-eloszlás szerinti.

A falak helye és helyzete megadható:

- derékszögű koordináta-rendszerben a sarkok koordinátaival (véges fal),
- a középpont koordinátájával és normálvektorával (végtelen fal),
- hengeres fal esetén a két véglap középpontjának koordinátájával és a véglapok sugaraival,
- tárcsa alakú fal esetén a tárcsa sugarával, valamint a tárcsa normálvektorával,
- gyűrű alakú fal esetén a gyűrű hossz tengelyének vektorával, a gyűrű közepes sugarával (a gyűrű hossz tengelyének és a fal középvonalának távolsága), a gyűrűfal alkotójának sugarával és a gyűrű középpontjának három koordinátájával,
- gömb alakú fal esetén a gömb sugarával és a középpont három koordinátájával,
- spirál alakú fal esetén a végpontok koordinátaival, a menetemelkedés irányával (bal- vagy jobbsavarodású), illetve a külső és a belső sugármérettel.

A 4–5. ábrán több frakcióból összeállított szemcsetömeg látható. A program használati útmutatójában megadott folyamatábrától (2. ábra) kicsit eltérve, a tömörítést a kezdeti egyensúlyi állapot elérésének tárgyalásakor (3.1.2. fejezet) részletezzük.

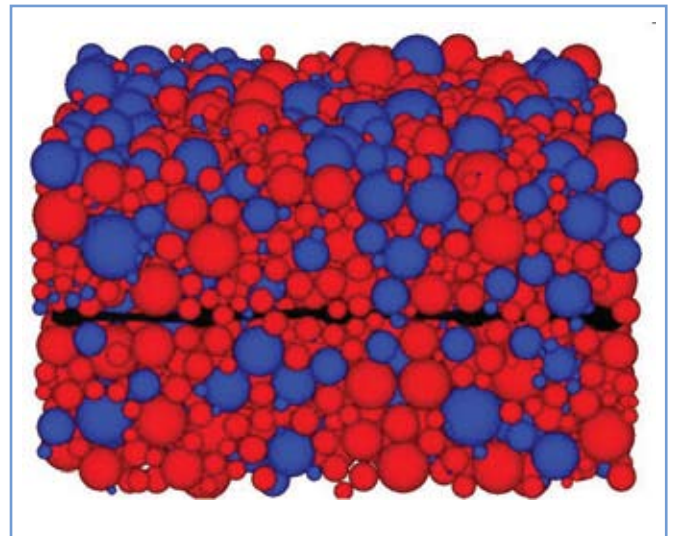
3.1.1.2. Érintkezések és anyagtulajdonságok definiálása

3.1.1.2.1. Viselkedési modellek

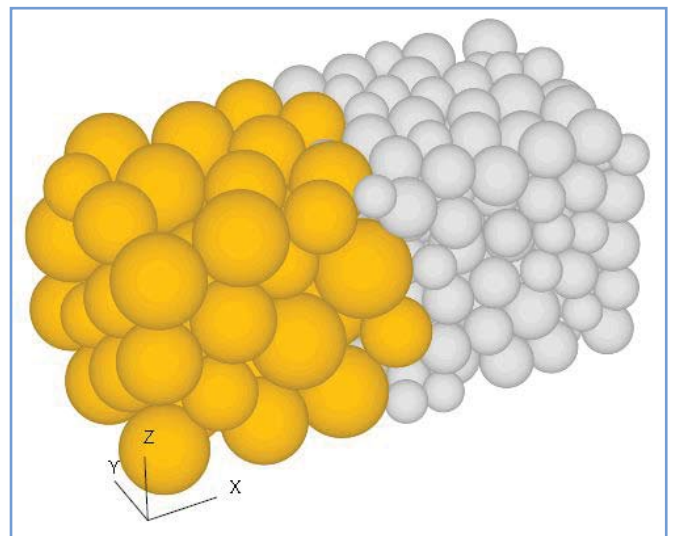
A szoftver többféle viselkedési modell alkalmazását teszi lehetővé:

- érintkezési merevségi modell (contact stiffness model)
- lineáris rugómodell,
- egyszerűsített Hertz–Mindlin-modell,
- csúszó-elválasztó modell (slip and separation model),
- kapcsolati modell (bonding model)
- érintkezési kapcsolati modell (contact bond),
- párhuzamosan kötött kapcsolatok modellje (parallel bond),
- saját modell, érintkezési törvény (használó által megadott).

A belső kötés nélküli anyagoknál az érintkezési merevségi modell lineáris rugómodelljét kell használni, ami egyben az alapértelmezett beállítás is. A Hertz–Mindlin-modell elméletét jelen cikkben nem részletezzük, róla a vele foglalkozó kötet megfelelő



4. ábra: Több frakcióból összeállított szemcsetömeg (Konietzky et. al., 2004)



5. ábra: Tömörített minta két különböző szemeloszlású anyagból keverve (Itasca Consulting Group Inc., 2008a)

fejezetében olvashatunk (Itasca Consulting Group Inc., 2008d). A csúszó-elválasztó modell a csúszósúrlódás figyelembevételénél nagyon hasznos. A kapcsolati modellt bővebben a 3.1.1.2.3. fejezet tárgyalja. Lehetőség van használó által megadott viselkedési modell alkalmazására is.

3.1.1.2.2. A szemcsék és a falak érintkezési és anyagtulajdonságai

A szemcsék érintkezési tulajdonságainak megadására a következő lehetőségeink vannak:

- térben változó tulajdonságok alkalmazása, figyelembevétele,
- direkt (közvetlen) modellezés ismert mikrotulajdonságok esetén,
- inverz (fordított) modellezés ismeretlen mikrotulajdonságok esetén (laboratóriumi vizsgálatok igazolása, további mérések, vizsgálatok, szimulációk lefuttatása),
- elválasztó-, határfelületek alkalmazása (réteges anyagok, minták modellezése).

Ahogy azt már említettük, mind a szemcsék, mind a falelemek végtelen merevek, ezért a köztük fellépő érintkezések tulajdonságai határozzák meg a modell viselkedését. A megadható érintkezési és anyagtulajdonságok szemcsék esetén az alábbiak:

- sűrűség [kg/m^3],
- tömeg [kg],
- valós fizikai tömeg [kg],
- inercianyomaték (mozgásegyenlethez, faktoral növelhető) [m^4],
- érintkezés típusa:
 - ha 1, akkor Hertz-Mindlin-modell,
 - ha 0, akkor lineáris rugómodell,
- helyi csillapítási tényező, valamint viszkózus csillapítási tényező (kritikus csillapítási tényező normálirányban és nyírási irányban),
- szemcsék közötti súrlódási együttható,
- normálirányú (érintkezési) merevség [N/m],
- nyírási (érintkezési) merevség [N/m],
- Poisson-szám (Hertz-Mindlin modellhez),
- nyírási modulus (Hertz-Mindlin modellhez) [N/mm^2 , N/m^2].

A falak érintkezési tulajdonságait a következő paraméterekkel lehet definiálni:

- súrlódási tényező a szemcsék és a fal(ak) között,
- normálirányú (érintkezési) merevség (lineáris rugómodellhez) [N/m],
- nyírási (érintkezési) merevség [N/m].

3.1.1.2.3. Szemcsék közötti érintkezéssel és párhuzamosan kötött kapcsolatok

Annak érdekében, hogy ne csupán belső kötés nélküli szemcsés anyagokat lehessen modellezni a PFC programban, olyan lehetőség is rendelkezésre áll a felhasználónak, hogy a szimulációban normálirányú igénybevételt, de akár nyomatékbíró kapcsolatokat is létre tud hozni. Ezzel a módszerrel például a cementes kötésű betonszerkezetek, de még vasbetonszerkezetek is modellezhetőek. A vasúti felépítmény georácsos erősítésénél hasonlóan alkalmazható a program. A georácsot szemcsék közötti párhuzamosan kötött kapcsolatok létesítésével lehet előállítani, amit a következőkben részletezünk is (a szükséges paramétereket megemlítve).

A szoftver az érintkezéssel kapcsolatos vagy a meglévő érintkezéseknél képes kezelni, vagy azokban az esetekben van ilyenre lehetőség, amikor az átlagos szemcsenagyság 10^6 -szorosánál ki-

- sebb a szemcsék közötti távolság. Ennél a típusú kapcsolatnál
 - a porozitás,
 - a Young-modulus [N/mm^2 , N/m^2],
 - az érintkezéssel kapcsolat normálirányú szilárdsága [N],
 - az érintkezéssel kapcsolat nyírószilárdsága [N]

fontos paraméterek. Amennyiben a normálirányú és/vagy a nyírószilárdságnál nagyobb igénybevétel keletkezik két ilyen szemcse között, akkor a kapcsolat felszakad, a szemcsék megcsúsznak egymáson, illetve forgás is létrejöhet. Függvény szerint is megadhatók a szilárdságok, de pl. zónához, vagy szemcsecsoportokhoz is lehet különböző paramétereket hozzárendelni.

A párhuzamosan kötött kapcsolatok opciójával vagyunk képesek modellezni a georácsokat, a betonacélokat stb. Ezek nem csak erő, de nyomaték felvételére is képesek kapcsolatot biztosítani a szemcsék között. Úgy kell ezt a típusú kapcsolatot elképzelni, mintha rugalmas ragasztóval ragasztották volna össze a szemcséket. Párhuzamosan kötött kapcsolatoknál is ugyanazok az elvek érvényesek az érintkezések kezelésénél, mint az érintkezéssel kapcsolatoknál. Ebben az esetben

- a sugárnövelő tényező (a párhuzamosan kötött kapcsolat sugara = sugárnövelő \times kisebbik szemcsesugár a két összeillesztett szemcse közül),
- a Young-modulus (szemcse–szemcse között és a párhuzamosan kötött kapcsolatnál is) [N/mm^2 , N/m^2],
- a szemcsék közötti normálirányú érintkezési merevség [N/m],
- a szemcsék közötti nyírási merevség [N/m],
- a szemcsék közötti normálirányú és nyírási merevség aránya,
- a párhuzamosan kötött kapcsolat normálirányú merevsége [$\text{N}/\text{mm}^2/\text{m}$, $\text{N}/\text{m}^2/\text{m}$],
- a párhuzamosan kötött kapcsolat nyírási merevsége [$\text{N}/\text{mm}^2/\text{m}$, $\text{N}/\text{m}^2/\text{m}$],
- a párhuzamosan kötött kapcsolat normálirányú és nyírási merevségének aránya,
- a párhuzamosan kötött kapcsolat normálirányú szilárdsága [N/mm^2 , N/m^2],
- a párhuzamosan kötött kapcsolat nyírószilárdsága [N/mm^2 , N/m^2]

paraméterek megadása szükséges. Hasonlóan az érintkezéssel kapcsolatnál leírtakhoz, a megfelelő szilárdsági értékek meghaladása esetén a kapcsolat felszakad az adott szemcsék között, ezekben a pontokban az anyagi kontinuitás megszűnik.

3.1.1.3. Perem- és kezdeti feltételek megadása

A terheléseket, valamint a perem- és kezdeti feltételeket nagyon bonyolult ebben a programban szétválasztani, ezért most mi is együtt tárgyaljuk őket. A szoftverben passzív és aktív terhek figyelembevételére van lehetőség. Passzív tehernek tekinthető alapján véve, illetve a modell megváltozása, megváltoztatása esetén (pl. kiemelés, ásás stb.) a gravitációs erő hatása. Aktív terhek közé sorolhatók az ún. külső sebességek és erők. Fel kell hívni arra a figyelmet, hogy falra nem lehet definiálni erőt, de erővel, vagy feszültséggel terhelt fal hatását lehet szimulálni. Tárcsaszerű terhelőlemez figyelembevétele esetén párhuzamosan kötött szemcséket kell alkalmazni, merev tulajdonságokat kölcsönözve nekik. A falak szervomechanizmusos, közvetlen vagy függvény szerinti (FISH-ben megírt) irányítása is az aktív terhek közé sorolandó, amelyek esetében adott sebességet, vagy szögsebességet írunk elő a falra. Ezzel a megoldással lehet például meghatározott oldalnyomást biztosítani a szemcsetömegnél, vagy ilyen módon lehet tömöríteni a szemcsehalmazt. Lehetőség van a szemcseerők irányítására is. Ezalatt azt kell érteni, hogy x -szeresére növeljük a peremfeltételi erőt, de ez előidézheti azt, hogy „soha”

le nem álló folyamat indul el, ezért alkalmazása nem javasolt. Az aktív terheknél megemlítendő még a szemcsesebességek megadása, vagy irányítása is.

A szemcsék segítségével az alábbi perem- és kezdeti feltételek megadása lehetséges:

- szemcséhez kötött sebesség (v_x, v_y, v_z) [m/lépés, m/s],
- szemcséhez kötött szögsebesség ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) [rad/lépés, rad/s],
- szemcsére ható erő (F_x, F_y, F_z) [N],
- szemcsére ható nyomaték (M_x, M_y, M_z) [Nm, Nmm],
- szemcsére alkalmazott sebesség (v'_x, v'_y, v'_z) (nem azonos a szemcséhez kötött sebességgel) [m/lépés, m/s],
- gravitáció (g_x, g_y, g_z) [m/s²].

A falak segítségével is megadhatók perem- és kezdeti feltételek, ezek a következők:

- forgási középpont (x, y, z koordinátával),
- szögsebesség a forgási középpont körül ($\omega_{fx}, \omega_{fy}, \omega_{fz}$) [rad/lépés, rad/s],
- fal sebessége (v_{fx}, v_{fy}, v_{fz}).

Az elmozdulásokat közvetlen módon nem lehet ellenőrizni a PFC3D modellben, mert a számításban nem játszik szerepet. Amennyiben elmozdulást szeretnénk megadni peremfeltételként, ezt úgy tehetjük meg, hogy a fal, szemcse, vagy összetett szemcse sebességét írjuk elő megadott számú lépés definiálásával. Érdemes kis sebességet és nagy lépésszámot megadni annak érdekében, hogy minimalizáljuk a lökéseket. Ha kezdeti feszültséget kívánunk előírni, megadni, ami elég gyakori a talajmechanikai feladatoknál, közvetlenül nem tehetjük meg. Ezt a kezdeti szükséges feszültséget a megadható kezdeti feltételekkel, a szemcsetömeg tömörítésével kell előállítani, ezekből levezetni. Mindenesetre előre tisztázni kell, hogy milyen feszültségről van szó, szemcsék közöttiről, vagy kontinuumban kialakuló feszültségről. A feszültség mérését a felhasználó által megadott térfogaton belül lehet értelmezni.

3.1.2. KEZDETI EGYENSÚLYI ÁLLAPOT ELÉRÉSE

A kezdeti egyensúlyi állapot elérésére azért van szükség, mert a leggyakrabban alkalmazott generálásos szemcseletrahozás alkalmával egyáltalán nem biztos, hogy a generált szemcsék között tényleges érintkezés van, és nyugalomban van a rendszer. Ennek biztosításához ezt a számítási lépést is el kell végezni a szimuláció során. A STEP vagy CYCLE paranccsal lehet megadni, hogy mennyi ciklust (lépést) vegyen figyelembe a program az egyensúlyi állapot eléréséhez. (Ezt a későbbiekben még pontosítjuk.) A modell abban az esetben van tökéletes egyensúlyban, ha a kiegyensúlyozatlan erők zérus értékűek. A számítás közben az átlagos és a maximális kiegyensúlyozatlan erőket folyamatosan figyeli a program, ezt ki is lehet vele rajzoltatni. Numerikus analízis esetén a kiegyensúlyozatlan erők soha nem érik el pontosan a zérus értéket.

A tömörítések elméletéről (Bagi, 2007)-ben olvashatunk bővebben, de megemlítjük az ő általa tárgyalt modelleket:

- Stienen-modell,
- lily-pond-modell
- SSI-eljárás,
- Cui és O'Sullivan-módszer,
- ülepítési technikák,
- kollektív átrendezőes technikák.

A PFC szoftverek az SSI-eljárást (egyszerű szekvenciális eljárás) alkalmazzák. A gyakorlatban a PFC3D program a következő tömörítési lehetőségeket biztosítja:

- a szemcsék átmérőjének szabad növelése (geometria marad, de az átmérők változnak),
- tömörítés mozgó falakkal,
- átmetsződések megszüntetése.

Az egyensúlyi állapot eldöntése nem olyan egyszerű, így ehhez különböző segítségekre lehet szükség a szimulációk futtatása közben:

- átlagos kiegyensúlyozatlan erők diagramja,
- átlagos érintkezési erők diagramja,
- a maximális kiegyensúlyozatlan erő és a maximális érintkezési erő aránya,
- egy kiválasztott szemcse x, y , vagy z irányú sebessége,
- egy kiválasztott vagy egy adott ponthoz legközelebbi szemcse x, y és/vagy z pozíciója,
- SOLVE paranccsal előre megadható feltételek.

A SOLVE paranccsal előre definiálni lehet, hogy mekkora átlagos érintkezési erőhöz viszonyított átlagos kiegyensúlyozatlan erőt, mekkora maximális érintkezési erőhöz viszonyított maximális kiegyensúlyozatlan erőt érjen el a program ebben a stádiumban. Ezen kívül lehetőség van percben konkrét idő megadására (mennyi legyen az a maximális számítási idő, amit használhat a program, az érték nincs korlátozva), pontos megállítási idő beállítására, vagy a felhasználó által definiált határ alkalmazására. Amennyiben számítás közben ezeket az értékeket, arányokat elérte a szoftver, a „tömörítés” befejezettnek és az egyensúlyi állapot elértnek tekinthető.

3.1.3. VÁLTOZTATÁSOK VÉGREHAJTÁSA

Anyagkiemelésekre, lyukak készítésére is lehetőség van a PFC3D-ben. Szemcsék (egyszerű és összetett is) és falak akármikor törölhetők a számítás során. A peremfeltételeket is meg lehet változtatni ebben a lépésben.

3.1.4. FELADAT MEGOLDÁSA

A feladat megoldására statikus és dinamikus módszer adott. Ezek közül a felhasználó választ, melyiket is szeretné alkalmazni.

Alapértelmezettként a statikus megoldási módszer van beállítva a PFC3D-ben. A belső csillapítás miatt a szemcserendszer minimális ciklusszám alatt eléri az egyensúlyi állapotot. Abban az esetben, ha a rendszer instabil, akkor a kiadódó mozgás csillapodik, de nem szűnik meg. A PFC3D-n belüli csillapítás inkább a gyorsuló mozgásokat csökkenti, semmint a szemcsék sebességét. Ilyen módon a kvázi „álló” mozgásokat (pl. lejtőn lefelé folyó, csúszó szemcsék) nem lehet meggátolni. Azokban az esetekben, ahol a gyorsulások és a kezdeti erők ismertek fontosak, a csillapítást le kell csökkenteni egy akkora értékre, amely fizikailag jobban elfogadhatóbb, indokolhatóbb. A SOLVE és a CYCLE paranccsal meg lehet adni az említett küszöbértékeket.

Egy gömb tömegét a gömb sugarából és anyagának sűrűségéből könnyen ki lehet számítani. Abból az okból kifolyólag, hogy az időléptetés arányos a szemcse tömegének, valamint a szemcsékre jellemző összmerességek hányadosának négyzetgyökével, kevés kissugarú szemcse (vagy egy olyan, aminek nagy a merevsége) azt okozhatja, hogy az időléptetés nagyon kicsi lesz, így a számítás is hatástalannak bizonyul. A „SET DT SCALE” paranccsal egy fiktív tehetetlenségi tömeget ad a program minden egyes szemcsének, így az időléptetés egységes és állandó lesz. Annál az oknál fogva, hogy minden szabadságfoknak egyenlő időválasza lesz, a számítással gyorsabban konvergálunk a megoldáshoz, így az idő (számítási idő) növelése értelmetlen. Ezt az opciót abban

az esetben kell használni, ha nagy méretbeli különbségek vannak a szemcséknél, és/vagy nagy merevségbeli különbségek állnak fenn, és a statikus egyensúly gyors elérése szükséges. Ezt a típusú nagyítást (scale) nem szabad alkalmazni, ha a megoldás nagyon útvonalfüggő, mert a szemcse által bejárt útvonal, habár valódi, de nem a legvalószínűbb. (Nemlineáris, nem rugalmas és útvonaltól függő probléma esetén végtelen sok megoldás létezik.) Az említett sűrűség-növelés nem befolyásolja a gravitációs erőket.

Egy másik típusú sűrűség-növelést is lehet használni a „SET DT = érték” paranccsal, ahol a megadott érték maga a szükséges időléptetés. Ez a séma nem javítja a hatékonyságot, a szemcsék tehetetlenségi tömegét a szükséges időléptetéssel teszi egyenlővé. Ezt akkor kell alkalmazni, ha a PFC3D bizonyos fizikai folyamatokhoz olyan jellemző időnövelést rendel, amely sokkal nagyobb, mint a tehetetlenségi válasszé. A PFC3D jelenleg nem képes az ilyen folyamatokat önmagában modellezni, de egy FISH-ben megírt függvényvel ez a probléma is megoldható. A „SET DT AUTO” paranccsal mindkét sűrűség-növelés elérhető.

A legfőbb különbség a statikus és a dinamikus analízis között a program szempontjából az, hogy a dinamikusnál a csillapítást egy fizikailag reális értékre csökkentik. Általában szükség van arra, hogy először egy statikus szimulációt futtassanak le a kezdeti nyugalmi feszültségeloszlás elérése miatt. Lehetőség van gerjesztés alkalmazására is a frekvencia, az amplitúdó és a gerjesztés idejének megadásával. A feladatmegoldás során bármelyik bevitt paraméter bármikor megváltoztatható.

3.1.5. A MODELL VÁLASZREAKCIÓINAK VIZSGÁLATA, A KIADÓDOTT EREDMÉNYEK ÉS SZEMLÉLTETÉSÜK

A számítás végeztével a PFC3D lehetőséget nyújt nagyon sok állapotparaméter, függvény lekérdezésére. A szoftverben egyrészt vannak ún. speciális állapotparaméterek (state information), amelyeket külön parancsokkal tudunk előhívni. Ezek mind a szemcsékre (egyszerű és összetett is), mind a falakra és az érintkezésekre, valamint párhuzamosan kötött kapcsolatokra is léteznek. Ezen állapotparaméterek csoportonként a következők:

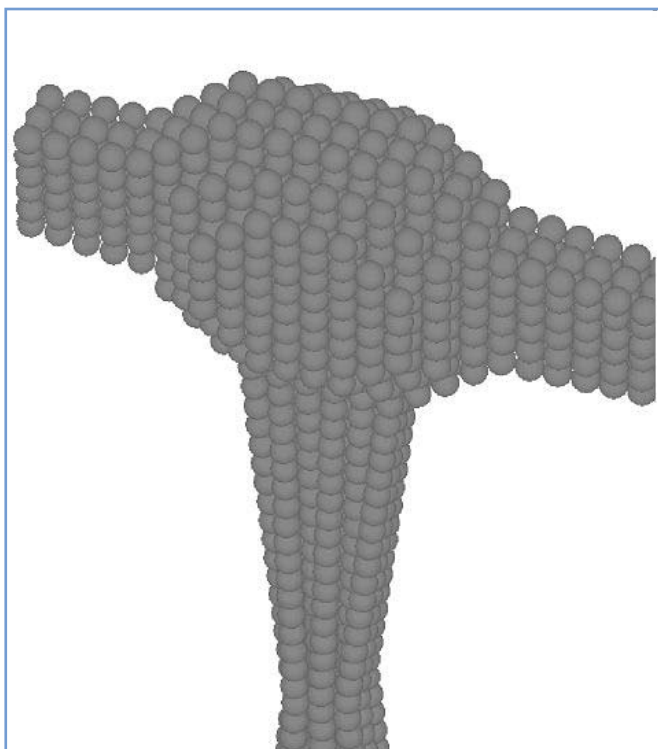
- szemcsék:
 - hely,
 - „felhalmozott” forgás (csak 2D-ben és csak egyszerű szemcsére),
 - „felhalmozott” elmozdulás (csak egyszerű szemcsére),
 - sebesség,
 - szögsebesség,
 - kiegyensúlyozatlan erő,
 - kiegyensúlyozatlan nyomaték,
 - egyenértékű feszültségtenzor
- falak:
 - forgási középpont,
 - sebesség,
 - szögsebesség a forgási középpont körül,
 - kiegyensúlyozatlan erő minden érintkező szemcsébe véve,
 - kiegyensúlyozatlan nyomaték a forgási középpontra számítva minden érintkező szemcsébe véve,
 - gömb alakú fal sugara,
 - hengeres fal véglapjainak sugara,
 - hengeres fal véglapjainak középpontja,
 - hengeres és gömb alakú falra (2D-ben körre) ható kiegyensúlyozatlan erő,
 - sugárirányú sebesség hengeres vagy gömb alakú fal esetén (2D-ben körnél) = a sugár idő szerinti változása (ha + akkor tágulás, ha – akkor kontrakció),
 - 2D-s esetben falcsomópont sebességek,

- érintkezési kapcsolatok:
 - hely,
 - egységes normálvektor, ami megadja az érintkezési síkot,
 - normálerő az érintkezési kapcsolati modellben (+ érték esetén nyomóerő),
 - normálerő a globális viszkozus csillapításnál (+ érték esetén nyomóerő),
 - nyíróerő az érintkezési kapcsolati modellben,
 - nyíróerő a globális viszkozus csillapításnál,
 - növekvő/járolékos munka az előző időlépés alatti csúszásból,
- párhuzamosan kötött kapcsolatok:
 - az összekapcsolásnál fellépő normálerő (ha + akkor nyomóerő, az irányt a normálvektor adja meg),
 - nyíróerő,
 - csavarónyomaték az összekapcsolásnál,
 - hajlítónyomaték az összekapcsolásnál,
 - maximális normálfeszültség, amely az összekapcsolás környezetében lép fel,
 - maximális nyírófeszültség, amely az összekapcsolás környezetében lép fel.

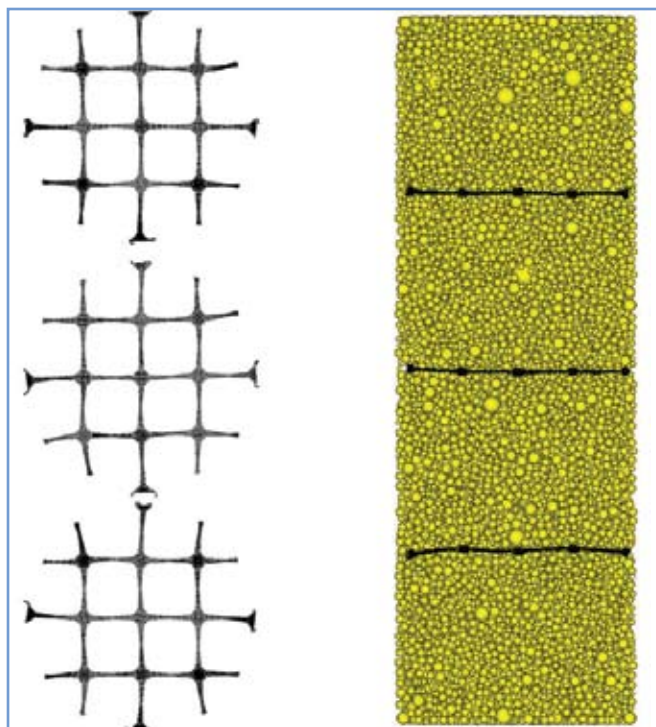
Egyéb más eredményeket is szolgáltat a program a HISTORY parancs beütése után, ezeket az alábbiakban adjuk meg szintén csoportokra bontva:

- adott azonosítójú szemcsére, vagy adott koordinátához legközelebbi szemcsére:
 - hely,
 - szögsebesség,
 - haladó mozgás sebessége,
 - (hőmérséklet),
- adott azonosítójú falra:
 - a falra ható összes nyomatékból és erőből származó „energia”,
 - kiegyensúlyozatlan erő az összes érintkező szemcse figyelembevételével,
 - kiegyensúlyozatlan nyomaték a forgási középpontra számítva, az összes érintkező szemcse figyelembevételével,
- mérési gömbre:
 - koordinációs szám (= az aktív érintkezések átlagos száma tesztenként),
 - porozitás,
 - csúszási frakció,
 - alakváltozás-tenzor,
 - feszültségtenzor,
- diagnosztikai erők:
 - átlagos kiegyensúlyozatlan erő,
 - maximális kiegyensúlyozatlan erő,
 - átlagos érintkezési erő,
 - maximális érintkezési erő,
 - átlagos kiegyensúlyozatlan erő és az átlagos érintkezési erő aránya,
 - maximális kiegyensúlyozatlan erő és a maximális érintkezési erő aránya,
- energia- és munkamennyiségek:
 - testekre ható erők teljes tárolt/felhalmozott munkája,
 - teljes alakváltozási energia az összes párhuzamos kapcsolásban,
 - a falak teljes felhalmozott munkája,
 - súrlódásban elvesztett munka,
 - mozgási energia,
 - alakváltozási energia.

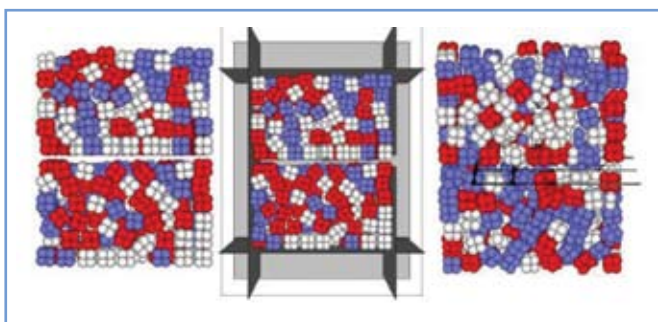
Az előző felsorolásban látható egy eddig ismeretlen fogalom, a mérési gömb. Ez egy meghatározott sugarú és helyű fiktív elem, amin belül speciális paramétereket lehet mérni a szemcsehalmazban. A fent felsoroltakon kívül léteznek még ún. térbeli mezőváltozók is:



6. ábra: Tensor SS30-as georács PFC-s modellje (Konietzky et. al., 2004)



8. ábra: A deformált minta három réteg georács alkalmazásával (Konietzky et. al., 2004)



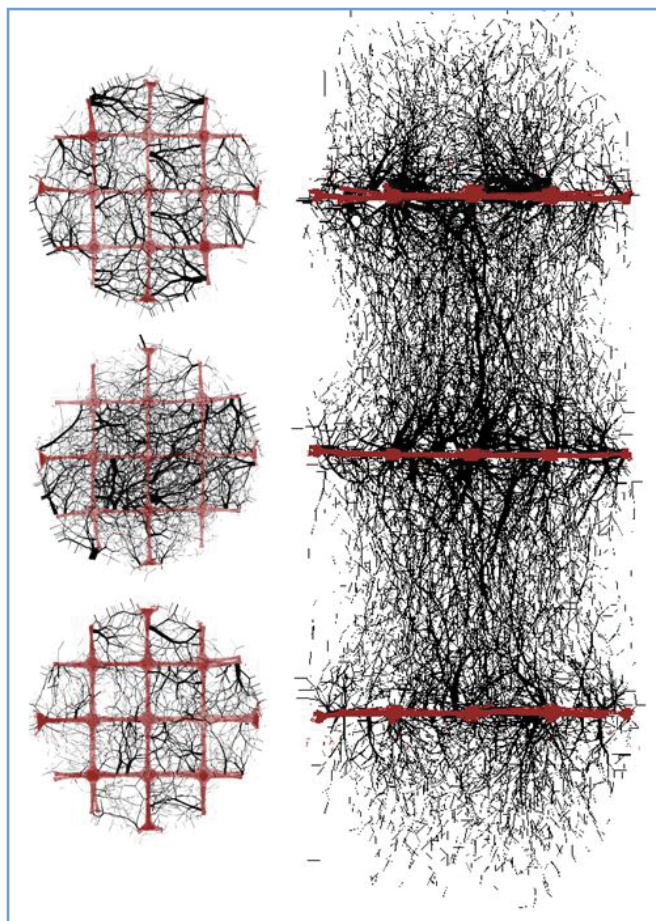
7. ábra: Az alkalmazott összetett szemcsékből és a georácsból összeállított modell (McDowell et. al., 2006)

- szemcsesebességek,
- szemcseelmozdulások,
- érintkezési erők,
- érintkezési kapcsolatok helyei,
- párhuzamosan kötött kapcsolatok helyei,
- felszakadt érintkezések, kapcsolatok (FISH-ben),
- megcsúszott régiók (FISH-ben).

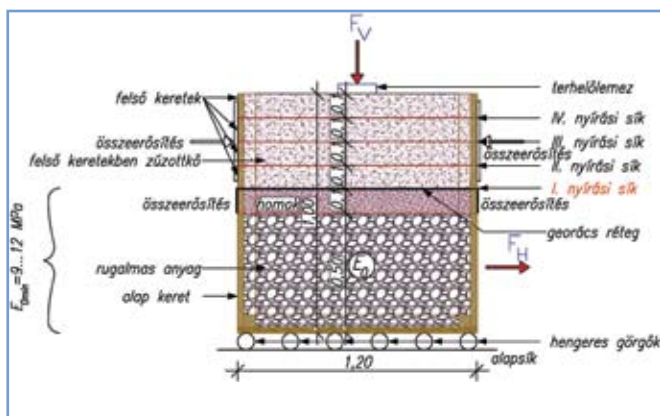
A lista már csak abból a szempontból sem lehet teljes, mert különböző függvények kirajzolását is lehet kérni a programtól, ilyen például a térfogati alakváltozás a tengelyirányú feszültség függvényében, térfogati alakváltozás a tengelyirányú alakváltozás függvényében stb.

3.2. A GEORÁCS ERŐSÍTÉSŰ VASÚTI ZÚZOTTKŐ ÁGYAZAT DISZKRÉT ELEMES MODELLEZÉSÉVEL FOGLALKOZÓ NEMZETKÖZI KUTATÁSOK RÖVID ISMERTETÉSE

Ebben a témakörben komolyabb kutatómunkát két cikkben publikáltak (Konietzky et. al., 2004, McDowell et. al., 2006). Szemcsés anyag-



9. ábra: Az érintkezési erők eloszlása, valamint a georácsok a részleges vízszintes és függőleges tehermentesítés után (Konietzky et. al., 2004)



10. ábra: Többszintes nyíroláda elvi rajza (nyírás az I. nyírási síkon)



12. ábra: Feltárt vágat egy vízsák környezetében (saját fotó)



11. ábra: Vízszakos területek a Hegyeshalom–Budapest Kelenföld vasútvonal Lébény–Mosonszentmiklós és Kimle állomásközében Hegyeshalom irányában nézve, az 1621 és 1622 szelvények közül fotózva (saját fotó)



13. ábra: Georácsos ágyazaterősítés beépítés közben (Tensar International Limited, 2007)

halmazok DEM-es modellezésével több kutatócsoport is foglalkozott (Bertrand et. al., 2005, Bhandari és Han, 2009, Bussert, 2009, Tutumluer et. al., 2009), de egyik sem speciálisan a georács erősítésű vasúti felépítményhez kapcsolódik. A hivatkozott két irodalomban inverz modellezést alkalmaztak, ahol a mikrotulajdonságok ismeretlenek voltak. Laboratóriumi mérésekkel pontosították a PFC-s modelljeiket, ezek többek között georács esetén egyszerű georácsborda húzás-vizsgálat, egyszerű csomópont szilárdsági vizsgálat, síkbeli csavarás-vizsgálat, a georács erősítésű minták esetén georács kihúzásvizsgálat, valamint triaxiális vizsgálat volt. Statikus és pulzáló terheléses vizsgálatot is végrehajtottak a PFC-s modellen, ahol a georács és a szemcsék között párhuzamosan kötött kapcsolatok voltak kialakítva (6. ábra), míg a zúzottkővet (Konietzky et. al., 2004)-ben egyszerű szemcsékkel, (McDowell et. al., 2006)-ban pedig összetett szemcsékkel modellezték (7. ábra). A statikus vizsgálatnál egyetlen réteg georácsot, míg a dinamikus vizsgálatnál egy, valamint három réteget is figyelembe vettek (8–9. ábra). Mindkét publikációban mind statikus, mind dinamikus terhelésnél több értékű függőleges terhelést alkalmaztak. A statikus kihúzásvizsgálatoknál azt tapasztalták, hogy a nagyobb értékű felszíni függőleges terhelésnél nagyobb kihúzási ellenálló erő lépett fel, mint kisebb terhelésnél, valamint ez a különbség mind normálirányú, mind nyíróerő esetén megfigyelhető volt. Azt állapították meg, hogy az adott összeállításnál (modellnél) a georácstól számított, magassági értelemben +/- 10 cm-es zónát befolyásolta a georács. Dinamikus terhelésnél egy β számot képezték, ami egy négy hálószermet

fedő téglatest 2 cm-es magasságában kialakuló átlagos erő, valamint a teljes keresztmetszetben, ugyanabban a magasságban fellépő átlagos erő hányadosa. Egy georács réteg esetén ez a szám 1,0–1,2, míg három georács réteg esetén 2,0 maximális értékű lett. Három georács alkalmazásával kb. 50%-kal csökkenteni lehetett a függőleges és a sugárirányú alakváltozást az egy georácsos esethez képest. A terhermentesítésnél jóval szignifikánsabb az interlocking hatás, ez több georács réteg esetén a rétegek közötti átboltozódással is jelentkezik. (McDowell et. al., 2006)-ban olyan vizsgálatot is végrehajtottak, amivel az optimális georács hálóméretet adták meg a névleges szemcse-átmérőhöz képest. Erre a mérésre 1,4-es érték adódott, mert ebben az esetben mobilizálódik a legkisebb kihúzási hosszánál a maximális ellenálló erő. Erre az eredményre jutottak (Brown et. al., 2007)-ben is, de ott konkrét laboratóriumi vizsgálatot hajtottak ehhez végre.

4. TANSZÉKÜNK TOVÁBBI KUTATÁSI ELKÉPZELÉSEI

Kutatócsoportunk a georács erősítésű vasúti zúzottkő ágyazat témakörével kíván foglalkozni. Nem kizárólag az erősített ágyazati anyag számítógépes modellezésével, hanem laboratóriumi vizsgálatokkal és terepi mérésekkel is. Laboratóriumi vizsgálatként a 10. ábrán elvben bemutatott többszintes nyíroládát terveztük, és gyártattuk le. Az ilyen laboratóriumi vizsgálatokkal kapcsolatos hazai és nemzetközi publikációkat átkutatva azt tapasztaltuk, hogy az interlocking hatás magassági értelemben történő változását nem állapították meg. Ezzel a többszintes nyíroláddal ezt a fontos, de mégis hiányzó elemet kívánjuk meghatározni.

A laborvizsgálat során három különböző rugalmassági modulusú aléptményt (pl. 9, 15 és 25 MPa), új és használt zúzottkővet, három függőleges terhelési értéket és legalább három típusú georácsot 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 sűrűdás hatását kiszűrve megegyeznek az F_{H1} erővel – tervezzük meghatározni. A négy nyírási síkot is figyelembe véve, (minimum) 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 tömörítő eszköz, azonos rétegek, azonos tömörítési járatszám stb.). Mérnünk és regisztrálnunk kell az alapteretben lévő rugalmas 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, filmre venni.

Mivel a laboratóriumi mérésekkel mindig valamilyen szükségszerű 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 pályába – célszerűen az ágyazatotrostálási munkával egybekötve ajánlott beépíteni (60 m hosszú georácsos szakaszt követően 60 m hosszú referencia szakasz, és így tovább öt különböző típusú georácsal). Az FKG szabályozást követően öt aljanként fel kell venni a sínkoronák magassági és a vágány vízszintes helyét 0,1 mm pontossággal.

Ehhez külön erre a célra telepített geodéziai mérési alappilléreket, vagy a felsővezeteki oszlopokra ragasztott gombokat lehet használni. Meghatározott időközönként (1 hét, 2 hét, 1–2–6–12–18–24 hónap) ismételt geodéziai méréseket kell végrehajítani. A különböző típusú georács erősítéses szakaszokon kialakult süllyedések egymáshoz, valamint az erősítés nélküli próbaszakaszok fekszinthibáihoz hasonlíthatók, illetve a változás is számítható az átgördült eleygtonna függvényében. Ezzel egyben az egyes georács típusok vágánystabilizálási hatékonyságát, valamint további számítások elvégzésével a beépítés következtében ritkábban szükségessé váló szabályozási munkák révén elérhető költségmegtakarítást 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 geometriai stabilizálás szempontjából hatékony ágyazatvastagság is meghatározható.

A mérendő georácsaink a Hegyeshalom–Budapest Kelenföld vasútvonal jobb vágányának 1619 és 1629 szelvényei közé fognak beépülni. A 11. ábrán az 1621–1622 szelvények közötti pozícióból Hegyeshalom felé fotózva láthatjuk a szóban forgó vágányt az elsárosodott ágyazattal, ami egyértelműen mutatja a vízszákok kialakulását (világos foltok a zúzottkő ágyazaton). A 12. ábra egy feltárt vágot mutat, amelyből szemmel láthatóan folyik ki a felgyülemlett víz. A 13. ábrán egy konkrét beépítési példát láthatunk, amelynél Tensar georácsot alkalmaztak.

A hivatkozott DEM-es modellezéssel foglalkozó cikkek alapján bizonyított, hogy nagyon hatékonyan meg lehet határozni a

georács és a zúzottkő szemcsék együttes viselkedését, amihez mindenképpen szükségünk lesz a laboratóriumi méréseink eredményeire. Ezeket PFC3D szoftverrel történő szimulációkban fogjuk felhasználni. A laboratóriumi idő- és költségigényes méréseket ezzel a modellezéssel kívánjuk egyszerűen igazolni, másrészt – a számítógépen viszonylag könnyen és gyorsan lefuttatható számításokkal – kiegészíteni. A számítást a zúzottkő szemcsék frakcióként pontosított alakjával tervezzük elvégezni, a szemeloszlást is meghatározva, s majd a DEM-es modellben pontosan ilyen szemeloszlású ágyazati anyagalmazt fogunk generálni. Így még több esetet (georács típus és rétegek száma, zúzottkő szemcsék kapcsolatainak jellege, stb.) lehet vizsgálni, ezáltal sokkal megbízhatóbb eredményeket fogunk kapni a georácsal erősített ágyazatú vágányról. A többszintes nyíróládában a vizsgálóablakokon át figyelemmel kísért szemcsemozgások is előállíthatók az említett diszkrét elemes programmal, amelyek összevethetők egymással.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikk a georács erősítésű vasúti zúzottkőves ágyazat diszkrét elemes modellezési lehetőségeivel foglalkozik, az Itasca Consulting Group Inc. PFC3D szoftverével történő szimulációt részletesen tárgyalva. A cikkben bemutatjuk az ezzel a témakörrel foglalkozó eddigi nemzetközi publikációkat, és megfogalmazzuk a Széchenyi István Egyetem Közlekedésepítési és Településmérnöki Tanszékén folyó kutatás célkitűzéseit.

SUMMARY

DISCRETE ELEMENT MODELLING POSSIBILITIES OF THE GEOGRID-REINFORCED RAILWAY BALLAST

This paper deals with the discrete element modelling (DEM) possibilities of the geogrid-reinforced railway ballast, in detail it introduces the simulation with PFC3D developed by Itasca Consulting Group Inc. The authors showed the results of the Hungarian and international publications related to this research topic, and they pointed to the goals of their further research.

IRODALOMJEGYZÉK

- Bagi, K. (2007): *A diszkrét elemek módszere*, egyetemi jegyzet, BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, 2007, p. 73.
- Bertrand, D., Nicot, F., Gotteland, P., Lambert, S. (2005): *Modelling a geo-composite cell using discrete analysis*, Computers and Geotechnics, Vol. 32, 2005, pp. 564–577.
- Bhandari, A., Han, J. (2009): *Investigation of geotextile-soil interaction under a cyclic load using the discrete element method*, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 28, 2009, pp. 33–43.
- Brown, S. F., Kwan, J., Thom, N. H. (2007): *Identifying the key parameters that influence geogrid reinforcement of railway ballast*, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 25, 2007, pp. 326–335.
- Bussert, F. (2009): *Recent research into the actual behaviour of geogrids in reinforced soil*, nyomtatásban nem megjelent konferencia előadás, Jubilee Symposium on Polymer Geogrid Reinforcement, 2009. szeptember, London (Egyesült Királyság)
- Cundall, P. A., Strack, O. D. L. (1979): *A Discrete Numerical Model for Granular Assemblies*, Géotechnique, Vol. 29, 1979, pp. 47–65.

Indraratna, B., Ionescu, D., Christie, H. D. (2004): *Shear behaviour of railway ballast based on large-scale triaxial tests*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 5, 2004, pp. 439–449.

Indraratna, B., Shahin, M. A., Salim, W. (2007): *Stabilisation of granular media and formation soil using geosynthetics with special reference to railway engineering*, Ground Improvement, Vol. 11, No. 1, 2007, pp. 27–43.

Itasca Consulting Group Inc. (2008a): *PFC3D – Particle Flow Code in 3 Dimensions, Ver. 4.0 User's Manual*, Minneapolis (USA), Minnesota

Itasca Consulting Group Inc. (2008b): *PFC3D – Particle Flow Code in 3 Dimensions, Ver. 4.0 Command reference*, Minneapolis (USA), Minnesota

Itasca Consulting Group Inc. (2008c): *PFC3D – Particle Flow Code in 3 Dimensions, Ver. 4.0 Fish in PFC3D*, Minneapolis (USA), Minnesota

Itasca Consulting Group Inc. (2008d): *PFC3D – Particle Flow Code in 3 Dimensions, Ver. 4.0 Theory and Background*, Minneapolis (USA), Minnesota

Itasca Consulting Group Inc. (2008e): *PFC3D – Particle Flow Code in 3 Dimensions, Ver. 4.0 Optional Features*, Minneapolis (USA), Minnesota

Itasca Consulting Group Inc. (2008f): *PFC3D – Particle Flow Code in 3 Dimensions, Ver. 4.0 Verification Problems and Example Applications*, Minneapolis (USA), Minnesota

Konietzky, H., te Kamp, L., Groeger, T., Jenner, C. (2004): *Use of DEM to model the interlocking effect of geogrids under static and cyclic loading*, Numerical Modelling in Micromechanics via Particle methods (szerk.: Shimizu, Y., Hart, R., Cundall, P.), A. A. Balkema, Rotterdam (Hollandia), pp. 3–11.

McDowell, G. R., Konietzky, H., Jenner, C., Harireche, O., Brown, S. F., Thom, N. H. (2006): *Discrete element modelling of geogrid-reinforced aggregates*, Proceedings of the Institution of Civil Engineering - Geotechnical engineering (ISSN 1353-2618), Vol. 159, No. 1, 2006, pp. 35–48.

Perkins, S. W., Edens, M. Q. (2003): *Finite element modeling of a geosynthetic pullout test*, Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 21, 2003, pp. 357–375.

Rakowski, Z., Kawalec, J. (2009): *Mechanically stabilized layers in road construction*, nyomtatásban nem megjelent konferencia előadás, XXVII. International Baltic Road Conference, 2009. augusztus, Riga (Lettország)

Shuwang, Y., Shouzhong, F., Barr, B. (1998): *Finite element modelling of soil-geogrid interaction dealing with the pullout behaviour of geogrids*, Acta Mechanica Sinica (English Series) (ISSN 0567-7718), Vol. 14, No. 4, 1998, pp. 371–382.

Tensar International Limited (2007): *Railways – Mechanical Stabilisation of Track Ballast and Sub-ballast*, Tensar termékismertető füzet, Blackburn, 2007. június, p. 11.

Tutumluer, E., Huang, H., Bian, X. (2009): *Research on the behaviour of geogrids in stabilisation applications*, nyomtatásban nem megjelent konferencia előadás, Jubilee Symposium on Polymer Geogrid Reinforcement, 2009. szeptember, London (Egyesült Királyság)

FELHÍVÁS A 2010. ÉVI ÉPÍTŐIPARI NÍVÓDÍJ PÁLYÁZATRA

Valamely létesítmény létrehozásában részt vevők jó együttműködésének, a kiváló tervezésnek és mesterséget magas fokon megvalósító kivitelezésnek nyilvános elismerésére az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetsége, az Építéstudományi Egyesület, a Magyar Építőművészek Szövetsége, a Magyar Mérnöki Kamara Építési Tagozata, a Magyar Építész Kamara, a Magyar Épületgépészeti Koordinációs Szövetség, a Közlekedéstudományi Egyesület, az MTF Közműtechnológiákért Egyesület, illetve az Építőipari Mesterdíj Alapítvány meghirdette a

2010. évi ÉPÍTŐIPARI NÍVÓDÍJ-at

A feladatot megvalósítók nevében a pályázó a létesítmény fővállalkozója lehet, de elnyerés esetén az Építőipari Nívódíjat hirdető táblán mellette szerepelnek az építető, a tervező, valamint a generálkivitelező által megnevezett három, a kivitelezésben érdemi munkát végzett alvállalkozó és mindezeknek a létesítmény megvalósulását közvetlenül irányító vezetői.

Tíz kategóriába sorolható építménnyel lehet pályázni. Ezek: többlakásos lakóház, középület, irodaépület, kereskedelmi létesítmény, sport- és szabadidős létesítmény, ipari és energetikai létesítmény, műemlék helyreállítás és rehabilitáció, közlekedési létesítmény, infrastrukturális létesítmény, környezetvédelmi és vízügyi létesítmény.

Részletes tájékoztatás és letölthető jelentkezési lap az Építőipari Mesterdíj Alapítvány Kuratóriuma honlapján (www.mesterdij.hu) "A Nívódíjról" rovatban található. Beadási határidő: 2010. szeptember 13.-án, hétfőn 16 óra.

A FERDEKÁBELES HIDAK TÖRTÉNETE ÉS SZERKEZETI KIALAKÍTÁSA

HALVAX KATALIN¹

1. BEVEZETÉS

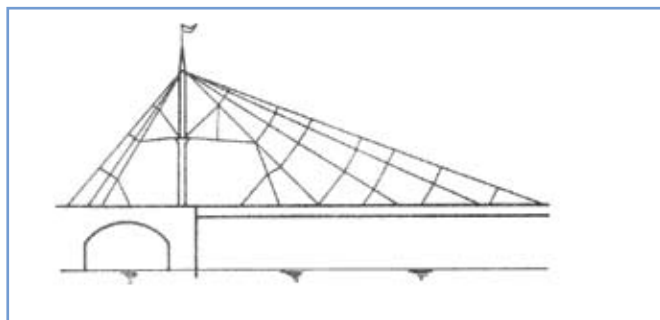
Napjainkban a 100–150 méternél nagyobb nyílások áthidalására szinte kizárólag kábelhidakat terveznek (ferdekábeles illetve függőhidakat). Ezek az elmúlt közel két évszázad alatt óriási fejlődésen mentek keresztül. Jelen cikkben bemutatom a ferdekábeles hidak ez idő alatt végbement fejlődését, a 19. század elején tett kezdeti próbálkozásoktól, a függőhíddal kombinált rendszereken keresztül, a mai sűrű kábelezésű hidakig, melyek támaszköze elérheti akár a 890 métert is (Tatara híd, Japán). Ezen belül ismertetem a szerkezeti rendszer kialakítását (pilon, merevítőtartó, kábelek típusa, elrendezése, kapcsolata) és a karcsú szerkezetek viselkedését a dinamikus gerjesztést okozó terhek egyikére, a szélterherre. Az általános ismertetésen és a kiemelt példákon túl röviden foglalkozom a hazánkban eddig megépült két ferdekábeles hiddal.

2. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

A ferdekábeles hidak alap gondolata, mely szerint egy toronyból induló kábelek támasztanak alá gerendákat, igen régre, a történelem előtti időkre nyúlik vissza. Láthatunk régi óegyiptomi rajzokon, domborműveken árbóca kötelekkel függesztett gerendát (vitorlarudat), vagy például Délkelet-Ázsia egyes övezeteiben készítettek olyan átkelési lehetőségeket folyók felett, melyeket liánok tartottak. A liánok egyik végét a fára kötötték, másik végét pedig a bambuszrudakból álló járófelülethez rögzítették.

Az alap gondolat szerkezeti rendszerként történő alkalmazásával a 18. század végén, illetve a 19. század elején próbálkoztak először. 1817-ben két angol mérnök, Redpath és Brown építették a King's Meadows gyaloghídat. A híd pilonja öntöttvasból készült, és az ehhez erősített ferde rudak tartották a szerkezetet, melynek középnyílása kb. 34 m-es volt. [1]

1824-ben Németországban a Saale folyón építettek egy hidat, melynek főtartóit a pilonra függesztett sugaras elrendezésű rudak merevítették. A híd vázlatán (1. ábra) látható, hogy a rudakat



1. ábra: A Saale folyón épített híd vázlatát [1]

egymással is összekötötték. A híd azonban a terhelés alatt nagy alakváltozásokat mutatott, és az építést követő évben össze is omlott egy nagy embertömeg alatt. [1]

A szerkezeti rendszer kezdeti alkalmazási kísérletei sikertelenek maradtak, és a legtöbb esetben tönkremenetelhez vezettek. A katasztrófák jó része természetesen annak következménye volt, hogy ekkor a statika tudománya még csak gyerekcipőben járt, a tervezők nem értették a szerkezet tényleges viselkedését, miközben ez a szerkezet egyike a legbonyolultabbaknak, mely még a mai eszközök és tapasztalatok mellett is komoly feladat elé állítja a tervezőket és a kivitelezőket egyaránt. A kábelek keresztmetszete kicsi volt, nem feszítették meg azokat, mivel ekkor még nem álltak rendelkezésre a napjainkban is használt feszítőkábelek és technikák, valamint a kivitelezők is gyakran hibáztak az építés során. Mindezek olyan vélemény kialakulásához vezettek, hogy a ferdekábeles hidak túl hajlékonyak, nem biztonságosak, és mivel ekkor a megépült hidak többsége vasút átvezetésére szolgált, így ez még nagyobb hangsúlyt kapott. A mérnökök ezért a ferdekábeles hidak helyett inkább a függőhidak építése felé fordultak, valamint az akkor rendelkezésre álló vas- és acélműanyagok alacsony szilárdsága is ebbe az irányba terelte a fejlődést.

A 19. század második felében a hídépítés fénykorát élte, ennek ellenére a ferdekábeles rendszer sehol sem kapott önálló szerepet, csak függőhíddal kombinált szerkezetként kísérleteztek vele. 1883-ban adták át a John Augustus Roebling által tervezett Brooklyn hidat New York-ban. Roebling függőhídjainál jó érzékkel alkalmazta a ferde kábeleket, ezzel megosztotta a terhelést a tartókábelek és a ferde merevítőkábelek között, valamint az így kialakult szerkezeti rendszer kellő merevségű volt a forgalom és a szél hatásával szemben is. Ezen elgondolásra épülve több híd is készült az ő tervei alapján, melyek közül a legkiemelkedőbb a 2. ábrán látható Brooklyn híd. Itt a ferde kábeleket azért alkalmazta, hogy növelje a pályaszerkezet merevségét, de végül jól ki tudta használni az ebből adódó teherbírási többletet. Ő maga erről így nyilatkozott: „A ferde merevítésekkel összekapcsolt pályaszerkezet megtartja önmagát a tartókábelek segítségével nélkül; a ferde merevítések támasztó hatása önmagában is elegendő a pályaszerkezet megtartására. Ha a kábeleket eltávolítanánk, a híd közepe lesüllyedne, de nem zuhanna le.” [1]

A függőhíddal kombinált szerkezetek alkalmazása során szerzett tapasztalatok rámutattak, hogy a ferde kábelek alkalmazásával fokozható a függőhidak merevsége, és aerodinamikai stabilitása. Ezen műtárgyak azonban még nem sorolhatók egyértelműen a ferdekábeles hidak közé. Az igazi fejlődés és a szerkezeti rendszer tisztulása 1950 után indult meg, ugyanis a második világháborút követő újjáépítésekben előtérbe került az anyag- és költségtakarékosság, így a tervezők újra elővették a ferdekábeles hidak gondolatát. A fejlődésben három generáció különböztethető meg.

¹ Okleveles építőmérnök, egyetemi tanársegéd, Széchenyi István Egyetem, Szerkezetépítési Tanszék; e-mail: halvax@sze.hu



2. ábra: Brooklyn-híd, Amerikai Egyesült Államok

2.1. ELSŐGENERÁCIÓS FERDEKÁBELES HIDAK

1956-ban adták át a Franz Dischinger által tervezett Strömsund hidat (3. ábra). A háromnyílású híd támaszközei $75 + 183 + 75$ m, a két pilonja egy-egy trapéz alakú keret, melyek tetejéhez fixen kapcsolódnak a sugarasan szétágazó ferde kábelek. Mindkét pilonhoz nyolc kábel csatlakozik, egy-egy kábelcsoport négy egymással párhuzamosan vezetett kábelből áll, a négy kábelvégződés egyetlen öntöttvas blokkhoz kapcsolódik. A pályaszerkezetet hossz- és keresztirányú támasztók alátámasztják, a merevítőtartó magassága 3,20 m. A Strömsund-hidat tekintjük az első modern tervezésű ferdekábeles hídnak. Nem sokkal ezután, 1958-ban adták át a düsseldorfi Theodor Heuss hidat, az első nagynyílású ferdekábeles hidat $108 + 260 + 108$ m nyílásméretekkkel. Pilonjai 43,91 m magasságú különálló acéloszlopok, melyekbe mindkét oldalról három-három ferde kábel csatlakozik. A kocsiút két oldalán található párhuzamos elrendezésű, függőleges síkú kábelek alsó vége a pályaszerkezet két oldalán található kisméretű szekrénytartókba köt be. [1]

Az első két modern ferdekábeles híd esztétikusnak, gazdaságosnak, kellően merevnek bizonyult, és mivel a kivitelezése sem volt túlságosan bonyolult, így megnyílt az út ezen szerkezeti rendszer térhódítása előtt. Az elsőgenerációs hidakat, mint láthattuk, még a kevés számú és egymástól távol lehorgonyzott kábelek, vala-



3. ábra: Strömsund-híd, Svédország



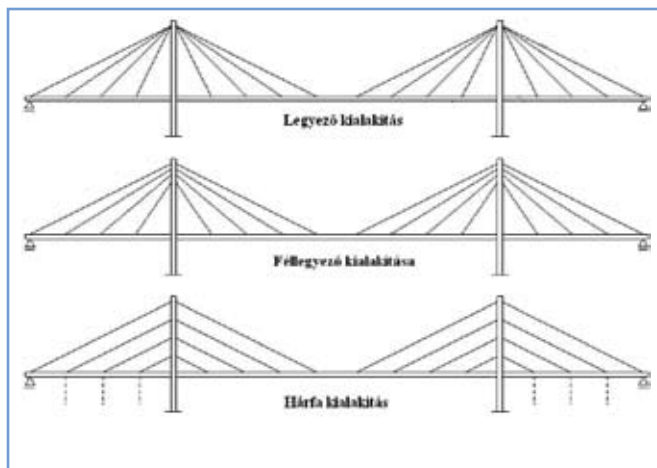
4. ábra: Ikuchi-híd, Japán

mint az igen merev pályatartó jellemezte. Erre azért volt szükség, mert az egymástól távol lévő kábelhorgonyzási pontok között a tartót nagy hajlítónyomaték terheli, így nagy hajlítómerevségű keresztmetszet volt szükséges.

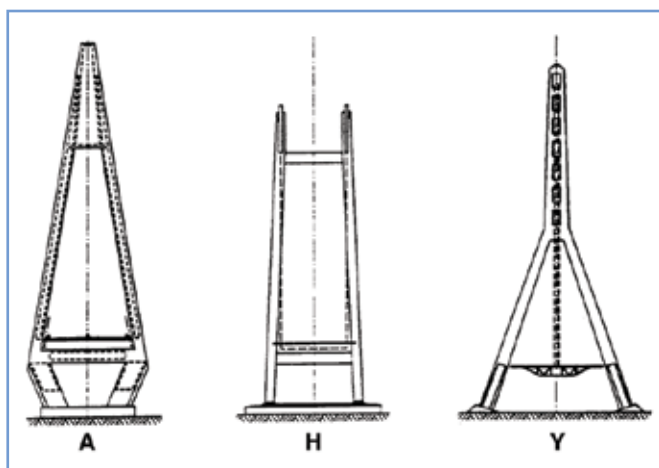
2.2. MÁSOD- ÉS HARMADIK GENERÁCIÓS HIDAK

A második generációs hidaknál már sűrűbb kábelezést alkalmaztak, ezáltal csökkenthető volt a merevítőtartó hajlítómerevsége. A pilonoknál a merevítőtartó jellemzően mereven csatlakozott a pilonhoz, így a tartó ferde kábelek általi felfüggesztése a pilonnál megszakadt, így ezen hidakat szokás részleges felfüggesztésű ferdekábeles hidaknak is nevezni.

A harmadik generációt a sűrű kábelezés és a teljes felfüggesztés jellemzi. Ezenél a merevítőtartó nem mereven csatlakozik a pilon-



5. ábra: Kábelrendezések



6. ábra: Pilonkialakítások

hoz, hanem teljes hosszában a ferde kábelek függesztik fel. Ezzel elérhetővé vált, hogy a tartó magasságát döntően ne a nyílásméret határozza meg, hanem a tartó alakváltozása, stabilitása. Igen esztétikus példája a sokkábeles rendszernek az 1991-ben készült Ikuchi híd Japánban (4. ábra). Az acélpilon gyémánt alakú, a ferde kábelek a pálya két oldalán legyezőszerű elrendezésben függesztik fel a zárt szekrény keresztmetszetű merevítő tartót.

A ferdekábeles hidak rövid történetében igen jelentős fejlődés tanúi lehetünk, a legnagyobb ugrást az utolsó évtizedekben tették. Az 1956-ban átadott Strömsund-híd 183 méteres középső nyílásméretétől 44 év alatt eljutottak az 1999-ben átadott Tata-híd 890 méteres nyílásméretéig.

3. ÁLTALÁNOS ELRENDEZÉS, SZERKEZETI KIALAKÍTÁS

3.1. KÁBELELRENDEZÉS

A kábelek elrendezésére számos lehetőség adódik. Legyezőelrendezés esetén a kábelek egy pontban találkoznak a pilon tetején (pl. Strömsund-híd, Svédország), a hárfaelrendezésnél a kábelek párhuzamosan futnak, és különböző magasságban csatlakoznak a pilonhoz (pl. Öresund híd, Dánia–Svédország), míg a félegyező kialakítás jó kompromisszumot jelent a két elrendezés között, elsősorban nagy fesztávolságok esetén (5. ábra). A legyező- és a hárfaelrendezés összehasonlítása azt az eredményt mutatta, hogy a hárfaelrendezés acélszüksége nagyobb, a merevítő-tartóban keletkező normálerő is nagyobb, valamint a pilont jelentős hajlítónyomaték is terheli. Az erőtanai és gazdaságossági szempontok alapján a legyezőelrendezés tűnik kedvezőbbnek, viszont a híd megjelenése szempontjából a hárfaelrendezést tartják esztétikusabbnak, továbbá ezen kialakítás mellett szól, hogy a kábelek cseréje (pl. egy baleset miatt) könnyebben megoldható, hisz nem egy pontban futnak össze. [2]

A kábelek elrendezése csoportosítható a kábelsíkok elrendezése és száma alapján is. Az eddig megépült szerkezetek jelentős része két kábelsíkú, melyek a pályaszerkezet két oldalán a kocsi-pálya és a gyalogjárda/kerékpárút találkozási vonalában vagy a pályaszerkezeten kívül helyezkednek el. Utóbbi esetben a pilon és a kábelek nem foglalnak el hasznos pályafelületet, de az alépitménynek szélesebbnek kell lennie, mivel a pilonszárak körbezárlják a pályát, és a kábellehorgonyzási pontok távolabb esnek a merevítőtartó gerincétől. A két kábelsík lehet függőleges vagy akár ferde síkú is (pl. Normandie híd, Franciaország).

Az egysíkú elrendezésnél a kábelek általában a felszerkezet hossz-tengelyében vannak elhelyezve (pl. Brotonne-híd, Franciaország), ezért nagy csavarómerevségű merevítőtartót kell alkalmazni az excentrikusan működő hasznos terhelés miatt, ez általában zárt szekrénytartó. A kialakítás kézenfekvő, ha a forgalmi sávok szét vannak választva, és ezt változtatás nélkül kell átvezetni a hídon. Kis terhelések esetén, pl. gyaloghidaknál, előfordulhat, hogy a kábelsíkot a merevítő tartó egyik oldalára helyezik el.

3.2. PILONTÍPUSOK

A ferdekábeles hidak pilonjai mind hossz-, mind keresztirányban különböző kialakításúak lehetnek. Anyagukat tekintve egyaránt készülhetnek acélból illetve vasbetonból. Hosszirányban a leggyakoribb az egyágú, függőleges pilon, ritkább esetekben fordul elő a V vagy A alakú, esetleg ferde pilon (pl. Új híd, Szlovákia). Keresztirányban a geometriai alapon történő elrendezés az alábbi csoportosítást eredményezi:

- négyszög, vagy trapéz alakú pilon
- önálló ikeroszlopok vagy merevítőtartóval kapcsolt ikeroszlopok
- egyoszlopos pilon (középső vagy szélső kábelvezetéssel)
- A-keretek (egy vagy kétsíkú kábelrendezéssel)
- gyémánt alakú, H alakú pilon.

A kezdeti időszakban a keret alakú pilonokat alkalmazták a függőhidak örökségeként, azonban hamar rájöttek, hogy a kábelek által továbbított keresztirányú vízszintes erők viszonylag kicsik, így az önálló oszlopos pilonok is alkalmazhatók. A 6. ábrán láthatjuk a napjainkban leggyakrabban alkalmazott kialakításokat.

3.3. MEREVÍTŐTARTÓ-TÍPUSOK

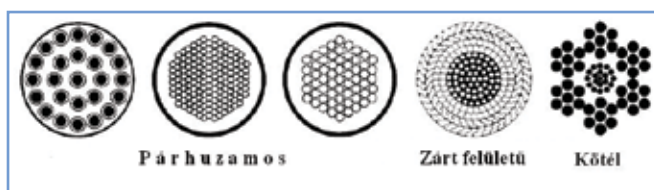
A ferde kábelekre függesztett tartót nevezzük merevítőtartónak, mely készülhet acélból, vasbetonból illetve feszített betonból is. Az acél merevítőtartók jellemző típusai a különböző szekrénytartók, egycellás vagy kétcellás szekrénytartó ferde dűcokkal, gyakori a lapos trapéz keresztmetszetű vagy az iker szekrénytartó és, ugyan ritkán, de alkalmazzák az emeletes rácsos tartóként kialakított merevítőtartókat is. A vasbetonból illetve feszített betonból készült tartók keresztmetszete is egyaránt lehet nyitott vagy zárt, egy vagy többcellás, iker vagy akár ferde gerincű szekrénytartó is.

A merevítőtartó és a pilon kapcsolata kialakítható teljes vagy részleges felfüggesztésként. Teljes felfüggesztés esetén a pilon és a tartó között nincs függőleges megtámasztás, de vízszintes kapcsolatot ki kell alakítani a szél és a földrengés hatásainak felvételére. Részleges felfüggesztés esetén kapcsolat lehet teljes vagy részleges befogás illetve csuklós megtámasztás.

3.4. KÁBELTÍPUSOK, LEHORGONYZÁS

Az alkalmazott kábeleknek három típusa különböztethető meg, melyek a 7. ábrán látunk:

- párhuzamos pászmákból vagy huzalokból álló kábel



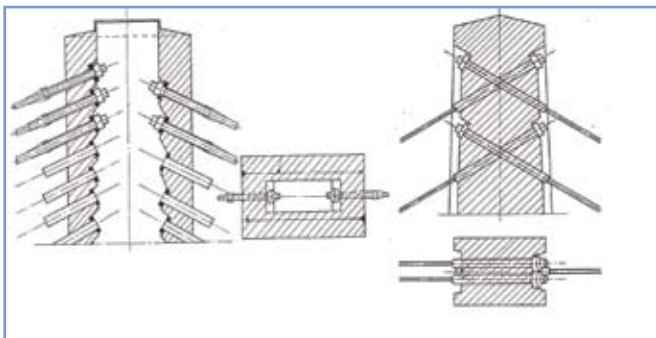
7. ábra: Kábeltípusok

- zárt felületű, spirál formában font kábel
- csavart pászmákból spirál formában font kötél.

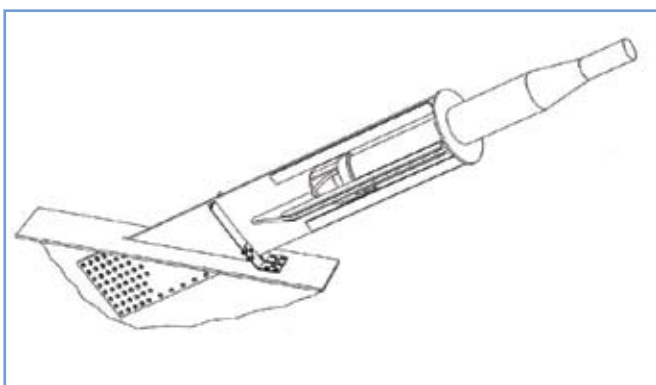
A párhuzamos pászmákból vagy huzalokból álló kábelben a huzalok illetve a pászmák sodrás nélkül egymás mellé vannak elhelyezve, méhsejtre emlékeztető geometriai formában. A csavart pászmák leggyakoribb kialakítása, hogy egy a középpontban vezetett pászmát hat csavarvonalban vezetett pászma vesz körül, ezekből a csavart pászmakötegekből készül a spirál formában font kötél. A zárt felületű kábel belső része azonos a többrétegű csavart pászmák felépítésével, de ezt a belső magot egy-két olyan réteg határolja, melyeket trapéz keresztmetszetű huzalokból sodortak, és melynek felületén még egy-két rétegben Z keresztmetszetű huzalok is találhatóak, így egy sokkal zártabb felület alakítható ki.

A kábelek felületét kezdetben festékekkel és különböző bitumenes bevonatokkal látták el a korrózióvédelem miatt. Mára ez a védekezés sokkal hatékonyabb lett. A kábeleket műanyag védőcsőben vezetik, a csövön belüli üreget pedig kiinjektálják. Ez régebben cementhabarccsal történt, napjainkban inkább korrózióvédő olajat vagy valamilyen műanyag gyantát/habot használnak.

A kábelek lehorgonyzása, azaz a kábelpilon, valamint a kábel-merevítőtartó kapcsolat nagyon sokféle lehet. A kábelnek a pilonnal alkotott kapcsolata napjainkban általában fix kapcsolat, ami megakadályozza a kábel vízszintes elmozdulását a pilon tengelyéhez képest, de a kábel hajlékonysága révén, korlátozott mértékben elfordulhat a kábelsíkban a pilon tengelyéhez képest. Régebben alkalmaztak mozgó kialakítású csomópontot, mely lehetővé teszi a kábel kismértékű vízszintes elmozdulását annak érdekében, hogy a kétoldalt befutó kábelek erejének vízszintes összetevője ne okozzon (túl nagy) hajlítónyomatékot a pilonban.



8. ábra: Fix kábel-pilon kapcsolat kialakítása [2]



9. ábra: Kábelek csöves lehorgonyzása

Fix pilon-kábel kapcsolat kialakítására láthatunk két egyszerű példát a 8. ábrán. Az egyik esetben a kábeleket egyszerűen áthúzzák a betonpilonba ágyazott csöveken, majd egy csavaranyával rögzítik. A kábelerők okozta húzást a pilon feszítésével veszik fel. Ez a kialakítás nemcsak az egyszerűség miatt előnyös, de a kábelek esetleges cseréje is könnyen megoldható. A pilon belső terének természetesen elegendő nagyknak kell lennie a kivitelezés során és az esetleges csere alkalmával történő munkavégzésre. Tömör pilonok esetén lehetséges a kábelek keresztezése, majd a homlokfalon történő rögzítése. E megoldás előnye, hogy kikerüli az előzőben szükséges feszítés alkalmazását, de olyan kábelelrendezést kell választani, amely centrikus erőhatás biztosít, elkerülve a pilonláb csavarását.

A kábelek merevítőtartóval alkotott csomópontja szintén sokféleképpen kialakítható, de két fontos szempontot mindig be kell tartanunk. Úgy kell kialakítani a kapcsolatot, hogy biztonságosan és korrekt módon adódjon át a kábelerő a merevítőtartóba, valamint meg kell teremteni a kábelerő vagy a kábelhossz szabályozásának lehetőségét. A kábelhossz szabályozásának lehetőségét gyakran a pilonnal alkotott kapcsolatban oldják meg, mint például a Megyeri hídon [3]. A 9. ábrán láthatunk egy példát csöves lehorgonyzásra.

4. KÖZELÍTŐ ERŐTANI SZÁMÍTÁS

4.1. A KÁBELEK EFFEKTÍV RUGALMASSÁGI MODULUSA

A ferdekábeles hidak merevsége nagy mértékben függ a kábelek ún. „húzási merevségétől”. A beépített kábelek rugalmassági modulusa nem azonos a kábelhuzal vagy kötél laboratóriumban mérhető rugalmassági modulusával. Az eltérés a két végén fel függesztett kábel belógására vezethető vissza. [1] A kábelek alakja a valóságban ugyanis nem egyenes, hanem az önsúlyuk miatt egy kötélgörbe, és ez befolyásolja a bennük ébredő normálerőt.

A kábel belógása és a kábelerő vízszintes vetülete közti összefüggés: [1] (10. ábra)

$$H = \frac{g_0 \cdot l^2}{8 \cdot f} \tag{1}$$

ahol

- H – a kábelerő vízszintes komponense
- g_0 – a kábel vetületi hosszra vetített folyómétersúlya
- f – kábelbelógás

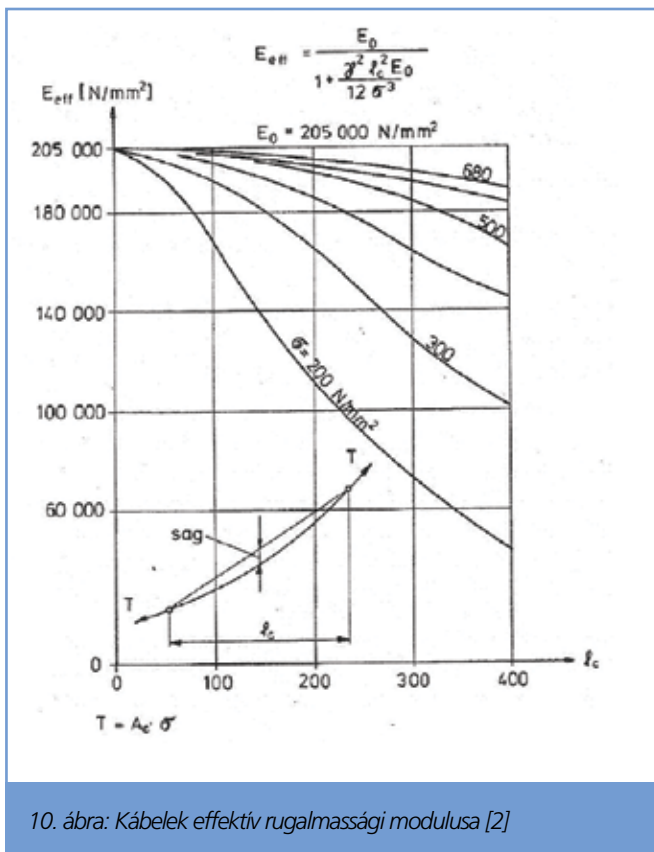
A kábel effektív rugalmassági modulusa [1], [2] (10. ábra):

$$E_{eff} = \frac{E_0}{1 + \frac{\gamma^2 \cdot l^2}{12 \cdot \sigma^3} \cdot E_0} \tag{2}$$

ahol

- E_0 – a kábel rugalmassági modulusa
- γ = a kábel térfogatsúlya
- l = a kábelhossz vízszintes vetülete
- σ = a kábelben ébredő húzófeszültség, figyelembe véve a belógást

A 10. ábrán látható grafikonon az effektív rugalmassági modulusát ábrázolták a kábelhossz vízszintes vetületének és a kábelben ébredő feszültségnek a függvényében. Az (2) képlet mutatja, hogy az effektív rugalmassági modulusa a kábelfeszültség harmadik hatványával arányosan nő, míg a kábelhossz vízszintes vetületének négyzetes arányában csökken. A belógás hatását a kábelfeszültség fejezi ki (minél nagyobb a feszültség, annál kisebb a belógás).



10. ábra: Kábelek effektív rugalmassági modulusa [2]

4.2. KÖZELÍTŐ ERŐTANI SZÁMÍTÁS

A ferdekábeles hidak számításánál a kábeleket rugalmas rudaként kezelik, mindezt azért, mert a kábelekben működő nagy (elő) feszítő erő jóval nagyobb, mint az a nyomóerő, ami a kábelben az egyes teherállásokból keletkezhet. A merevítőtartót részben fixen, részben rugalmasan alátámasztott folytatolagos többtámaszú tartóként számítják, azonban a számítást megnehezíti, hogy az egyes kábelcsomópontokban a rugóállandó nem azonos, továbbá az egyes alátámasztási pontokon belül sem azonos, hiszen a kábelfeszültség harmadik hatványával arányosan változik. Mindezekon felül nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt sem, hogy a kábelek közötti igénybevétel-eloszlás és így a merevítő tartó hajlítónyomatéka, nagymértékben függ attól, hogy hogyan kapcsolódnak a kábelek a pilonhoz (fix vagy mozgó). A hídszerkezet a számítás során térbeli szerkezetként kezelendő, és mivel a számítás meglehetősen bonyolult a többszörös belső és külső határozatlanság miatt, ez szinte mindig számítógéppel történik. A számítás során elengedhetetlen az egyes építési fázisok modellezése, mivel a határozatlanság foka fokozatosan növekszik, ami állandó igénybevétel-átrendeződést eredményez.

Ferdekábeles hidak esetében általában nem hanyagolhatók el a másodrendű hatások, ugyanis ez a biztonság rovására történne. A másodrendű hatások nagyságát 700 és 900 m-es támaszközű hidakon vizsgálva megállapították, hogy a kábelek belógásának elhanyagolásával az eltérés -10%-os, a kábelek belógásának figyelembevételével az eltérés +30%-os, a merevítőtartó nyomatékaira vonatkoztatva. A másodrendű hatások figyelembevétele 250–300 m feletti támaszközű hárfahidak esetén indokolt. [1]

A ferdekábeles tartószerkezeti rendszer statikai határozatlanságának a foka (külső és belső határozatlanság együtt) az alábbi képlettel határozható meg [1]:

$$N = K + 2 \cdot T - M - 3 \quad (3)$$

ahol

K – a szerkezetben lévő ferde kábelek száma

T – a merevítőtartó alátámasztásainak száma

M – a mozgó kapcsolatok, alátámasztások, csuklók száma (figyelembe véve a mozgó kábel-pilon kapcsolatokat számát is)

Mivel a statikailag sokszorosán határozatlan ferdekábeles szerkezetek erőtani számítása meglehetősen bonyolult, ezért kidolgoztak egyszerű és könnyen használható módszereket az igénybevételek és a keresztmetszeti méretek közelítő meghatározására, melyek nagyon hasznosak lehetnek a vázlattervek és a különböző tervváltozatok elkészítéséhez. Ezek közül érdekességképpen egy példa [1]:

Ha a középnyílást a ferde kábelek öt egyenlő csomóponti részre osztják (11. ábra):

– a merevítőtartó hajlító-igénybevétele:

$$M_{\text{max}} \approx 0,007 \cdot q \cdot l^2 \quad (4)$$

– hőmérséklet-változásból keletkező nyomaték nyílásközépen:

$$M_{\text{max}} \approx 30 \cdot \frac{E \cdot I \cdot \alpha \cdot t}{l} \quad (5)$$

– kábelerők:

$$S_1 \approx \frac{0,236 \cdot q \cdot l}{\sin \alpha_1} \quad (6)$$

$$S_2 \approx \frac{0,173 \cdot q \cdot l}{\sin \alpha_2}$$

– hátrakötő kábel igénybevétele:

$$S_0 \approx \left(\frac{0,236}{\tan \alpha_1} + \frac{0,173}{\tan \alpha_2} \right) \cdot \frac{q \cdot l}{\cos \alpha_0} \quad (7)$$

ahol:

q – a teljes terhelés (állandó + esetleges)

l – a középső támaszköz

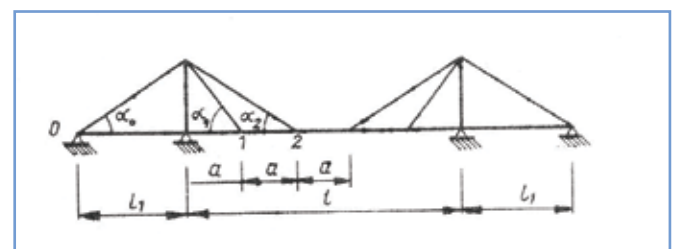
α – hőtágulási együttható

t – hőmérséklet-változás.

5. DINAMIKUS VISELKEDÉS

A ferdekábeles hidak, mint a karcsú szerkezetek általában, igen érzékenyek a dinamikus terhekre, ezért korlátoznunk kell a szerkezet rezgését, hogy elkerüljük a stabilitásvesztést, a fáradttörést illetve a használatot zavaró lengések kialakulását. Dinamikus gerjesztést háromféle teher típus okozhat: a járműteher, a szélteher, valamint a földrengés.

A járműteher dinamikus hatása nem jelentős a szerkezet önsúlyához képest, így ezt inkább az egyes elemek lokális vizsgálatokor



11. ábra: Hídvázlat, közelítő számításhoz [1]



12. ábra: M0-s északi Duna-híd (Megyeri híd)

veszik figyelembe. A földrengésveszélyes területeken természetesen a hidakat is méretezni kell a szeizmikus hatásokra, de erre jelen cikkben nem térek ki, elsősorban a szélteher hatásaival foglalkozom.

5.1. AERODINAMIKAI JELENSÉGEK

A ferdekábeles hidak esetén különösen nagy figyelmet kell fordítani a szél dinamikus hatására, ugyanis sok esetben, főként közepes és nagyfesz távolságú hidak esetében, döntően befolyásolhatja a szerkezet méreteit és alakját.

A szél dinamikus hatásai két csoportra oszthatók:

- állandó szélességgel gerjesztett szerkezet
- széllejtéssel gerjesztett szerkezet.

Az állandó (egyenletes) sebességű szél hatására a széláramba helyezett test két oldalán periodikusan vagy szabálytalanul leváló örvények (Kármán-féle örvények) a testet az áramlásra merőlegesen gerjesztik. A gyakorlatban előforduló szerkezetekre 30–50 km/órás kritikus szélességek jellemzőek. A rezgés amplitúdóját a szerkezet belső csillapítása korlátozza, valamint mivel a leválások a hossz tengely mentén nem minden pontban egyszerre következnek be, ez szintén a rezgés csillapítását eredményezi. Ezen felül egy megfelelően megválasztott áramvonalas keresztmetszettel még tovább csökkenthető az amplitúdó.

Belebégésnek (flutter) nevezzük az egyenletes szélesség hatására létrejövő egyik öngerjesztett rezgést. Ez akkor lép fel, ha a szerkezet a csavarási rezgéshez kapcsolódóan függőleges, hajlítási rezgést is végez. Például ha a szerkezetet v sebességgel kimozdítjuk felfelé, és ezen felül még φ szöggel elfordítjuk, akkor a szerkezetre F_1 felhajtó erő hat, ami arányos a φ szöggel és v^2 -tel. Azonban a függőleges elmozdulás miatt megváltozik a szél relatív beesési szöge, így létrejön egy F_2 lefelé ható erő. Ha kiszámítjuk a rezgés alatt végzett munkát, akkor láthatjuk, hogy egy bizonyos kritikus sebesség felett F_1 munkája nagyobb lesz, és egyre nagyobb amplitúdójú rezgést okoz, ami tönkremenetelhez vezet. Ennek elkerülésére a gyakorlatban olyan keresztmetszetek terveznek, melyeknél a szerkezet első függőleges hajlító- és csavarórezgés frekvenciájának aránya legalább 1:2.

Az öngerjesztett rezgések másik típusa a hídkábelek leggyakrabban megfigyelt rezgési jelensége, a „táncolás”. Ez a jelenség esőzés és szél együttes hatására alakulhat ki, ugyanis bizonyos feltételek teljesülése mellett még az egyébként stabil kör kereszt-

metszet is instabillá válhat. A mérnökök számos helyszíni vizsgálatot, elméleti elemzéseket és laboratóriumi szélcsatorna szimulációs vizsgálatokat végeztek [4, 5, 6] a jelenség vizsgálatára. A Tongji Egyetemen végzett kísérletben [4] a kábelmodell 2,5 m hosszú, 120 mm átmérőjű, a burkolata PE (polietilén) gumiból állt. A kábel hajlásszöge (α) és a szélirány (β) változó, a vizsgált szélesség 5 m/s-tól 13 m/s-ig terjedt. Elsőként a rezgés általános jellemzőit vizsgálták. Több vizsgálati sorozatot is végrehajtottak azonos feltételek mellett, szimulált esővel és a nélkül. Megállapították, hogy a rezgés keletkezésének egyik feltétele az esővíz felhalmozódása. Bizonyos szélesség és szélirány esetén a szél nyomása a kábel alsó oldala felé igyekvő esővizet visszatartja, ezáltal a felület felső részén egy vízer keletkezik, amely az alsó felületen jelen lévő vízzel együtt egy instabil, táncolásra érzékeny keresztmetszetet képez. A következőkben a kábel hajlásszögének hatását vizsgálták. 35°-os szélirány esetén azt tapasztalták, hogy a kábel erősen berezeg 25°-os és 45°-os hajlásszögek között, a maximális amplitúdó (37 cm) a 30°-os hajlásszögnél fordult elő. Ezek után 30°-os kábelhajlásszög mellett vizsgálták meg a szélirány hatását a rezgés létrejöttére. Az eredmények azt mutatták, hogy a felső folyadékáram és így a rezgés, létrejön a 30°-os, 35°-os, 40°-os szélirányok esetén, viszont nem jön létre 0°, 25° és 45°-os szélirányok esetén. A kábel rezgési amplitúdói a 30° és 35°-os szélirányok között a legnagyobbak. A következő vizsgálatcsoport a kábel sajátfrekvenciájának hatását tanulmányozta 30°-os kábelhajlásszög és 35°-os szélirány mellett. A kábelmodell sajátfrekvenciájának a növekedése a rezgési amplitúdó drámai csökkenését vonta maga után. Az 1,7 Hz-es frekvencia maximális amplitúdója csak egyhatoda az 1,0 Hz-esének. Amikor a frekvencia 2,6 Hz volt, a kábel rezgése minimális volt.

A másik szélcsatorna szimulációs kísérletben [5] vizsgálták a burkolat felületének hatását is. Kétféle anyaggal hajtottak végre vizsgálatokat, PE (polietilén) és PP (polipropilén) sima felületű csövekkel, melyek felülete az egyik vizsgálati sorozatban tiszta volt, a másik esetben pedig a burkolatot üzemanyag-olaj égéséből származó korommal vonták be, ami hasonló a légköri szennyeződéshez. Azonos feltételek mellett, tiszta felület esetén elhanyagolható mértékű rezgés alakult ki, viszont a korommal bevont felületen a folyadékáram (vízér) megjelent és jelentős rezgés keletkezett. Ugyanezen szélcsatornában vizsgálták a szélesség hatását is. Az eső és szél kiváltotta rezgések 7 m/másodperces közepes szélességnél jelentek meg, 12 m/másodpercnél nagyobb sebesség esetén pedig megszűntek.

Mindegyik kísérletnél [4, 6] vizsgálták a rezgés csökkentésének lehetőségét. Az egyik esetben például [4] különböző átmérőjű (0,5–1,0 mm) vezetőket tekertek az óramutató járásával megegyező és azzal ellentétes irányban a kábelmodell köré 30, illetve 60 cm-es menetemelkedéssel. Egy másik esetben [6] egy 2 mm átmérőjű fémkábelt tekertek a kábel felületére, 1,5 kábelátmérőnyi menetemelkedéssel. Mindkét esetben azt tapasztalták, hogy rezgés amplitúdóját jelentősen befolyásolta (csökkentette) azt alkalmazott megoldás.

A hazánkban épült első közúti ferdekábeles hídnál (Megyeri híd) a ferde kábeleket olyan speciális műanyag cső burkolja, melynek külső felülete kettős spirál formájú, 60 cm menetemelkedésű, 1,6/3,0 mm keresztmetszetű bordázattal készült. [7]

6. FEJLŐDÉSI IRÁNYOK

A ferdekábeles hidak fejlődése elérte már azt a pontot, hogy ezzel a szerkezettípussal már jelentős műszaki problémák nincsenek, azonban kényes pontok, hibalehetőségek természetesen előfordulnak, és ebben elsősorban a kábel áll az élen. A problémák fő-

ként a kábelek korróziós fáradási kérdéseit, a kábelek ellenőrzését, vizsgálatát, cseréjét, illetve azok aerodinamikus rezgéskeltését érintik. Amikor ezen problémákról beszélünk, nyilvánvalóan nemcsak magáról a kábelről van szó, hanem a kábelek pilonnal illetve merevítőtartóval alkotott csomópontjairól, a kábelek lehorgonyzásáról és a kábelfejéről is. Ezen a területen folyamatosan zajlanak kutatások, és várhatóak új eredmények, fejlesztések.

Nemcsak a kábelekkel, hanem a híd egyéb részeivel, például a merevítőtartóval kapcsolatban is próbálnak olyan újításokat bevezetni, melyek kedvezőbb keresztmetszetet eredményeznek. Az eddig szinte általánosan alkalmazott szekrény keresztmetszet esetén például acél szekrénytartónál a függőleges síklemez bordák helyett trapézlemezeket használtak, ezzel kiküszöbölve a horpadás jelenségét, valamint a vasbeton pályalemez feszítésekor a teljes erőt a vasbeton lemez veszi fel, mert a hozzá képest jóval lágyabb trapézlemez rugóként viselkedik.

7. EDDIGI HAZAI ALKALMAZÁSOK

Nem zárható le jelen cikk a hazánkban eddig megépült két ferdekábeles híd megemlítése nélkül, bár egyikről lassan már csak múlt időben beszélhetünk.

1967–69-ben épült Győrben, a Mosoni-Duna felett a Vásárhegyi Pál gyaloghíd, hazánk első és nagyon sokáig egyetlen ferdekábeles hídja. A híd egyoldali pilonnal, aszimmetrikus nyílásbeosztással (25 + 60 + 15 m) készült. A két függőleges kábelsík a pályaszerkezeten, a korlátokon kívül helyezkedik el, a kábelek elrendezése hárfa típusú. A kábelekhez a budapesti Erzsébet hídhöz készített sodrott zárt kábeleket használták. Az acélpilon zárt négyszög keresztmetszetű, 16,3 m magasságú, a merevítőtartó párhuzamos övű, kétfőtartós I szelvényű szerkezet, 1,35 m szerkezeti magassággal.

A hídon a forgalomba helyezést követően könnyen gerjeszthető lengéseket észleltek, majd mérésekkel megállapították, hogy a híd önrezgésszáma beleesik a gyalogos ember által gerjesztett rezgés frekvenciatartományába. Ezért a hidat a 80-as évek elején „elhangolták” többlet teher felhordásával, mely aszfaltburkolat volt. [1]

A 2008-ban átadott M0-s északi Duna-híd (Megyeri híd) ma Magyarország egyetlen ferdekábeles közúti hídja [3] [7, 8] (12. ábra). A híd támaszközei: 145 + 300 + 145 m, összhossza 590 m. A két „A” formájú pilon szárai vasbeton szekrény keresztmetszettel készültek, magasságuk az aléptímeny felett 100 m. A pilonszárakat az aléptímeny befogás felett 55 m-re egy szintén szekrény keresztmetszetű vasbeton gerenda köti össze. A pilonszárak külső élei lekerekítéssel készültek, ezzel csökkentve a szélvénnyek kialakulási lehetőségét. Az összekötő gerenda feletti pilonszárszakaszokban helyezték el a ferdekábelek felső lehorgonyzását. A pilonra kábelsíkonként 4x11 db ferde kábel függeszti fel a merevítőtartót. A függesztőkábelek héteres pászmákból készülnek párhuzamosan kötegelve, egy-egy kábel, az igénybevételnek megfelelően, 31, 37, 55 és 60 pászmából került kialakításra. A kábeleket az alsó 3 m-es szakaszon védi vandalizmus elleni acél védőcső, e felett műanyag a kábelburkoló cső. A legyezőelrendezésű kábelek két síkban 12 m-enként függesztik fel az acélszerkezetű merevítőtartót, mely nyitott két szélén szekrényes keresztmetszetű. Az autótűt hídon átvezetett szakasza 2x2 forgalmi sáv leállósávokkal, valamint az egyik oldalon kerékpárút, a másikon gyalogjárda készült, melyeket a szekrénytartó külső oldalára szerelt konzolok támasztanak alá.

A híd statikai számításáról olvashatunk a [9] cikkben.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A ferdekábeles hidak megjelenése a hídépítésben olyan új szerkezetípust eredményezett, melynek sok előnyös jellemzője van: esztétikus megjelenés, széles körű alkalmazási lehetőség, hatékonyság, és az elmúlt évtizedekben kialakult az a nyílástartomány, amelyben gazdaságosan alkalmazhatók (200 m-es nyílás közelében és felette határozottan előnyösebb a gerendahidaknál, 500 m felett a függőhíddal versenytárs).

A ferdekábeles hidak olyan térbeli szerkezetek, melyek acél vagy vasbeton pályalemezéből, az azt alátámasztó pályatartókból, merevítőtartókból, ferde húzott kábelekkel és nyomott (hajlítót) pilonból állnak. A pilonok leggyakrabban alkalmazott formája H, A illetve Y alak, a kábelek elrendezése általában féllégyező, a merevítőtartó pedig valamilyen szekrény keresztmetszet.

A ferdekábeles hidak a világ minden táján gyakran alkalmazott szerkezetípussá váltak, számuk több százra tehető. Hazánkban napjainkig még csak két megépült példát tudunk felmutatni, de remélhetőleg számuk növekedni fog.

SUMMARY

HISTORY AND STRUCTURAL FORMING OF CABLE-STAYED BRIDGES

The appearance of cable-stayed bridges in bridge-construction has resulted in a new structure type with many positive characteristics like aesthetic appearance, a wide range of application possibilities, efficiency and economical application due to the span range evolved in recent decades (at around 200 m span and above it is definitely advantageous comparing to girder bridges, and above 500 m span it is competing suspension bridges).

9. HIVATKOZÁSOK

- [1] Medved G., Goschy B.: Ferdekábeles hidak, Közlekedéstudományi Intézet 34. sz. kiadványa, Budapest, 1990, 264 p.
- [2] F. Leonhardt, W. Zellner: Cable-Stayed Bridges, *IABSE Periodica*, Vol. 2, 1980, 48 p.
- [3] Kisbán S.: Ferdekábeles Nagy-Duna-ág-híd, merevítőtartó, ferdekábelek, híd szabad szerelése, *Vasbetonépítés*, Vol. 4, 2009, pp. 119–123.
- [4] Ming Gu, Xianqin Du: Eperimental investigation of rain-wind induced vibration, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 93, 2005, pp. 79–95.
- [5] Olivier Flamand: Rain-wind induced vibration of cables, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 57, 1995, pp. 353–362.
- [6] A. Bosdogianni, D.Olivari: Wind- and rain-induced oscillations of cables of stayed bridges, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 64, 1996, pp. 170–185.
- [7] Kisbán S.: Az M0-s északi Duna-híd – Ferdekábeles Nagy-Duna-ág-híd, *Magyar Tudomány*, Vol. 4, 2008, pp. 435–437.
- [8] Kisbán S.: Ferdekábeles Nagy-Duna-ág-híd, aléptímeny, pilonszerkezet, *Vasbetonépítés*, Vol. 2, 2009, pp. 38–43.
- [9] Gál A., Kisbán S., Pusztai P.: A ferdekábeles Nagy-Duna-ág-híd statikai számítása, *Vasbetonépítés*, Vol. 3, 2009, pp. 85–91.

A RÁCSOS-SUGARAS ÚTHÁLÓZAT

DR. RIGÓ MIHÁLY¹

1. A JELENLEG ÉRVÉNYES ÚTHÁLÓZATI KONCEPCIÓNK

A jelenleg érvényes úthálózati koncepciónk közismerten sugaras-gyűrűs rendszerű. (1. ábra)

A sugarasság ráadásul kettős. Kezdetben csak a főutak vezettek sugár irányban, melyek kedvezőtlen hatásait úgy „oldották fel”, hogy velük párhuzamosan megépültek a sugaras autópályák.

2. AMI EBBŐL MEGVALÓSULT

A 2010. májusig megvalósult gyorsforgalmi úthálózatot a 2. ábra mutatja.

3. A KÜLÖNBSÉG

Az 1. és a 2. ábra le nem rajzolt különbsége lényegében a gyűrűs-sugaras hálózat sugaras része. Ma már nyilvánvaló az, hogy a tervezett hálózatból jórészt csak a sugár irányú elemek épültek meg, mert ez volt a főváros érdeke. A gyűrűs hálózati elemek valószínűleg csak azért kellenek, hogy a sugaras hálózatot a vidék számára elfogadhatóvá, szalonképessé tegyék.

Azóta a helyzet még tovább romlott, mivel a gyűrűs hálózati elemek korábbi autópálya-szakaszait leminősítették, leminősített ügynevezett kiemelt főúttá, amely fogalom tartalmáról, pontos jelentéséről senki sem tud semmit. Ugyanolyan zavaros ez a fogalom, mint a politika többi zavaros, sokféleképpen érthető fogalma.

A sugaras hálózat módosítása – mivel autópályákról van szó – a magas költségek miatt szinte elképzelhetetlen. Ez a hajó már elment. Ha a tényeket elfogadjuk, akkor már csak a korrigálásra marad lehetőségünk.



1. ábra: A sugaras-gyűrűs rendszerű úthálózat

Jelenleg is folyik a sokadik úthálózat-fejlesztési terv készítése. A tervet információim szerint fővárosi cégek készítik, tehát megint van esély arra, hogy a fővárosi érdekek országos érdekként legyenek becsomagolva.

Teljesen érthetetlen számomra, hogy a fővárosi döntéshozók eddig nem ismerték fel az M8–M4-vonal főváros-érdeklőségét, a főváros valódi tehermentesítő hatása miatt.

4. AZ EDDIG FIGYELMEN KÍVÜL HAGYOTT NAGYSZERŰ ALAPELVEK

4.1. A SUGARAS FŐÚTI HÁLÓZAT OLDÁSA, A SUGARAS RENDSZER MEGSZÜNTETÉSE

Az 1–2. ábrákból jól látható, hogy ebből semmi sem lett. Elkészültek a sugaras főutakkal párhuzamos sugár irányú autópályák.

4.2. A VERSENYKÉPESSÉG FELTÉTELEINEK BIZTOSÍTÁSA

Jelentem, Budapest versenyképességének javítása sikerült, az ország többi részéé pedig még hátravan. Az EKFS (1) jövőképe nagyon egyértelmű: „A versenyképes gazdaság működési és fejlődési feltételeinek biztosítása, a mobilitási igények ésszerű kiszolgálása...” Ezt is „nagyszerűen” megoldottuk. Van olyan ország rész, ahol a közelben van az autópálya, sőt az autópályák, míg másutt pedig már az egy-sávos mellékút is járhatatlan, évszázados sár és por lep el mindent. Mintha a világ végén lennénk, miközben ez a vidék nagyon értékes, az Urálból nézve maga a vadnyugat. Ez utóbbi esetben nyilván nem lehet versenyképességről és főleg nem azonos versenyképességről beszélni. Nem lehet az azonos feltételek biztosításával sem büszkélkedni. Nyilvánvaló az is, hogy ha valami csorbát szenved, az a mobilitási esélyegyenlőség! Másodrendű állampolgár lett ma kb. 5-7 millió ember. Az eltérő versenyképességet és főleg annak igazolását mutatja a 3. ábra.



2. ábra: Ami a tervezett hálózatból megvalósult (készítette: Kókai P.)

¹ Okleveles erdőmérnök, okleveles építőmérnök

4.3. AZ ORSZÁG TERÜLETI KÜLÖNBSÉGEINEK MÉRSÉKLÉSE, LEHETŐLEG MEGSZÜNTETÉSE

Ha kistérségi statisztikákat nézünk, bármelyik legyen is az, akkor még nagyobb eltérések mutatkoznak, mint a megyék szintjén. Akármelyik mutatót, jellemzőt választjuk ki, a 4. ábrához hasonló tarka képet kapjuk.

Fontos észrevenni: az ország kis területe ellenére is jelentősek a különbségek. Jó, ha tudjuk, hogy ezek sajnos nem csökkennek.

Lényeges rögzíteni: nemcsak szerintem fontos alapelvek ezek. Hiszen az Európai Unió 2001-es közlekedéspolitikai prioritásai (3) között első volt a területi egyenlőtlenségek csökkentése. Nekünk aztán mondhatják, mondhatnak bármit.

4.4. A SZUBSZIDIARITÁS ÉS A DECENTRALIZÁCIÓ

Az Országgyűlés 2005-ben (2) a területfejlesztési politika első alapelvének a szubszidiaritást és a decentralizációt jelöli meg!

Súlyos az elmaradásunk. Az előbbi lényeges szempontokat „szét-dumáljuk”, majd teljes mértékben figyelmen kívül hagyjuk. Következmenyei az 1–4. ábrák szerint, szinte minden változóban megjelenő, nagy eltérés területenként. Az 1–4. ábrák az eddigi beavatkozások következményei, tehát egyáltalán nem a véletlen művei. Ha szándékosan ez megvalósítható volt, akkor szándékosan akár jót is csinálhatnánk. Az alapelvek ilyen mérvű figyelmen kívül hagyása büntetést von maga után, bűnhődünk is rendszeren.

Ha az EU 2001-ben úgy érezte, hogy eljött a „time to decide” (3), a döntés ideje, akkor mi nem érezhetnénk ugyanígy végre, igaz immáron egy évtizedes késéssel?

5. A JAVASOLT HÁLÓZATFEJLESZTÉSI ALAPELVEK

A megváltozott politikai, gazdasági környezet miatt ma más úthálózatra lenne szükség, mint néhány évtizeddel korábban, melynek kialakításához új elveket javaslok figyelembe venni, elfogadni.

5.1. MAGYARORSZÁG KÖZÉP-EURÓPÁBAN VAN

Mi nem keleti, nem balkáni, hanem közép-európai ország vagyunk, természetföldrajzi értelemben mindig is azok voltunk, de



ma már a politikai földrajz szerint is. Legyünk végre olyan bátrak, hogy ezt kijelentsük, majd állítsuk át gondolkodásunkat! Rajtunk minden irányban át kell tudni menni. Országunk, földünk mindig is a hadak útján feküdtünk. Az eddigi preferált átlós irányok mellett hangsúlyozni kellene az észak–déli és a kelet–yugati irányt is, amelynek a raszteres, azaz rácsos úthálózat felelne meg.

5.2. AZ ESÉLYEGYENLŐSÉG ÉS A DECENTRALIZÁCIÓ

Ma már van az ország minden pontján pláza, ilyen-olyan nevű nagyáruház, a mobil telefonhálózati lefedettség is majdnem teljes, az internet szinte az ország bármely pontján elérhető, a TV, a rádió műsora az egész országban fogható, bankok is vannak már mindenütt. Nem így az utak és a munkahelyek. Vannak a főváros és környéke esélyeit növelő autópályák, a fővárosban hozzá illő munkahelymennyiséggel, fizetésekkel.

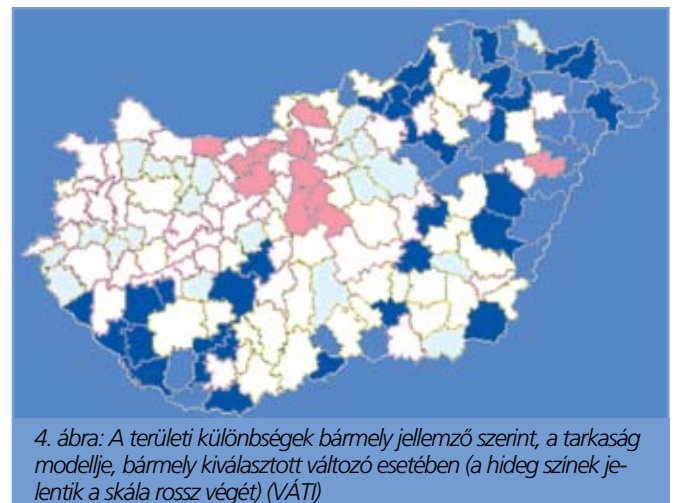
De ezen kívül van a magyar vidék. Vidék az, ahol nincs munkahely és rosszak az utak. Ide nem jön a tőke sem, a turista sem. Az ország kettészakadt. A centralizáció legfőbb elvként még ma is mindent ural, melynek nyilvánvaló következménye a vidék leszakadása.

A centralizáció helyett decentralizáció kellene minden tekintetben. Ennek fizikai megjelenése, megjelenítése, fizikai alapja a decentralizált úthálózat. *A decentralizált úthálózat fogalmát legjobban a rácsos úthálózattal közelíthetjük meg, amely a legdemokratikusabb térszerkezet! A javaslat szolgálja a versenyképesség, a mobilitás esélyegyenlőségét, a területi különbségek mérséklését is.*

Ahogy nincs különbség fővárosi és vidéki mobiltelefonálási lehetőség között, úgy nem lehetne a fővárosi és a vidéki utak között sem. Egységes viszonyokat kellene teremteni az ország bármely pontján a nem autópályás úthálózat tekintetében is. Egyfajta egységesség sajnos ma is van: egységesen járhatatlanok a vidéki főutak és a mellékutak. Az elhanyagolt vidéki úthálózat a gazdátlanságot, az ápolatlanságot, az elhanyagoltságot sugallja, a vidéki életminőséget erősen rombolja.

5.3. NE KEZDJÜNK MINDENT, MINDIG ELŐLRŐL, HANEM HASZNÁLJUK FEL AZ ADOTTSÁGAINKAT!

Kökemény adottságunk pl. a már elkészült és a tervezett autópályahálózat. Ezt már nem lehet visszacsinálni. De nagyszerű adottságaink a meglévő és tervezett autópályák csomópontjai, a határállomások és a Tisza, a Duna hídjai. Ezek rendkívüli jelentőséggel bíró pontok, amelyekre a javasolt rácsos hálózat támaszkodik. További értékes adottságaink a meglévő utak, a tervezett, településeket elkerülő utak is.





6. ábra: A nemzetközi fő áruáramlási irányok (KTI)

telen elemeket – melyek eddig autópályák voltak – most vissza kívánják léptetni, sorolni autópályából egy kiemelt főútnak nevezett valamivé.

Már régóta hiányzik fogalmaink közül a tisztességes autótút fogalom. A 130 km/óra tervezési sebességű autópálya és a 90 km/óra tervezési sebességű főút között nagy a lépcső. Hiányzik a 110 km/óra tervezési sebességű autótút. Használtuk ugyan ezt a fogalmat, de mindig a homályban maradt a meghatározása. Jó hosszú ideig ezen egy részben elkészült, egy félkész autópályát vagy egy kicsit gazdagabban kiépített főutat (lásd az M9-et) értettek. Én az autótutat önálló fogalomnak, útnak képelem.

A valódi autótút javasolt jellemzői:

- 110 km/óra tervezési sebesség
- lassújármű-forgalomtól való mentesség
- átkelési szakaszoktól való mentesség
- fizikai elválasztás az ellenirányú járműfolyamok között
- mintakeresztelvényében váltakozhatnak a 1+1 sávú szakaszok a 2+2 sávú szakaszokkal. De nem zárnam ki a svédéknél jól bevált 1+2, majd 2+1 (szabályozott háromsávú utak) lehetőségét sem!

Építése valószínűleg olcsóbb lenne az autópályáénál, a 130 és a 110 km/óra miatti idővesztés pedig egy kis területű országban nem lényeges.

Ez az útfajta nem ismeretlen Magyarországon sem. Az ilyen minta-keresztelvényű utat korábban szabályozott háromsávú útnak hívtuk. A gond az volt, hogy az eltérő irányú forgalmakat régen nem választottuk el fizikailag. A svédek ellenben megtették, és a korábbi gondok zömét megoldották.

A javasolt hálózat mellékelt rajzán jelöltem is egy autótutat, az Alföldi autótút névvel, az Alföld közepén, felfűzve az ún. belső periferiákat, az Alföld elmaradt vidékeit, magyarul az elmaradottság szigeteteit. A határon túl is lenne folytatása, mivel a felvidéki Kaszát kötné össze a bánáti Temesvárral. De ilyen út lehetne szerintem akár az M44 vagy az M9 is, amelyek ma még autópályaként szerepelnek az elképzelésekben.

5.5.2. EGYSZERŰSÍTSÜK ÚTOSZTÁLYAINKAT AZ UTAK „TUDÁSA”, SZOLGÁLTATÁSI SZÍNVONALA SZERINT!

Mai kategorizálásunk rendkívül bonyolult, tagolt, körülményes, sok szubjektív elemet tartalmaz. Hagyjuk el az egyszámjegyű, a kétszámjegyű, az elsőrendű, a másodrendű főút, a mellékút fe-



7. ábra: Az Alföldi autótút

dális viszonyokat idéző, konzerváló, leminősítő fogalmát. Lassan minden autó szerves tartozéka lesz a GPS, és általános lesz az általa történő útvonalválasztás. Így nemsokára senkit sem érdekel az, hogy az általa használt út főút vagy mellékút. Egy dolog érdeklí az autótst: használható az út vagy nem. Az eddigi fogalmaink helyett javaslom: vezessünk be az utak „tudása”, alkalmassága, használhatósága, szolgáltatási színvonala szerinti kategóriákat.

A javasolt külterületi útkategóriák a tudásuk szerint

- | | |
|--|------------|
| – 130 km/óra tervezési sebességű út: autópálya, | jele: K130 |
| – 110 km/óra tervezési sebességű út: az autótút, | jele: K110 |
| – 90 km/óra tervezési sebességű út, | jele: K90 |
| – 70 km/óra tervezési sebességű út, | jele: K70 |

Ennek logikus folytatása a belterületen az alábbi lenne:

- | | |
|-------------------------------------|-----------|
| – 70 km/óra tervezési sebességű út, | jele: B70 |
| – 50 km/óra tervezési sebességű út, | jele: B50 |
| – 30 km/óra tervezési sebességű út, | jele: B30 |

Bevezethetnénk végre a csekély útkategória esetén végre az önmagukat magyarázó út fogalmát is, azaz a mai millió jelzőtábla helyett az útkörnyezet sugallná a haladási sebességet, az elvárt gépjárművezetői magatartást.

Alkalmunk lenne előírásainkban végre ezekhez olyan minimális jellemzőket meghatározni, amelyek nem az USA vagy Németország, hanem mondjuk Hollandia, Svédország pénztárcájához illelenek. A mi lehetőségeink talán ezekhez jobban hasonlíthatók.

Az általam javasolt rácsos szerkezet alapja a már majdnem kiépült K130 lenne. Kellene néhány K110-elem. Lehetne korábbi néhány K130-ból K110 és épülhetne eleve K110 elem is. A K130-hoz és a K110-hez igazodna a K90. Ami még megmarad, lenne a K70.

Mindvégig hangoztatni kell, hogy mindegyik elem nagyon fontos, hasonlóan az emberi érhálózatához!

Ezzel nagy költségmegtakarítást érhetnénk el, hálózatunk kialakítása költséghatékony lehetne. A kevés kategóriát indokolja szegénységünk is. Nem bírjuk anyagiakkal a teljes hálózatot felújítá-

ni rövid időn belül úgy, hogy minden utunk autópálya legyen! A Nemzeti Útfelújítási Programot a K90 és a K70 utak felújításával kellene kezdeni. A NÚP szolgálná a hálózatfejlesztést.

Nyilván megbeszélés tárgya lehet a rácsos elemek egymástól vett távolsága, a rácssűrűség. A cél az lenne, hogy a forgalmat minél rövidebb úton vigyük rá az autópályákra és azt a lehető legnagyobb hosszra tartsuk is ott.

6. A RÁCSOS ELEMEL MEGHATÁROZÁSI MÓDJA

A folyamat két lépcsős. Első lépcsőben felvettem azokat a pontokat, amelyekre a rácsos elemeknek szerintem át kellene menniük. Ezen pontok rendkívül fontosak, rendkívüli jelentőségűek. A határállomásokat, a Tisza és a Duna hídjait és az autópályák csomópontjait soroltam ezek közé.

A második lépcsőben igyekeztem olyan vonalakat behúzni, amelyek

- követik a fő égtájakat,
- az előbbi pontokon átmennek, és
- lehetőleg minél hosszabbak.

Igy jött létre a mellékelt hálózati térkép (5. ábra).

7. EGY KORÁBBI PRÓBÁLKOZÁS

Korábban hasonlót készítettem Csongrád megyére, mely alapján a Szemlében leközölt cikkben javasoltam annak nagyobb területen való kipróbálását. Akkor ez lényegében visszhang nélkül maradt, ezért rajzoltam meg újabb próbálkozásként a rácsos hálózatot a Dunától keletre eső országrészre.

8. AZ ELVESZÍTETT M47

Jól látszik a hálózati térképen, hogy nem ábrázoltam az M47 gyorsforgalmi utat. Okai:

- a térség nemzetközi fő anyagmozgási irányai a 6. ábra szerintiek. A 6. ábrán halvány vonalként látszik a mai 47 sz. főút vonala is. A fő szállítási irány Nyugat-Európa és a Balkán között, valamint a főút, így az M47 is, egymásra közel merőlegesek, nem esnek egybe. Ha lenne is M47 gyorsforgalmi utunk, azt a fő nemzetközi tranzitáramlatok nem használnák!
 - A román–magyar határral közel párhuzamosan, attól 10-15 km-re fut egy román főút, melynek helyi száma 19, majd 79, nemzetközi útszáma pedig: E671. Felfűzi a 110 ezer lakosú Szatmárnémetit (Satu Mare), a 210 ezer lakosú Nagyváradot (Oradea), a 170 ezer lakosú Aradot és végül a 310 ezer lakosú Temesvárt. Nemzetközi jelentőségét az adja meg, hogy összekapcsolja Oroszországot, Romániát és Szerbiát. Ezek után nem kétséges az, hogy az EU a mi 47-esünkre szánna többet, vagy az előbbi E671-re.
 - A mai 47. sz. főúton lényegében csak a vonali nagy városok környezetében van érdemi forgalom, amely nem igényel autópályát.
 - Ha a főút meglévő nyomvonalát építenénk át gyorsforgalmi úttá, akkor majdnem végig kellene építeni mellette egy maihoz hasonló kétsávos utat a lassú járműveknek, mely nagyon megdrágítaná a folyosót, melynek költségét nem lehet figyelmen kívül hagyni.
- A 47. sz. főút ettől függetlenül természetesen megmaradhat.

9. AZ ALFÖLDI AUTÓÚT

Nemcsak elhagyni javaslok utat, hanem építeni is. Bár eddig azt hangsúlyoztam, hogy az általam javasolt hálózat nagy mértékben felhasználja a meglévő úthálózatot, a meglévő és tervezett elkerülő utakat, itt mégis új nyomvonalon vezetett utat szeretnék javasolni.

Új nyomvonalon javaslom kiépítését, ott ahol ma nincs lassújármű-forgalom, tehát elvezetéséről eleve nem kell gondoskodni. A sok Natura 2000 terület között el lehet úgy lavírozni, hogy a nyomvonal kialakítható, hacsak még újabbakat nem jelölnek ki. Ezért minél előbb rögzíteni kellene a nyomvonalát. Ez az út abban az értelemben autót, ahogyan azt az előbbiekben leírtam (7. ábra).

10. A MUNKAMÓDSZER

A térképen látható a szándék és a kialakíthatóság is.

Nyilvánvaló az, hogy

- nem lehetnek a hálózat egyes hálózatai, négyzetjei teljesen azonos méretűek
- a négyzetek sem mértani értelemben értendők
- a Dunától nyugatra lévő országrészen a fő égtájak helyett a nagy völgyek szabják meg az irányokat
- az általam javasolt hálózat csak egy a lehetőségek közül
- javaslatomat alaposan át kellene tárgyalni az érintett megyékkel.

11. VALLOMÁS

Meggyőződésem, hogy

- a gazdasági térszerkezet rendkívül fontos, alapvetően meghatározó
- ennek lényegi eleme az állami úthálózat
- úthálózatunknak is szolgálnia kell a decentralizációt és főleg az esélyegyenlőséget az azonos életminőséghez
- 2010. time to decide – 2010. az elhatározás, majd a döntés valami javára – éve.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Egységes Közlekedésfejlesztési Stratégia (EKFS) 2007–2020. Fehér könyv. Bp. 2008.
- [2] Az Országgyűlés 97/2005. (XII. 25.) határozata az Országos Területfejlesztési Konceptióról (OTfK) Bp.
- [3] White Paper, European transport policy for 2010.
- [4] Rigó M.: Alföldi autót, Közlekedésépítési Szemle, 2009. V.
- [5] Rigó M.: Javasolt rácsos szerkezetű úthálózat, Közúti és Mélyépítési Szemle, 2008. VI.
- [6] Rigó M.: Autópálya vagy valami más, Közúti és Mélyépítési Szemle. 2007. V.

SUMMARY

THE GRID-RADIAL ROAD-NETWORK

The author of the paper suggests the construction of a grid-radial road structure. By their opinion that would be the suitable field-structure on behalf of fulfilling the principle of subsidiarity, decentralisation and even chance on equal life-quality.

700 Ft