



60. ÉVFOLYAM  
3. SZÁM

# KÖZLEKEDÉSÉPÍTÉSI SZEMLE

2010. MÁRCIUS

FELELŐS KIADÓ:  
Kerékgyártó Attila főigazgató

FELELŐS SZERKESZTŐ:  
Dr. Koren Csaba

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

A CÍMLAPON:  
Út Madeirán az özönvíz előtt.  
Koren Csaba felvétele

A BORÍTÓ 2. OLDALÁN:  
Útak Madeirán az özönvíz után.  
Photo: Hugo Reis  
www.madeiraarchipelago.com

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

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

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

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

DESIGN, NYOMDAI MUNKA,  
HIRDETÉSEK, ELŐFIZETÉS:

**Press GT Kft.**

1134 Budapest, Üteg u. 49.

Telefon: 349-6135

Fax: 452-0270;

E-mail: info@pressgt.hu

Internet: www.pressgt.hu

Lapigazgató: Hollauer Tibor

Hirdetési igazgató: Mező Gizi

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

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



# TARTALOM

**DR. GULYÁS ANDRÁS**

Az országos közutak keresztmetszeti forgalomszámlálásának korszerűsítése

**1**

**DR. ADORJÁNYI KÁLMÁN**

Kétlépcsős mechanikai modellek alkalmazása útpályák felújítási beavatkozásainak méretezésénél

**5**

**FÜLEKI-T. PÉTER – DR. HABIL. GÁSPÁR LÁSZLÓ  
– KAROLINY MÁRTON – DR. PALLÓS IMRE**

A kompaktaszfaltos építési technológia hazai alkalmazásának lehetőségei

**12**

**BAK EDINA – KOCH EDINA – PALOTÁS BÁLINT  
– DR. SZEPESHÁZI RÓBERT**

Kombinált (cölöp és lemez) alapozás modellezése I. rész

**21**

**SZILVÁGYI ZSOLT**

Új fejlődési irány a véges elemes geotechnikai számításokban

**31**

**HUNYADI DÓRA**

A klímaváltozás hatása a közlekedési infrastruktúrára

**35**

**ÁDÁM MÁTYÁS**

Nagysugarú átszelési kitérők

**39**



# AZ ORSZÁGOS KÖZUTAK KERESZTMETSZETI FORGALOMSZÁMLÁLÁSÁNAK KORSZERŰSÍTÉSE<sup>1</sup>

DR. GULYÁS ANDRÁS<sup>2</sup>

## 1. NÖVEKVŐ IGÉNY A FORGALMI ADATOK IRÁNT

A döntéshozók igénye a naprakész forgalmi adatok iránt egyre növekszik. A forgalmi adatok egyrészt a fejlesztések indokoltságát támaszthatják alá, másrészt a különböző panaszos ügyekben, polgármesteri és képviselői megkeresések megválaszolásában nyújtanak reális helyzetképet. A 14 éve változatlan forgalomszámlálási rendszer felülvizsgálatának célja az adatfeldolgozási idő jelentős lerövidítése. A következő év közepén megjelentetett éves átlagos napi forgalmak mellett szükséges az előfeldolgozott előzetes forgalmi adatok rendelkezésre állásának és internetes elérhetőségének biztosítása is. A felülvizsgálat eredményeként várhatóan megváltozó forgalomszámlálási rendszerben jobb, hatékonyabb minőségbiztosítás mellett létrejön egy naprakész forgalmi adatbázis, mely alkalmas lehet az igények kielégítésére.

## 2. A MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS FONTOSSÁGA

A megbízható eredmények feltétele az adatok minőségének biztosítása, melynek első lépése a helyszíni mérések ellenőrzésének javítása. A rendszeres és szigorú, jól dokumentált helyszíni ellenőrzés erőforrásigényét az eredményként megmutató adatminőség-javulás igazolja. A legfontosabb a kézi számlálások ellenőrzése, mert egyrészt az emberi tényező jelenléte miatt a hiba könnyebben jelentkezhet, másrészt viszont a hiba helyszíni kijavítása egyszerű és könnyű feladat. Az automata mérések helyességének ellenőrzése már nehezebb és jellemzően informatikus szakember közreműködését teszi szükségessé. Néhány ellenőrzési szabály megalkotása és alkalmazása kedvezően befolyásolhatja a minőség biztosítását.

Az ellenőrzés következő fázisa az adatok feldolgozása. A feldolgozott forgalmi adatnak egyfelől önmagában reálisnak kell mutatkoznia (nagyságrendjében és a járműosztályok arányaiban), másfelől célszerű összehasonlítani más meglévő adatokkal, felhasználva az idősorokat és az adott útvonal jellemzőit. A nyilvánvaló hibák javítása vagy a hibás adatok törlése a feldolgozási folyamat részét képezi. A megbízhatónak nyilvánított adatok bekerülnek a forgalmi adatbázisba, míg a kérdéses adatok egy külön listán várakoznak. Ezek a kérdéses adatok még lehetnek megfelelőek, amennyiben a helyi körülmények változása indokolja az eltérést, ezért a kérdéses adatokról érdemes a helyi szakemberek véleményét kérni. A helyi vélemény alapján eldönthető, hogy a vizsgált adat megbízható vagy hibás és törlendő.

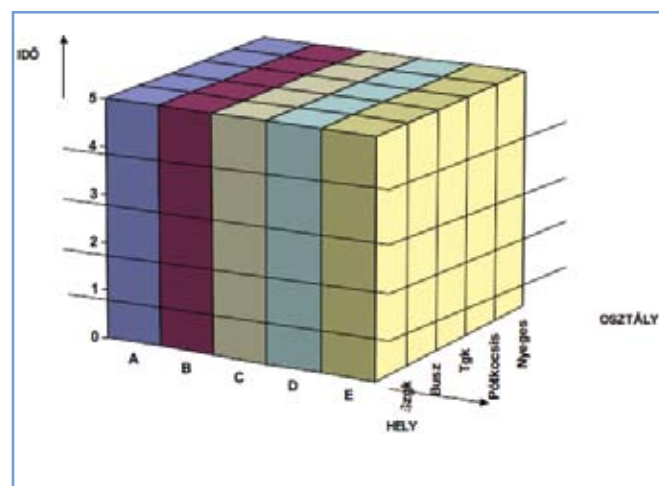
## 3. A KÖZPONTI ADATBÁZIS ALAPELVEI

A mért forgalmi adatokat a jelenlegi különálló fájlokban történő tárolás helyett egy központi adatbázisban célszerű összegyűjteni, ahol egyrészt minőség-ellenőrzésük megtörténhet, másrészt elő-

feldolgozásuk végrehajtható. A központi adatbázis létrehozása és működtetése lehetőséget ad arra, hogy az online kapcsolattal bíró mérőhelyekről a mért adatokat rendszeres időközönként lekérdezve azok bekerüljenek az adatbázisba. Az offline automatikusan mért vagy kézzel számolt forgalmi adatok (utóbbi az egyéges formátumba történő rögzítés után) szabályozott módon a lehető leggyorsabban töltődjenek be a központi adatbázisba. A gondosságot nem nélkülöző gyorsaság ez esetben elsősorban a helyi (megyei) szakemberek felelőssége.

A központi adatbázis hipermátrix szerkezete lehetővé teszi szabványos műveletek elvégzését. Az online mérőhelyekről az adatok beolvasása naponta, célszerűen éjszaka történhet. Az egyéb offline adatokat a megyei szakemberek töltik be az adatbázisba, keletkezésük illetve kézi számlálás esetén rögzítésük után mielőbb. Az adatok előfeldolgozását és elérését szabványos hozzáférési és lekérdezési eljárások biztosítják.

A forgalmi adatokat az adatbázis három dimenzióban tárolja: hely szerint, idő szerint és járműosztály szerint. Az 1. ábra szemlélteti azt az ideális helyzetet, amikor minden mérőhely minden időbeli adata rendelkezésre áll, az összes járműosztályt tekintve. A valóságban azonban ez a bemutatott hipermátrix meglehetősen ritka adatokat tartalmaz, ezért gondoskodni kell a hiányzó adatok kezeléséről.



1. ábra: Forgalmi adatbázis szerkezete

## 4. TÉRBEN ÉS IDŐBEN HIÁNYZÓ ADATOK KEZELÉSE

Egy adott időszakban mért adatok általában csak a mérőhelyek egyharmadán található az ötvenkénti gördülő mérés és az

<sup>1</sup> A Transport Research Arena 2010 konferencián publikálásra elfogadott előadás magyar nyelvű változata

<sup>2</sup> Okl. építőmérnök, szakmérnök, PhD, műszaki tanácsadó, Magyar Közút Nonprofit Zrt., e-mail: gulyas@kozut.hu

évenkénti figyelemmel kíséresi mérés eredményeként. A hiányzó adatokat egyrészt a korábbi mérésekből képzett idősoros trendek alapján lehet számítással meghatározni, másrészt a hasonló mérőhelyek mérési eredményeinek átlagát is figyelembe lehet venni. Ez utóbbi módszerben a hasonló mérőhelyek adataiból matematikai-statisztikai módszerekkel képzett csoportok (cluster) átlaga számítható. Egy közelmúltbeli USA-kutatás (Smith és társa, 2008) javasolta a kvantum-frekvencia algoritmust, mely egy sűrűség alapú cluster-képzési módra épül, valamint a jóval egyszerűbb medián algoritmust.

Kis forgalmú, hálózati szempontból jelentéktelen, elsősorban be-kötőutak esetén a forgalom nagyságát és összetételét becsülni lehet regressziós algoritmussal, ahol a magyarázó változók térbeli, településszerkezeti és gazdasági jellemzők. Ilyen becslés nemrég történt az OKA adatainak teljes körű feltöltése érdekében (Koren T., Hímes-Soft Bt., 2007). A kidolgozott regressziós egyenletek alkalmazhatók a hiányzó forgalmi adatok becslésére.

Az úthálózaton található olyan állandó mérőhelyek, ahol mind a 365 nap 24 órájában keletkezik adat. A mérőhelyek többségén azonban csak néhány napos mérés történik az adott évben. A rövid idejű mérési eredményekkel rendelkező mérőhelyek társíthatók a hasonló jellegű állandó mérőhelyekkel, így forgalmuk időbeni alakulása becsülhető. Egy ilyen hálózati alapú társítási módszert ismertet egy USA-tanulmány (Goel és társai, 2005), melynek alapján hazai kutatás is készült, bizonyítva a módszer alkalmazhatóságát (Cseffalvai, KTI, 2005). Javasolható tehát a módszer gyakorlati bevezetése. Hasonló társítási megoldással lehet a darabszámláló automaták mérési eredményeihez hozzárendelni a járműosztályok arányai szerinti megoszlást. A 2. ábra példákat mutat az időben hiányzó, illetve a járműosztályozást nélkülöző adatokra.

Az éves átlagos napi forgalom előfeldolgozott értékének számítására legalább két módszer javasolható. Az egyik módszer szerint számítással feltöltve a hiányzó adatokat a feltöltött adatok egyszerűen átlagolhatók. A másik módszer a mérőhelyek csoportosításán és társításán alapul, és a részleges adatokból a csoport jellemzőivel számítja az éves átlagos napi forgalom becsült értékét. Ez utóbbi módszert használja a jelenlegi hazai feldolgozási rendszer. Minden esetben feltétlenül szükséges a helyi jellegzetességek, az adott évben vagy a megelőző évben történt változások figyelembe vétele, pl. egy új autópálya-szakasz átadása vagy egy új forgalomvonzó létesítmény (bevásárlóközpont) megnyitása.

## 5. A JÁRMŰOSZTÁLYOZÁS EGYSZERŰSÍTÉSE

Jelenleg a különféle automatikus járműosztályozó berendezések eltérő járműosztályozási sémákat alkalmaznak, melyek 1 és 60 járműosztály között mozognak. A kézi számlálásban az utügyi műszaki előírás szerinti 12 járműosztályt használják. Az automatikus járműosztályozó műszer-műszerek típusainak osztályozását korábbi KTI-kutatások segítségével harmonizálták egymással és a kézi járműosztályokkal.

A kézi számláló személyzetnek esetenként gondot jelent a helyes járműosztályozás a túl sok járműosztály miatt, különösen a tehergépkocsikat tekintve, ahol nem egyszerű feladat a súly szerinti megkülönböztetés. A felhasználók az alkalmazások többségében nem igényelnek sokféle járműosztályt, ezért célszerű lenne a járműosztályozási sémák felülvizsgálata és egyszerűsítése, figyelembe véve a jelenleg létező és a várható felhasználási igényeket.

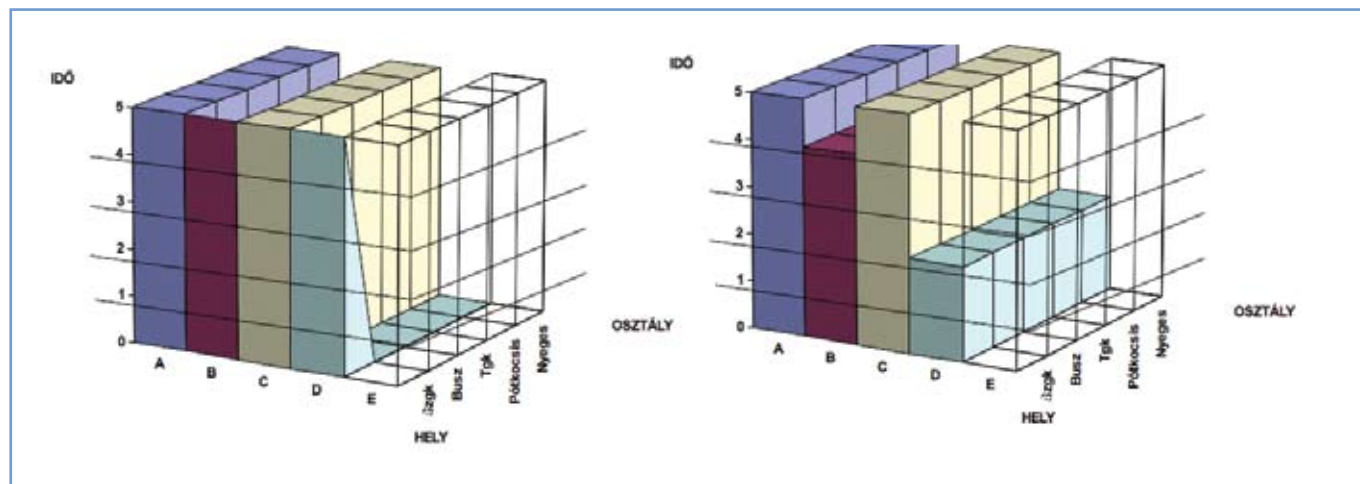
Az Egyesült Nemzetek Szervezetének Európai Gazdasági Bizottsága az E-utakon minden ötödik évben nemzetközi forgalom-számlálást szervez, ahol a régóta folyó egyszerűsítés eredményeként ma már csak négy motoros járműosztályt különböztetnek meg:

- A: maximum háromkerékű motoros járművek, beleértve a segédmotoros kerékpárokat is.
- B: személygépkocsik és kistehergépkocsik 3,5 tonna összsúly alatt, utánfutóval is.
- C: tehergépkocsik, pótkocsival is, nyerges szerelvények és speciális járművek.
- D: autóbuszok és trolibuszok.

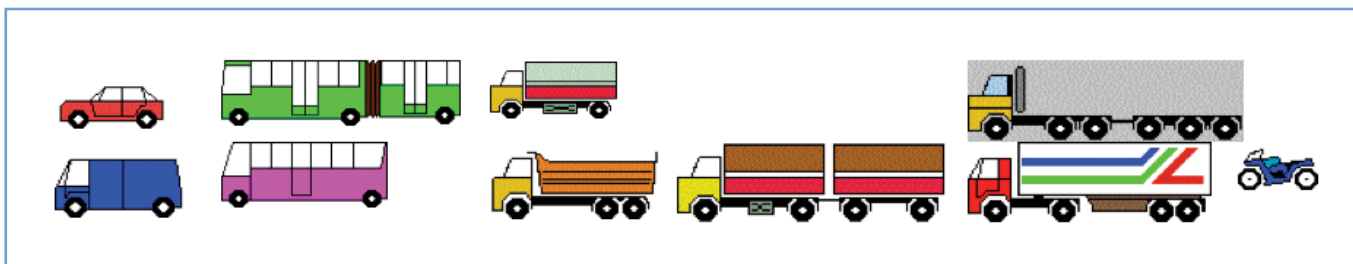
A kerékpárokat is tekintve öt járműosztályból lehet kiindulni. A tehergépkocsik esetében indokolt a C osztályon belül a szőlő nehéz járművek, a pótkocsi és a nyerges szerelvények megkülönböztetése, így összesen a 3. ábrán látható hat gépjárműosztállyal és hetedikként a kerékpár járműosztállyal rendelkezünk, ami a közeljövőben egyszerűen bevezethető. A járműosztályozás változtatása esetén mindenképpen gondoskodni szükséges az idősorok folyamatosságáról, azaz a régeből az új járműosztályok egyértelmű képzési lehetőségéről.

## 6. HÁLÓZATFEJLESZTÉS, KÜLÖNBÖZŐ KÖZÚTKEZELŐK

Az úthálózat változásainak és fejlesztésének forgalmi hatásait figyelembe kell venni a forgalomszámlálási rendszer működése során. Egy új autópálya-szakasz átadása a környékbeli meglévő



2. ábra: Térben és időben hiányzó adatok



3. ábra: Egyszerűsített jármű-osztályozási javaslat

utak forgalmában is jelentős módosulást okoz. Az év közbeni átadás esetén mind az újonnan átadott, mind az érintett meglévő utak átlagos napi forgalmának számításakor nem a teljes évet, hanem csak az átadástól eltelt időszakot szabad alapul venni, mert az egész éves átlagolás hamis eredményt adna.

A forgalmi változások elemzéséhez szükséges, hogy a központi forgalmi adatbázis az elmúlt évek forgalmi adatait is tartalmazza, mert így lehetséges trendek felállítása. Főként tervezési, de más célokra is érdekes a jövőben várható forgalom ismerete, ezért a projektív módszerű előrebecslést az adatbázis-kezelő szoftver szerves részeként érdemes tekinteni. Nagyobb léptékű jövőbeni tervezésnél természetesen nem nélkülözhető az analitikus forgalombecslés és -elemzés, amely külön feladatot képez, és nem érinti a keresztmetszeti forgalmak adatbázisát.

A különböző közútkezelőknél keletkező forgalmi adatok egy központi adatbázisba történő integrálása szervezeti, jogi és műszaki problémákat vet fel, melyeket meg kell oldani. Az Állami Autópálya Kezelő Zrt. és a koncessziós autópálya-kezelő társaságok esetén az adatok átadásának módjáról, a szolgáltatott adatok köréről az általános üzemeltetési szerződésben célszerű rendelkezni. A központi forgalmi adatbázist üzemeltető szervezet (jelen helyzetben ez lehet a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ vagy megbízásából a Magyar Közút Nonprofit Zrt.) nevesítése lényeges. Az adatok átadásának műszaki kérdései is rendezendőek, egyrészt a fájlformátumokat, másrészt az átadások gyakoriságát és fizikai módját illetően.

Az országos közutakon az országos keresztmetszeti forgalomszámlálás rendszerén kívül is történik több esetben forgalomszámlálási tevékenység, melyet különböző tervezési munkák, esetleg lakossági panaszok indukálnak. Előnyös lenne az ilyen módon keletkező adatok összegyűjtése és beillesztése a központi adatbázisba. Ez a feltétel tervezés esetén a tervezői szerződésben kiköthető lenne.

A távolabbi jövőben a forgalmi adatbázis fogadhatná az önkormányzati utak forgalmi adatait is, ehhez azonban további szoftver- és hardverfejlesztés, valamint az önkormányzati forgalomfelvételek megszervezése vagy motiválása szükséges.

### 7. A MEGVALÓSÍTÁS LEHETŐSÉGE

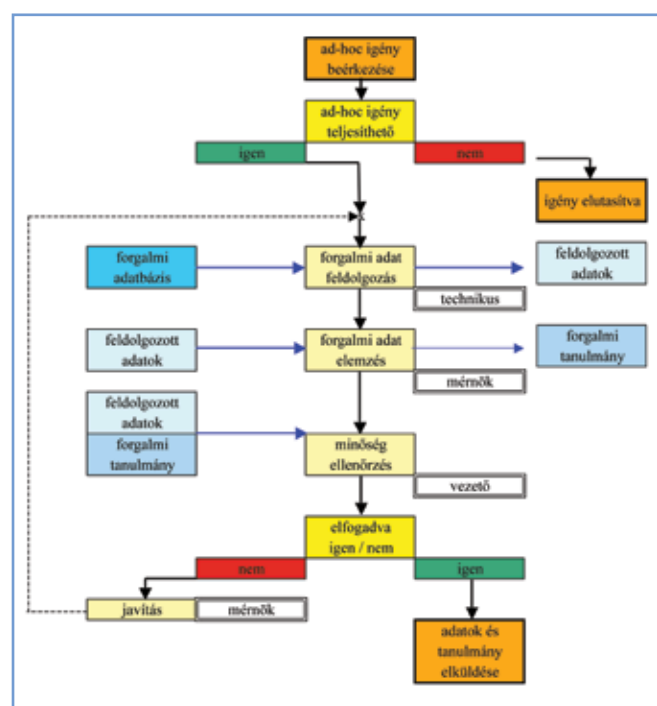
A keresztmetszeti forgalomszámlálási rendszer felülvizsgálata alapján elfogadott változtatási javaslatok eredményes megvalósításának és gyakorlati működésének előfeltétele a vonatkozó utági műszaki előírás (ÚT 2-1.109 Országos közutak keresztmetszeti forgalmának számlálása és a forgalom nagyságának meghatározása) módosítása.

A forgalmi adatok az Országos Közúti Adatbank szerves részét képezik, ezért is fontos, hogy a forgalomszámlálás korszerűsítése egyrészt naprakészebb, másrészt megbízhatóbb és jobb minőségű

eredményeket biztosítson. Mostanáig a forgalmi adatokat az Országos Közúti Adatbankban évente egyszer frissítették a teljes körű feldolgozás után. A felülvizsgált forgalomszámlálási rendszer és a központi forgalmi adatbázis lehetővé teszi a gyakoribb, az adatbank rendszeres frissítéseivel összehangolt forgalmi adatfrissítést.

Az évente feldolgozott forgalomszámlálási eredmények megjelennek az interneten a [http://internet.kozut.hu/szakmai/or-szagos\\_kozutak\\_adatai/eredmenyek/Lapok/default.aspx/](http://internet.kozut.hu/szakmai/or-szagos_kozutak_adatai/eredmenyek/Lapok/default.aspx/) címen, mindenki számára elérhető módon. A gyakrabban frissülő forgalmi adatok internetes elérése a modern közigazgatásban alapkövetelmény, egyben a vezetői hozzáférést is képes széles körűen biztosítani. A későbbiekben elképzelhető a folyamatos üzemű online számlálóállomások adatainak rövid átfutási idejű megjelenítése az interneten, elsősorban a nagyobb forgalmú autópálya- és főútszakaszok, a fővárosi agglomeráció és a nagy folyami hidak esetében.

A felülvizsgálat javaslatainak bevezetése a forgalmi adatok előfeldolgozásával jelentősen lerövidíti az eredmények előállításának idejét, és az előzetes becslést átlagos napi forgalmi adatok a tárgyév második negyedétől kezdve bármikor elérhetővé válnak. A döntéshozók a forgalmi adatokat illetően gyors és megbízható válaszokat kapnak a kérdéseikre. A 4. ábra folyamatábrája be-



4. ábra: Eseti adatszolgáltatás folyamatábrája

mutatja az ad hoc adatigények kielégítésének javasolt módját. A reális igényeknek megfelelően a folyamat a nyers adatok feldolgozását és a feldolgozott adatok elemzését egyaránt magába foglalja, mert általában mindkettőre szükség van a döntések előkészítésében. Természetesen a minőség-ellenőrzés ebben az esetben sem maradhat el.

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az országos keresztmetszeti forgalomszámlálás felülvizsgálati tanulmánya javaslatokat ad a változtatásokra, melyek eredményeképpen frissebb és megbízhatóbb forgalmi adatok állnak majd rendelkezésre. A tanulmány foglalkozik a javasolt változások forrásigényével, melynek biztosítására magas szintű döntés szükséges. A gyakorlati bevezetés egyéves átmeneti időszak (2010) után 2011. januártól lehetséges. Az átmeneti időszakot az általános változáskezelési elvek mellett a gazdasági helyzet miatti forráshiány is indokolja.

A javasolt központi forgalmi adatbázis magába foglalja az országos közutak (beleértve a gyorsforgalmi utakat is) forgalomszámlálási eredményeit. Az adatoknak keletkezésük után a lehető leg-rövidebb időn belül be kell kerülniük az adatbázisba. Egy hatékony minőségbiztosítási rendszer mind helyi, mind központi szinten történő gyakorlati bevezetése lehetővé teszi a pontosabb és megbízhatóbb adatok tárolását. A központi forgalmi adatbázis sikeres megvalósításának és eredményes működésének fontos feltétele a mérnökök és az informatikusok hatékony együttműködése.

## IRODALOM

- [1] Smith, B. L. & Venkatanarayana, R. (2008). 'Automated Identification of Traffic Patterns', University of Virginia, Center for Transportation Studies, [www.gmupolicy.net/its/2008%20reports/Automatedidentificationoftraffic%20patterns.pdf](http://www.gmupolicy.net/its/2008%20reports/Automatedidentificationoftraffic%20patterns.pdf)
- [2] Koren, T., Hímes-Soft Bt. (2007): Forgalombecslés a forgalomszámlálási rendszerből kimaradt útszakaszokra. Megrendelő: Magyar Közút Kht.

[3] Goel, P. K., McCord, M. R., Park Ch. (2005). 'Exploiting Correlations between Link Flows to Improve AADT Estimation on Coverage Count Segments: Methodology and Numerical Study', Proceedings of the Transportation Research Board 84<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington D.C. on CD-ROM

[4] Cseffalvai M., Közlekedéstudományi Intézet Kht. (2005): Az átlagos napi forgalom megállapítása rövid idejű számlálásból. Megrendelő: Magyar Közút Kht.

## SUMMARY

### RE-VITALIZING THE NATIONAL TRAFFIC CENSUS SYSTEM

Decision makers form an increasing demand for current traffic data. Existing methods of data acquisition, data forwarding, data processing and data utilisation require updating. A feasibility study has been elaborated determining tasks for modification of the national traffic census system as well as its material and human resources requirements. The aim is to considerably shorten the data processing time. Establishment of a central traffic database gives possibility to provide preliminary data instead of yearly average daily traffic volumes which are available only in the spring of the next year. Traffic data measured either by devices or by hand should be incorporated into the central database as soon as possible and in a regulated way. Quality control of data is essential for reliable results. Correction of mistakes would take place on-the-fly. Standardised access methods ensure the correct utilisation of processed data from the central database. Organisational, legal and technical problems of integrating data originated at different road operators (e.g. motorway companies) have to be solved. The modification of the existing technical specification is indispensable. Engineers and IT experts have to co-operate successfully within the implementation process. Traffic data form an important part of the National Road Databank therefore the revision of the national traffic census may provide more update data as well as enhanced general data quality and reliability.

## KÉZIRATOK TARTALMI ÉS FORMAI KÖVETELMÉNYEI

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

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

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

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

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

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

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

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

(szerk.)



# KÉTLÉPCSŐS MECHANIKAI MODELLEK ALKALMAZÁSA ÚTPÁLYÁK FELÚJÍTÁSI BEAVATKOZÁSAINAK MÉRETEZÉSÉNÉL

DR. ADORJÁNYI KÁLMÁN<sup>1</sup>

## BEVEZETÉS

A honosított európai szabványok és a kapcsolódó szabályozási rendszer értelmében az útpályaszerkezetekbe is csak megfelelő vizsgálással rendelkező anyagok építhetők be. Az anyagok megfelelőségére vonatkozó európai szabályozási rendszer mellett azonban az útpályaszerkezetek méretezésére más területektől eltérően európai előírás (pl. tartószerkezeti Eurocode) nincs, a méretezést a tagországok saját hatáskörben szabályozzák. Az európai iránytartást olyan alapelvek követése – mint a tervezői felelősség meghatározása, a méretezésnél alkalmazott számítások bemutatása, a kiinduló adatok szakvéleményekkel és megfelelőségigazolásokkal alátámasztott felhasználása, a számítások teljes nyomon követhetőségének biztosítása, több változat kötelező értékelése, nemzetközileg elismert méretezési módszerek felhasználása stb. –, segítik, melyek főbb vonatkozásaira a következőkben térünk ki.

Az aszfaltburkolatú pályaszerkezetek felújításánál a meglévő aszfaltréteg(ek) részbeni vagy teljes eltávolítása, majd az így kapott fogadófelületre történő erősítő aszfaltréteg építése – illetve a különböző remixtechnológiákkal végzett beavatkozások –, olyan rétegrendváltozást eredményeznek, amellyel a méretezési szabályozásnak is foglalkoznia kell. Az erősítő aszfaltréteg vastagságának meghatározására elfogadhatóbb megoldást az új pályaszerkezetek méretezésénél már eleve alkalmazott aszfaltnyúlási kritérium (megengedett aszfaltnyúlás) alkalmazása nyújthat, ennek előzménye a szerző által korábban közölt módszer volt [1]. A meglévő pályaszerkezetek mechanikai alapú elemzésénél két modellt különböztetünk meg: első az alapmodell, amelyen először a modulusok visszaszámítását végezzük el, a második a beavatkozási modellt, amelyen az első alapmodellből kiindulva felvesszük az adott beavatkozást (pl. erősítés, marás+erősítés, a remix különböző változatai stb.), melyen a méretezést végezzük. Feltételezzük, hogy részleges marás után a maradó aszfaltréteg ép és homogén, a marás után észlelt leromlott részeket kijavították. Hangsúlyoznunk kell, hogy a meglévő pályaszerkezetek teherbírásának, rétegfelépítésének, a rétegek vastagságának, állapotának és anyagainak – végeredményben szerkezeti állapotának – változatossága, valamint az ezeken alkalmazott beavatkozási technológiák széles palettája a modellek nagyszámú variációjához vezet, ezért minden esetre sikeresen alkalmazható, univerzális megoldás nem adható. Tekintettel arra, hogy a gyakorlatban előforduló meglévő pályaszerkezetek esetről esetre változnak, ezért a visszaszámítási alapmodell felvételénél, majd a beavatkozási modell kialakításánál a pályaszerkezet állapotának és rétegfelépítésének megbízható ismerete mellett nemcsak a megfelelő mérnöki tapasztalatra, hanem a számítások és eredmények részletes bemutatására és igazolására is szükség van.

## 1. A LEMART ASZFALTVASTAGSÁG FIGYELEMBE VÉTELE AZ EGYENÉRTÉKŰ HELYETTESÍTŐ RÉTEGVASTAGSÁGOK MÓDSZERE ALAPJÁN

### 1.1. MÓDSZER ÉS MODELLEK

A következőkben tárgyalt háromrétegű modellben a rétegmódulusok visszaszámítása és a lemart aszfaltvastagság helyére kerülő erősítő aszfaltréteg vastagságának meghatározása iterációs eljárással történik. A számításokhoz a homogén szakaszokra meghatározott  $s_e$  megengedett és  $s_m$  mértékadó behajlás mellett további kiinduló adatként szükség van a rétegvastagságok, valamint a földmű mértékadó teherbírásának megbízható ismeretére, melyek szabványos laboratóriumi vagy helyszíni vizsgálati módszerekkel meghatározhatók. A homogén szakaszok azonosítása az ismert „összegzett differenciák módszerével” (CuSum) végezhető el.

1. táblázat: A fáradási nyúlási kritérium számításának adatai

A jellemző paraméter			
megnevezése		egysége	értéke
Terhelési frekvencia, $f$		Hz	10
Hőmérséklet, $T$		°C	20
Bitumen penetrációs index, PI		–	–0,50
Aszfaltbeton térfogat-összetétele	bitumentartalom, $V_b$	v/v%	13,0
	ásványiváz-tartalom, $V_a$	v/v%	81,0
	hézagtartalom, $V_v$	v/v%	6,0
Aszfaltmodulus, $S_m$		MPa	6000
Aszfalt fáradási egyenlete ( $v = 10$ )		$\epsilon = 1444(n/v)^{0,20}$	

Az erősítő aszfaltréteg modulusa ismert vizsgálati módszerekkel (lásd MSZ EN 12 697-26) közvetlenül meghatározható, vizsgálati eredmények hiányában erre tapasztalati összefüggések használhatók. Egy erősítő aszfaltréteg  $S_m = 6000$  MPa modulusát figyelembe véve, a fáradási nyúlási kritériumot (lásd az 1. táblázatot) a Shell Grand Couronne módszerével számítottuk [2]:

$$K = (0,300 \cdot PI - 0,015 \cdot PI \cdot V_b + 0,080 \cdot V_b - 0,198) \cdot S_m^{-0,28} \cdot N^{-0,2} \dots (1)$$

$$\epsilon = K \cdot \left(\frac{N}{v}\right)^{-0,2} \dots (2)$$

A francia méretezési útmutató képlete szerint számított nyúlási kritérium:

<sup>1</sup> Okleveles építőmérnök, CSc, egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem Közlekedéspítési és Településmérnöki Tanszék, Győr; e-mail: adorjany@sze.hu

$$\epsilon_e = \epsilon_6 \cdot \left(\frac{N}{10^6}\right)^{-0,2} \quad \dots(3)$$

Így a fáradási nyúlás egyenlete:

$$\epsilon_e = 144,4 \cdot \left(\frac{N}{10^6}\right)^{-0,2} \quad \dots(4)$$

ahol:

- $K$  – a fáradási egyenlet állandója;
  - $PI$  – a bitumen penetrációs indexe;
  - $V_b$  – az aszfaltkeverék bitumentartalma, v/v%;
  - $S_m$  – az aszfaltkeverék komplex modulusa, Pa;
  - $N$  – terhelési szám,  $TF= F100$ ;
  - $v$  – a laboratóriumban és az út pályaszerkezeti rétegében bekövetkező aszfaltfáradás különbségét figyelembe vevő korrekciós tényező,  $v=10$ ;
  - $\epsilon_6$  –  $10^6$  terhelési számhoz tartozó nyúlás,  $\mu\text{m}/\text{m}$ .
- A modulusok visszaszámításához alkalmazott modellek a következőkben írhatók le (1. ábra). A háromrétegű modellekben a rétegmarás figyelembevételéhez szükség van a földmű modulusának ismeretére is.

**A modell (kétrétegű alapmodell)**

A meglévő pálya teherbírását az  $s_m$  mértékadó behajlás és az  $E_m$  mértékadó teherbírési modulus (*Poisson*-tényező  $\mu_m$ ) jellemzi, az erősítésnél marást nem alkalmazunk. A megerősített pálya felületén  $h$  vastagságú és  $E_1$  modulusú (*Poisson*-tényező  $\mu_1$ ) erősítő réteg ráépítése után a teherbírás  $s_e$  megengedett behajlással és  $E_e$  megengedett teherbírési modulusal írható le. Ez a modell ÚT 2-1.202:2005 útügyi műszaki előírás módszerének felel meg.

**B modell**

Alapmodell, amely a megerősítés előtti állapotnak felel meg. Az  $E_s$  mértékadó teherbírású földművön (*Poisson*-tényező:  $\mu_s$ )  $h_3$  vastagságú és  $E_3$  modulusú (*Poisson*-tényező:  $\mu_3$ ) alapréteg, e felett  $h_2$  vastagságú és  $E_2$  modulusú (*Poisson*-tényező:  $\mu_2$ ) aszfaltréteg(ek) vannak. A modell teherbírását az  $s_m$  mértékadó behajlás és az  $E_m$  mértékadó teherbírési modulus jellemzi.

**C modell**

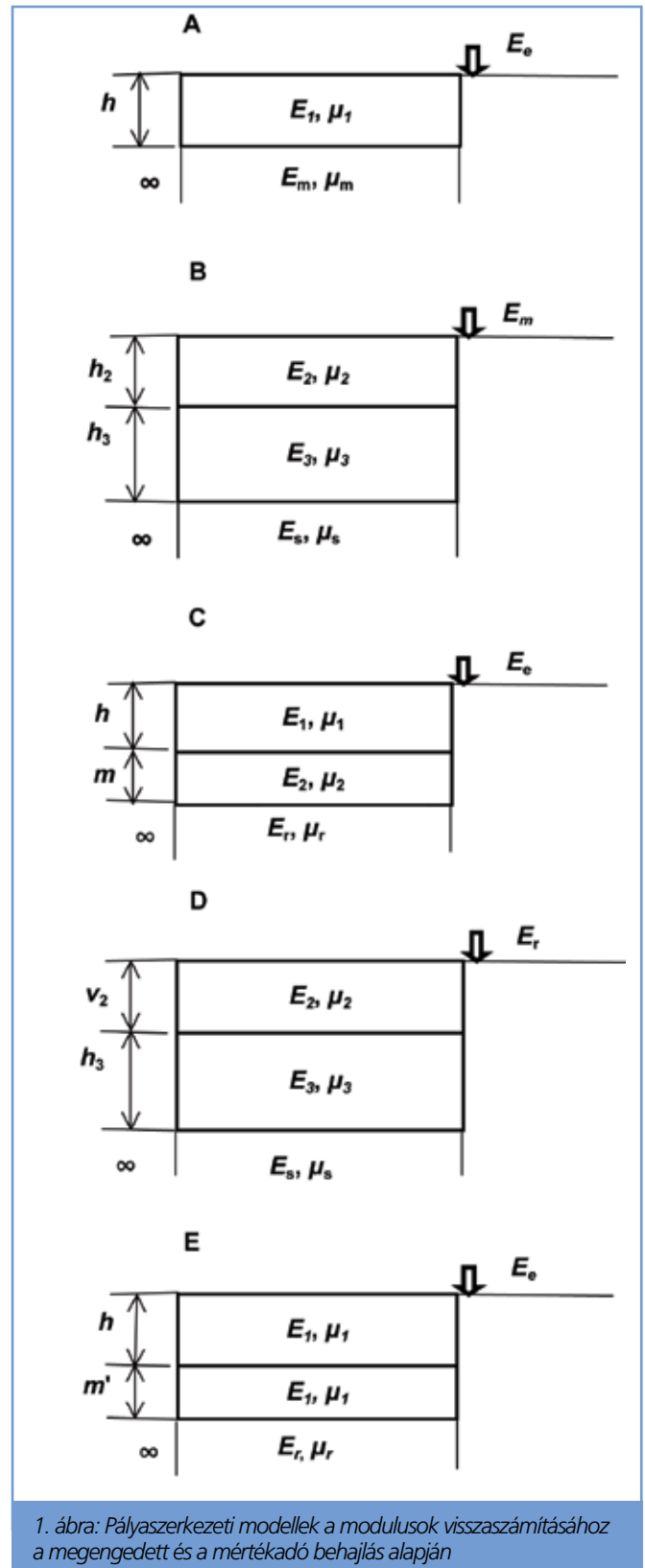
Ha az alapmodell felső rétegéből  $m$  mélységben marást irányoznánk elő, akkor a meglévő pálya lemart felületén a teherbírési modulus  $E_r$ -re csökkenne. Az  $E_r$  feltételezett teherbírású lemart pályán (*Poisson*-tényező:  $\mu_r$ )  $m$  vastagságú és  $E_2$  modulusú (*Poisson*-tényező:  $\mu_2$ ) meglévő aszfaltréteg van, erre  $h$  vastagsággal  $E_1$  modulusú (*Poisson*-tényező:  $\mu_1$ ) erősítő aszfaltréteg kerül. A modell teherbírását az  $s_e$  megengedett behajlás és az  $E_e$  megengedett teherbírési modulus jellemzi.

**D modell**

A marás következtében az alapmodell felső rétegének vastagsága  $h_2$ -ről  $v_2$ -re csökkent, a marás az alapréteget nem érinti. A felső réteg teljes vastagságban való lemarása esetén  $m = h_2$  és  $v_2 = 0$ . Az  $E_s$  mértékadó teherbírású földművön (*Poisson*-tényező:  $\mu_s$ )  $h_3$  vastagságú és  $E_3$  modulusú (*Poisson*-tényező:  $\mu_3$ ) alapréteg, e felett  $v_2$  vastagságú és  $E_2$  modulusú (*Poisson*-tényező:  $\mu_2$ ) aszfaltréteg van. A modell teherbírása egy feltételezett  $s_r$  behajlással és  $E_r$  teherbírési modulusal írható le.

**E modell**

A lemart felületű  $E_r$  teherbírású pályát összesen  $h+m'$  vastagságú és  $E_1$  modulusú (*Poisson*-tényező:  $\mu_1$ ) aszfaltréteggel megerősítjük. Az erősítő rétegből az  $m'$  vastagságú rész a teherbírás  $E_r$ -ről  $E_m$ -re javítja. A kész pálya felületén a teherbírás  $s_e$  megengedett behajlás és az  $E_e$  megengedett teherbírési modulus jellemzi.



1. ábra: Pályaszerkezeti modellek a modulusok visszaszámításához a megengedett és a mértékadó behajlás alapján

**1.2. MODULUSOK VISSZASZÁMÍTÁSA**

A modulusok visszaszámítására az Odemark-féle egyenértékű rétegvastagságok módszere alapján egy háromrétegű rendszerre Kirk által kidolgozott következő (5) összefüggést használtuk fel [3].



$$d = \frac{15 \cdot p \cdot a}{E_s} \left\{ \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(0,8 \frac{h_1}{a}\right)^2}} \right] \frac{E_s}{E_2} + \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \left(0,8 \frac{h_1}{a} \sqrt{\frac{E_1}{E_2}}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(0,8 \frac{h_1}{a} \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} + 0,8 \frac{h_2}{a}\right)^2}} \right] \frac{E_s}{E_2} + \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \left(0,8 \frac{h_1}{a} \sqrt{\frac{E_1}{E_s}} + 0,8 \frac{h_2}{a} \sqrt{\frac{E_2}{E_s}}\right)^2}} \right] \right\} \dots (5)$$

2. táblázat: A háromrétegű modell visszszámítási eredményei

Jellemző paraméter		A szakasz azonosítója					
jele	egysége	8	9	10	11	7	12
$s_e$	mm	0,50	0,40	0,60	0,50	0,56	0,80
$E_e$	MPa	318	398	265	317	284	199
$s_m$	mm	1,80	1,60	1,50	1,00	1,13	1,60
$E_m$	MPa	88,4	99	106	159	141	100
$E_1$	MPa	6000	6000	6000	6000	6000	6000
$E_2$	MPa	6440	2140	1355	1400	2140	530
$E_3$	MPa	32	80	107	2040	850	130
$E_s$	MPa	50	35	50	35	40	55
$E_r$	MPa	61	80	84	130	88	85
$h$	mm	150	177	106	92	89	78
$h^2$	mm	100	170	130	80	120	120
$h^3$	mm	150	150	100	150	80	140
$m$	mm	60	80	60	50	80	60
$v_2$	mm	40	90	70	30	40	60
$m'$	mm	54	45	35	25	52	20
$m-m'$	mm	6	35	25	25	28	40

A modulusok visszszámítása az 1. ábra szerinti B–C–D–E modelleken végrehajtott többlépcsős iterációval  $p=707$  kPa terhelésű,  $a=0,15$  m sugarú tárcsa alatti  $d=s_e$  behajlás alapján, MS EXCEL segítségével a solver funkció felhasználásával, vagy a használó által a számítógép billentyűzetéről egyedi lépésekben végezhető el.

A  $\pm(m-m')$  azt a különbséget mutatja meg, amennyivel az  $m$  lemart aszfaltvastagságban beépíteni tervezett új erősítő aszfaltreteg vastagsága csökkenthető, így a lemart pályára  $(h+m)$  vastagság helyett  $(h+m')$  aszfaltvastagság kerül, melynek rétegtrendje a megfelelő aszfaltfajtákra előírt beépíthető rétegvastagságok figyelembevételével alakítható ki. A 2. táblázatban feltüntetett szakaszok közül a 13-as szakaszon az aszfaltvastagság  $(m-m')$  értékkel nő, mivel a lemart réteg modulusa meghaladja az erősítő réteg modulusát.

### 1.3. A MODELLEK VERIFIKÁLÁSA

A modellek verifikálása a Shell-BISAR segítségével történt, a réteg anyaga szerint változó Poisson-tényezők (aszfalt:  $\mu=0,35$ , földmű:  $\mu=0,40$ , szemcsés alapréteg:  $\mu=0,40$ ) bemenő értékei és a következő változó rétegek kapcsolatokat mellett:

- az eredeti (5) összefüggésben is használt  $\mu=0,50$  értékkel és minden réteg között teljes kötéssel
- réteg anyagától függő változó  $\mu$  értékekkel, háromféle rétegek kapcsolatával:
- az aszfaltretek közötti teljes kötéssel a többi réteg között teljes csúszással;
- minden réteg közötti teljes csúszással;
- az aszfaltretek közötti 50%-os kötéssel a többi réteg között teljes csúszással.

A verifikálás a behajlások és nyúlások egyezésének összehasonlítására, valamint a megengedett behajlásból számított forgalmi terhelési osztálynak való megfelelőségre terjedt ki. A behajlásokat vagy a nyúlásokat akkor fogadtuk el egyezőnek, ha az (5) képlettel és a Shell-BISAR-ral számított értékek azonos forgalmi terhelési osztályban maradtak.

A 3. táblázatban feltüntetett verifikálási eredmények szerint a (5) képlettel számított és Shell-BISAR-ral ellenőrzött modellek  $\mu=0,50$  és teljes rétegekötés esetén egymáshoz közeli behajlásokat adnak, a rétegek közötti erőkapcsolat valóságosabb érték felé való oldásával már 10–38%-kal nagyobb behajlásokat kapunk. Az aszfaltnyúlások pedig a rétegek kapcsolat oldásával jelentősebben (160–280%-ra) nőnek. Tehát minél nagyobb csúszást

3. táblázat: A háromrétegű modellek verifikálási eredményei

Adatok			A szakasz azonosítója							
			13	14	11	7	12	8	9	10
Kiindulási adatok	Forgalmi terhelési osztály		E	E	E	D	C	E	K	D
	Megengedett behajlás, $s_e$ mm		0,45	0,45	0,50	0,56	0,80	0,50	0,40	0,60
	Mértékadó behajlás, $s_m$ mm		1,8	1,8	1,0	1,13	1,6	1,8	1,6	1,5
Számított adatok	Teljes kötés ( $\mu = 0,50$ )	behajlás mm	0,49	0,51	0,61	0,67	0,82	0,47	0,52	0,63
		nyúlás $\mu\text{m/m}$	53	56	90	122	267	71	73	147
	Teljes kötés ( $\mu =$ rétegenként változó)	behajlás mm	0,52	0,54	0,62	0,68	0,75	0,45	0,53	0,62
		nyúlás $\mu\text{m/m}$	53	56	57	102	210	62	66	125
	50% csúszás ( $\mu =$ rétegenként változó)	behajlás mm	0,57	0,59	0,95	0,82	1,01	0,68	0,59	0,73
		nyúlás $\mu\text{m/m}$	68	68	218	183	336	183	86	175
Teljes csúszás ( $\mu =$ rétegenként változó)	behajlás mm	0,66	0,67	0,98	0,89	1,12	0,63	0,72	0,80	
	nyúlás $\mu\text{m/m}$	125	107	253	256	435	167	151	252	

engedünk meg a rétegek között, annál nagyobb behajlásokat és nyúlásokat kapunk, miközben a nyúlások a behajlásoknál jóval nagyobb mértékben nőnek.

### Értékelés a behajlási kritérium alapján

Teljes rétegekötés és  $\mu=0,50$  mellett hat esetben a behajlások meg- egyeztek, két szakasz (9. sz. és 11. sz. szakasz) eggyel alacsonyabb forgalmi terhelési osztályba esik. Teljes rétegekötés és rétegenként változó  $\mu$  esetén hét esetben a behajlások azonosak, egy esetben (11. sz. szakasz) már eggyel alacsonyabb forgalmi terhelési osztálynak felelnek meg.

Az aszfaltrétegek közötti 50%-os csúszás és a többi réteg közötti teljes csúszás esetén a behajlások négy esetben eggyel alacsonyabb (7., 12., 8. és 10. szakasz), egy esetben kétféle alacsonyabb (9. szakasz), egy esetben hárommal alacsonyabb (11. szakasz) forgalmi terhelési osztályba kerülnek.

Minden réteg közötti teljes csúszásnál a behajlások négy szakaszon eggyel alacsonyabb (7., 12., 8. és 10. szakasz), egy szakaszon hárommal alacsonyabb (9. szakasz), egy szakaszon négyvel alacsonyabb (11. szakasz) forgalmi terhelési osztályba esnek.

### Értékelés a nyúlási kritérium alapján

Az aszfaltréteg alsó szálában fellépő számított nyúlások az ÚT 2-1.202:2005 szerinti – az új pályaszerkezet méretezésénél alkalmazott – megfelelő fáradási nyúlási kritérium alapján értékelve vastagabb erősítő aszfaltréteg esetén magasabb forgalmi terhelési osztálynak felelnek meg, míg a többi esetben általában alacsonyabb, két esetben azonos forgalmi terhelési osztályba esnek. Azonos feltételek esetén a rétegekötés minősége az aszfaltréteg vastagsága és modulusa mellett meghatározó a nyúlások alakulására.

Az 50%-os rétegekötés vagy a rétegek közötti teljes csúszás esetén a behajlási kritériumhoz képest a nyúlások 4-5-tel alacsonyabb forgalmi terhelési osztálynak felelnek meg.

Ezek a számítások is alátámasztják a már régebben ismert tényt, hogy az erősítés fáradási nyúlási kritérium alapján történő méretezése a behajlási kritériummal számítottéhoz képest jóval vastagabb szükséges erősítő aszfaltréteg-vastagságokat eredményez.

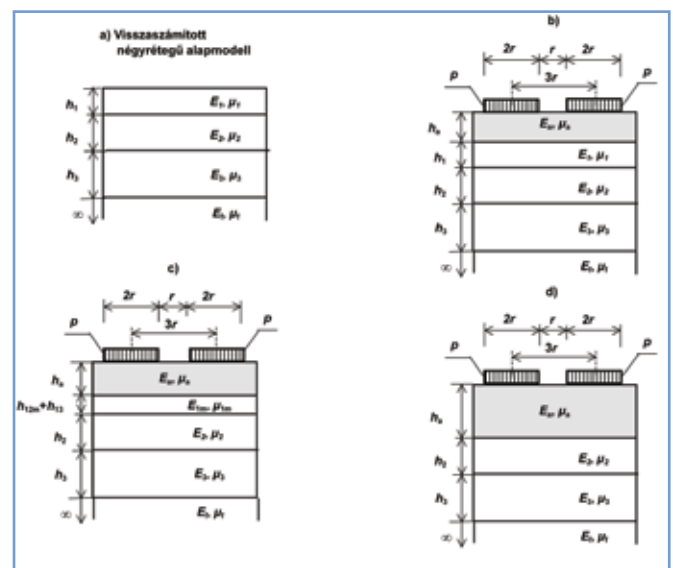
A (5) összefüggés alkalmazásával kapott eredmények (visszaszámított modulusok, behajlások, nyúlások) leginkább a rétegek közötti teljes kötés feltételének felelnek meg, ezért az erősítésméretezéshez sem a behajlási, sem a nyúlási kritérium alapján nem alkalmazhatók.

## 2. AZ ASZFALT VASTAGSÁGOT MÓDOSÍTÓ BEAVATKOZÁSOK FIGYELEMBEVÉTELE EJTŐSÚLYOS TEHERBÍRÁSMÉRÉSEK ALAPJÁN

### 2.1. MÓDSZEREK ÉS ELVEK

Mivel az ejtősúlyos teherbírás mérésekből a rétegmodulusok származtathatók, így realisabb pályaszerkezeti modellek alapján az aszfaltvastagságot érintő különböző beavatkozások (részleges vagy teljes marás, remix, admix) megbízhatóbban vehetők figyelembe. A különböző ejtősúlyos teherbírás mérő berendezéseket kibocsátó cégek az általuk gyártott eszközökhöz megfelelő kiértékelő szoftvereket is szállítanak (Dynatest/ELMOD, kiterjedt PMS-vonatkozásokkal, KUAB/Clevercalc stb.) amelyeket elterjedten használnak. Számos önállóan kifejlesztett szoftver is elérhető, amelyek alkalmasak a különböző gyártmányú mérőberendezések által képzett adatfájlok megfelelő formátumra való konvertálására, a modulusok visszaszámítására, az erősítés méretezésére és több más beavatkozás megfelelő tervezésére. Az aszfaltrétegek hőmérsékletének meghatározására elterjedten alkalmazzák az FHWA- és SHRP-kutatások keretében kidolgozott és az AASHTO által szabványosított BELLS mód-

szert [4]. A különböző visszaszámító programok eleinte három- vagy négyrétegű modellekkel működtek, ma már – az egyes rétegek nemlineáris tulajdonságainak kezelését is beleértve – ötrétegű vagy ennél nagyobb rétegszámú modelleket is használnak. A visszaszámítás után az aszfaltrétegek modulusait a referencia-hőmérsékletre ( $T=20\text{ °C}$ ) és a méretezési frekvenciára ( $f=10\text{ Hz}$ ) a kötőanyag nélküli alaprétegek és a földmű modulusát pedig évszaki ingadozásaikkal szükséges korigálni. A korrekciók azért is fontosak, mert a különböző mérőberendezések (KUAB, Dynatest) terhelési idői beállítástól függően jelentősen különböznek. A következőkben tárgyalt négyrétegű beavatkozási modellek közös vonása, hogy azokat a visszaszámított modelleken nemzetközileg széles körben elfogadott és hazai viszonylatban is ismert számítógépes szoftver segítségével (pl. Shell-BISAR, LCP-ALIZE) – ahogyan azt az új építési pályaszerkezetek esetében is tesszük, – a szokásos mechanikai méretezési elveket követve kezeljük. A beavatkozásokat még részletesebben elemezhetjük öt- vagy hatrétegű visszaszámított modellekkel.



2. ábra: Pályaszerkezet-erősítési beavatkozások a négyrétegű visszaszámított alapmodellben

## 2.2. BEAVATKOZÁSOK FIGYELEMBEVÉTELE A NÉGYRÉTEGŰ VISSZASZÁMÍTOTT MODELLBEN

### 2.2.1. ERŐSÍTÉSI BEAVATKOZÁSOK

a) A négyrétegű visszaszámított alapmodell (2a. ábra) rétegeinek sorrendje: 1 – aszfaltréteg vagy aszfaltrétegek együttese, 2 – felső alapréteg, 3 – alsó alapréteg, 4 – földmű. Az alapmodell aszfaltrétegeinek együttese három rétegből áll ( $h_1=h_{11}+h_{12}+h_{13}$ ). A 2. ábrán bemutatott beavatkozási modelleken az erősítő aszfaltréteg(ek)  $E_a$  modulusát (modulusait) laboratóriumi vizsgálattal (MSZ EN 12 697-26), ennek hiányában közelítő empirikus számítási módszerekkel (pl. Shell BANDS) határozhatjuk meg.

b) Az alapmodell rétegeinek változatlanul hagyása mellett a teherbírást új erősítő aszfaltréteg(ek) ráépítésével javítjuk. A 2b. ábra egyrétegű,  $h_a$  vastagságú,  $E_a$  modulusú,  $\mu_a$  Poisson-tényezőjű erősítő aszfaltréteget mutat be,  $r=0,105\text{ m}$  sugarú,  $p=722\text{ kPa}$  megoszló terhelésű ikerkerék alatt.

c) Az első aszfaltréteget  $h_{11}$  vastagságban teljesen – a második aszfaltréteget részben – lemarjuk, ez utóbbi a részbeni lemarás következtében  $h_{12m}$  vastagságúra alakul, a harmadik aszfaltréteg  $h_{13}$  vastagsága változatlan marad (2c. ábra). Az egyes rétegek modulusainak laboratóriumi vizsgálattal való meghatározásánál a vizsgálá-

tokat célszerű a referencia-hőmérsékleten végezni, ezután már csak a méretezési frekvenciára kell azokat korrigálni. Megbízható korrekciós összefüggések hiánya esetén, ha a visszszámításnál több aszfaltréteget vontunk össze, akkor a marás után megmaradt aszfalt-  
 réteg(ek)  $E_{1(m)}$  modulusát közelítőleg a (6) képlettel számíthatjuk.

$$E_{1(m)} = k \cdot E_1 \quad \dots(6)$$

$$k = \frac{E_{e(lm)}}{E_{e(l)}} \quad \dots(7)$$

ahol:

- $E_1$  – az aszfaltrétegek együttesének dinamikus behajlásokból visszszámított modulusa a marás előtt;
- $E_{1(m)}$  – a marás után megmaradt aszfaltrétegek együttesének dinamikus behajlásokból visszszámított modulusa;
- $E_{e(l)}$  – az aszfaltrétegek együttesének laboratóriumi vizsgálatokkal meghatározott egyenértékű modulusa a marás előtt;
- $E_{e(lm)}$  – a marás után megmaradt aszfaltrétegek együttesének laboratóriumi vizsgálatokkal meghatározott egyenértékű modulusa.

Az egyenértékű modulusokat a szakirodalomból ismert képletekkel a hajlítási merevségek összeadásának elve alapján közelítőleg számíthatjuk [5].

$$E_{e(l)} = \left( \frac{h_{11} \cdot E_{11}^{\frac{1}{3}} + h_{12} \cdot E_{12}^{\frac{1}{3}} + h_{13} \cdot E_{13}^{\frac{1}{3}}}{h_1} \right)^3 \quad \dots(8)$$

$$E_{e(lm)} = \left( \frac{h_{12m} \cdot E_{12}^{\frac{1}{3}} + h_{13} \cdot E_{13}^{\frac{1}{3}}}{h_{12m} + h_{13}} \right)^3 \quad \dots(9)$$

ahol:

- $h_{11}, h_{12}, h_{13}$  – az első, második és harmadik aszfaltréteg magmintáin vizsgálattal meghatározott rétegvastagságok;
- $h_{12m}$  – a második aszfaltréteg marás után megmaradt vastagsága;
- $E_{11}, E_{12}, E_{13}$  – az első, második és harmadik aszfaltréteg magmintáin laboratóriumi vizsgálattal meghatározott modulusok.

d) a felső aszfaltréteg (aszfaltrétegek együttesének) teljes vastagságban történő eltávolítása után a megmaradt rétegekre új erősítő aszfaltréteg(ek)-et építenek (2d. ábra). Ebben az esetben az alapmodell megmaradt rétegeinek modulusai adottak.

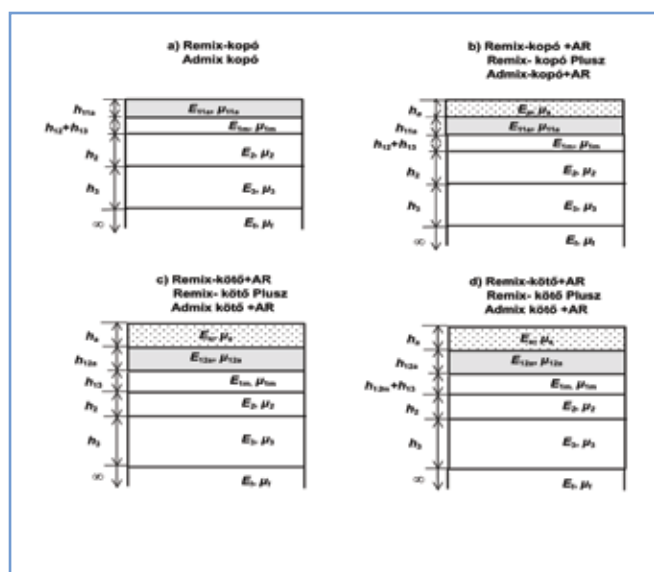
### 2.2.2. MELEGREMIX BEAVATKOZÁSOK

A melegremix technológiákkal a pályaszerkezet teherbírása általában korlátozott mértékben javítható, ezért az ilyen technológiák alkalmazásának általános feltétele a meglévő pályaszerkezet teherbírásának jó megfelelősége, de egyes változatoknál (kiegészítésként épített új kopóréteggel vagy kötőréteg helyreállításával együtt stb.) a teherbírás kisebb mértékben kimutathatóan javulhat. Az ilyen technológiákkal készült aszfalt-  
 rétegek modulusait laboratóriumi vizsgálattal célszerű meghatározni, mivel az empirikus közelítő képletek erre kevésbé alkalmasak.

Változatok:

a) az első aszfaltréteg felújítása meleg remixszel vagy admixszel teljes rétegvastagságban, a második és harmadik aszfaltréteg változatlan marad (3a. ábra);

b) az első aszfaltréteg felújítása meleg remixszel vagy admixszel teljes rétegvastagságban, a második és harmadik aszfaltréteg változatlan marad, kiegészítésül erre  $h_a$  vastagságban új aszfalt



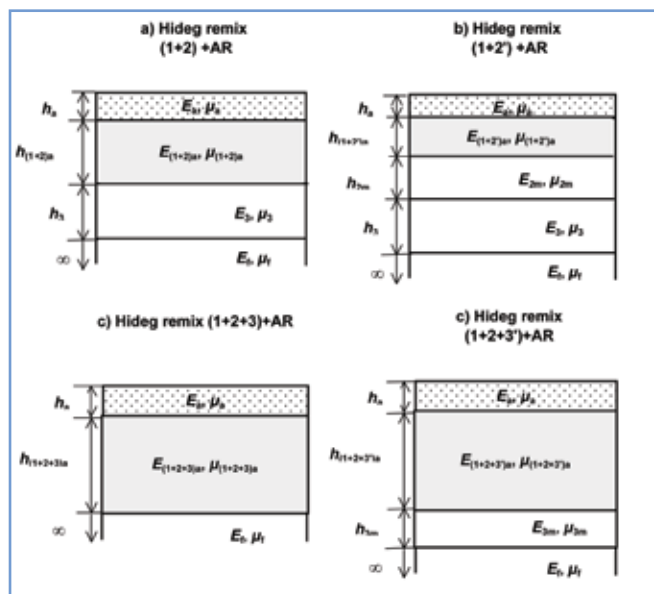
3. ábra: Melegremix beavatkozási modellek

kopóréteget (AR) építenek. Másik alternatíva a meglévő kopóréteg felújítása remix plusszal, a második és harmadik aszfalt-  
 réteg változatlan (3b. ábra);

A 3a. és 3b. ábrákon bemutatott változatokhoz az  $E_{1(m)}$  és  $k$  számításához használható összefüggés:

$$E_{e(lm)} = \left( \frac{h_{12} \cdot E_{12}^{\frac{1}{3}} + h_{13} \cdot E_{13}^{\frac{1}{3}}}{h_{12} + h_{13}} \right)^3 \quad \dots(10)$$

c) a meglévő kopóréteg eltávolítása, a kötőréteg felújítása meleg remixszel vagy admixszel, majd erre  $h_a$  vastagságban új aszfalt-  
 réteg(ek) (AR) építése, a harmadik aszfaltréteg változatlan. Másik alternatíva a meglévő kötőréteg felújítása remix plusszal, a második és harmadik aszfalt-  
 réteg változatlan (3c. ábra). A 3c. ábrán bemutatott változatoknál  $k=1$ .



4. ábra : Hidegremix beavatkozások a négyrétegű visszszámított modellen



d) a meglévő kopóréteg eltávolítása, a kötőréteg részbeni felújítása meleg remixszel vagy admixszel, majd erre  $h_a$  vastagságban új aszfaltréteg(ek) (AR) építése, a harmadik aszfaltréteg változatlan. Másik változat a meglévő kötőréteg részbeni felújítása remix plusszal, a harmadik aszfaltréteg változatlan. Ezeknél a változatoknál a kötőrétegből  $h_{12m}$  vastagság marad meg,  $E_{e(lm)}$  és  $k$  értéke a (9) képlettel számítható (3d. ábra).

### 2.2.3. HIDEGREMIX BEAVATKOZÁSOK

A következő hidegremix beavatkozási változatoknál egy vagy több réteget (részben vagy egészben) kötőanyaggal (szükség esetén hozzáadott ásványi anyaggal) átkevernek, erre új erősítő melegaszfalt réteget építenek (4. ábra).

#### Burkolati hidegremix

- Az első és második réteg együttes felújítása  $h_{(1+2)a}$  vastagságban (4a. ábra),
- az első réteget a második réteg egy részével együttesen felújítjuk ( $h_1+h_2-h_{2m}$  vastagságban), a második rétegből  $h_{2m}$  vastagság marad (4b. ábra).

#### Szerkezeti hidegremix

- Az első, a második és a harmadik réteget együttesen felújítjuk  $h_{(1+2+3)a}$  vastagságban (4c. ábra),
- az első és második réteget a harmadik réteg egy részével együttesen kötőanyaggal felújítjuk ( $h_1+h_2+h_3-h_{3m}$  vastagságban), a második rétegből  $h_{3m}$  vastagság marad (4d. ábra);

## 3. ALKALMAZÁS

Egy négyszámjegyű összekötő úton KUAB-berendezéssel részletes teherbírásmérést végeztek, a mérési pontokat az út bal és jobb oldalán váltakozva 25 m-enként jelölték ki. A pályaszerkezeti alapmodell fúrásos feltérési eredményei hasonlóságot mutatnak jelentős kilométerhosszban előforduló, hazai azonos osztályú utak jellemző rétegfelépítésével és állapotával:

#### A pályaszerkezeti alapmodell (2a. ábra szerint)

Jobb oldalon:

- 70 mm vtg. felületi bevonat és aszfaltbeton együtt;
- 70 mm vtg. itatott aszfaltmakadám;
- 150 mm vtg. szórt zúzottkő alap;
- földmű talaja (iszap).

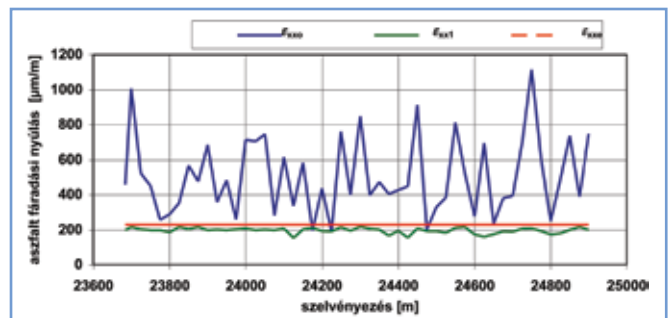
Bal oldalon:

- 50 mm vtg. felületi bevonat és aszfaltbeton együtt;
- 100 mm vtg. itatott aszfaltmakadám;
- 200 mm vtg. szórt zúzottkő alap;
- földmű talaja (iszap).

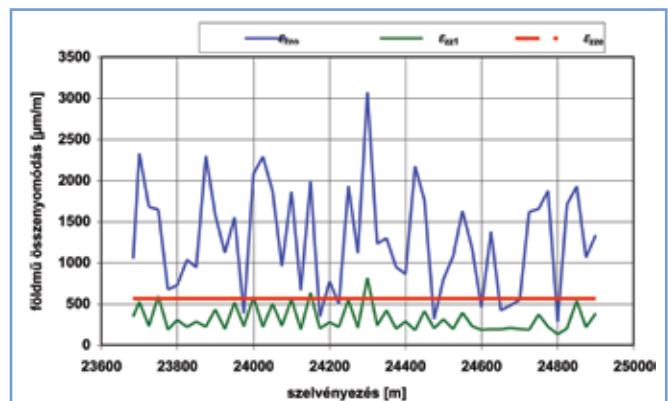
A behajlások kiugró értékeinek eltávolítása után a modulusok visszaszámítását a MODULUS szoftverrel mérési pontonként végeztük négyrétegű alapmodell, az aszfaltrétegek modulusait a visszaszámítás után  $T=+20$  °C méretezési hőmérsékletre és  $f=10$  Hz méretezési frekvenciára korrigáltuk. A pályaszerkezetben a kritikus teherbírású réteg az itatott aszfaltmakadám volt.

#### A beavatkozási modell (2b. ábra szerint)

Az alapmodellre 150 mm vastagságú erősítő aszfaltréteget építünk. Az 5. és 6. ábrák a méretezési kritériumokat, a számított aszfaltfáradási nyúlást és a földmű függőleges összenyomódását mutatják be mérési pontonként erősítés előtt, illetve erősítés után. A méretezési kritérium nem teljesülése a mérési pontok legfeljebb 5%-án fordulhat elő. A meglévő pályaszerkezet gyen-



5. ábra : Az aszfalt fáradási nyúlásának megengedett ( $\epsilon_{xx0}$ ), valamint erősítés előtti ( $\epsilon_{xx1}$ ) és erősítés utáni ( $\epsilon_{xx2}$ ) értékeinek alakulása a szelvényezés függvényében



6. ábra : A földmű függőleges összenyomódásának megengedett ( $\epsilon_{zz0}$ ), valamint erősítés előtti ( $\epsilon_{zz1}$ ) és erősítés utáni ( $\epsilon_{zz2}$ ) alakulása a szelvényezés függvényében

ge teherbírása miatt a 150 mm vastagságú erősítő aszfaltréteg ráépítése után az aszfaltfáradási kritérium alapján a pályaszerkezet az A forgalmi terhelési osztályba, a földmű-összenyomódási kritérium alapján a C forgalmi terhelési osztályba esik. Ebben az esetben célszerű a szerkezeti hidegremix valamelyik alváltozatának vizsgálata és gazdasági összehasonlítása, amely hasonló utaknál magát a teljes pályaszerkezetet tekinti helyi anyagnak.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A pályaszerkezeti beavatkozások méretezése kétlépcsős modellel történik: az első az alapmodell, amelyet a dinamikus teherbírásmérés eredményeiből származtatunk, ebben a rétegmodulusokat mérési pontonként határozzuk meg. A második az erre szerkesztett beavatkozási modell, amelyen a méretezést analitikai módszerrel mérési pontonként végezzük az új pályaszerkezeteknél is alkalmazott aszfaltnyúlási kritérium és földmű-összenyomódási kritérium ellenőrzésével. A helyettesítő egyenérték-vastagságokon alapuló modellek a rétegek közötti erőkapcsolatot túlértékelik, a valóságostól kedvezőbb eredményeket adnak. A megbízható visszaszámítás és a méretezés érdekében, a tervezőnek behatóan meg kell ismernie a tervezési szakaszt és a helyben található anyagokat. A meglévő pályaszerkezet rétegfelépítéséről és anyagairól szükséges teljes mértékű információ megszerzéséhez az eddigieknél több vizsgálatra van szükség. Ezért nagyon fontos a helyszíni vizsgálatoknál a rétegek kapcsolat értékelése mellett a méretezési modellben a rétegek kapcsolat kezelése. A méretezéshez felhasznált kiindulási adatokat a tervezőnek szakvéleménnyel, illetve megfelelőségigazolással kell alátámasztania. A mintavételhez és az anyagok értékeléséhez a vizsgálati keret az MSZ EN 12 697-es vizsgálati szabványsorozat adja. A lokálisan előforduló kiugró mérési eredmények okait vizsgálni kell, és a beavatkozási tervben ezek megszüntetésére ki kell térni.

A többrétegű analitikai modelleket alkalmazó kétlépcsős méretezési módszer lehetővé teszi:

- a pályaszerkezet kritikus állapotú rétegének (rétegeinek) azonosítását;
- a méretezési kritériumok pontosabb figyelembevételét;
- a beavatkozások több ütemben történő tervezését;
- a különböző technológiai változatok gazdasági kiértékelését teljes életciklusra;
- az innovációs technológiák kínálta lehetőségek figyelembevételét;
- a helyben található anyagok alkalmazása előnyeinek igazolását.

A tervezési folyamat minőségbiztosításához, a több változat értékeléséhez a tervezői felelősségi és feladatkör pályaszerkezet-tervezésre meghatározott részletezése támpontot adhat. A tervező a vizsgált változatokat részletes méretezési számításokkal igazolhatja, ugyanolyan részletességgel, mint pl. egy vasbeton födém tervezésénél ezt a tartószerkezeti területen statikai számítás közlésével teszik.

A meglévő pályaszerkezeten végzendő különféle beavatkozási kombinációk (pl. rétegmarás, remix) a méretezési modellen egyszerűen kezelhetők. Az optimális beavatkozási változat kiválasztásához minden esetben több változatot ajánlott kidolgozni és összehasonlítani. A rossz teherbírású utaknál gazdasági okok miatt a vastag erősítő aszfaltréteggel megvalósított beavatkozások helyett hatékonyabbnak ígérkeznek azok a változatok, melyeknél a meglévő útban található (*in situ*) anyagot újrafelhasználják, és ahhoz anyagtól függően választanak megfelelő kötőanyagot. A nagy kilométerhosszban előforduló aszfaltpályák szerkezeti remixe esetén leghatékonyabb a bitumenes kötőanyag (pl. habosított bitumen, bitumenemulzió) vagy vegyes kötőanyag alkalmazása lehet, mivel az ezekben található értékes aszfaltanyag csak így hasznosítható.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Adorjányi K.: Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek megerősítésének méretezése ejtősúlyos behajlások alapján. *Közúti és Mélyépítési Szemle*. LXIX. évf. 1999. 12. pp. 495–499.
- [2] Bonnaure F., Gravois A., Udron J.: A new method for predicting the fatigue life of bituminous mixes. *Proc. AAPT.*, 1980. Vol. 49. pp. 499–524.
- [3] Kirk J. M. Calcul de l'épaisseur des assises de route. *Congress PIARC, Rome, 1964.*
- [4] Standard test Method for Prediction of Asphalt-Bound Pavement Layer Temperatures. *AASHTO Designation : T 317-04*
- [5] Research and Development of The Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1) Ninth Edition. *Research Report No. 82-2 RR-82-2, August, 1982*
- [6] Adorjányi K.: Overlay Design of Asphalt Pavements with Two-Layer Models. 1<sup>st</sup>. *European Pavement Management Systems Conference, 24-27<sup>th</sup> September, 2000, Budapest. (Az előadás CD-n jelent meg).*
- [7] Adorjányi K.: Comparison of backcalculation methods and laboratory verification. 1<sup>st</sup> *European FWD User's Group Meeting. TU Delft, February, 2001.*
- [8] BANDS User Manual. Bitumen and Asphalt Nomographs Developed by Shell, 1990.
- [9] Shell pavement design method. *BISAR PC user manual, 1995.*
- [10] Conception et dimensionnement des structures de chaussée – Guide technique, *LCPC-SETRA, 1997.*
- [11] MODULUS User's Manual. Research Report 1987-1. *Texas Transportation Institute, 1995.*

## SUMMARY

### APPLICATION OF TWO STAGE MECHANICAL DESIGN MODELS FOR PAVEMENT REHABILITATION

The existing two-layer pavement model for the design of asphalt overlays with the static deflection criteria doesn't allow handling the wide range of technological alternatives used in pavement rehabilitation. The basic pavement model is created as a result of backanalysis of layer's moduli from Falling-Weight Deflection measurement and pavement condition survey. The design model involves the basic model with treating technological operations such as milling, overlays, hot surface recycling, in-place cold recycling. Instead of static surface deflection, the design criteria are the asphalt fatigue strain and subgrade vertical compression. When the asphalt package consists of more layers, a method is shown how the stiffness moduli of asphalt mixes tested in laboratory can be combined with backanalysed moduli from FWD measurements.

## A KÖZLEKEDÉSEPÍTÉSI SZEMLE LEKTORÁLÁSI RENDJE

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

Az értékelés szempontjai:

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

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

(szerk.)

# A KOMPAKTASZFALTOS ÉPÍTÉSI TECHNOLÓGIA HAZAI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

FÜLEKI-T. PÉTER<sup>1</sup> – DR. HABIL. GÁSPÁR LÁSZLÓ<sup>2</sup> – KAROLINY MÁRTON<sup>3</sup> – DR. PALLÓS IMRE<sup>4</sup>

## 1. BEVEZETÉS

Az aszfaltburkolatok világszerte gyakran tapasztalt – még az autópálya-hálózaton is észlelhető – korai meghibásodásának leggyakoribb okai közé tartozik a pályaszerkezeti rétegek közötti elégtelen tapadás, illetve az egyes aszfaltrétegek tömörítetlensége. Az 1990-es években Németországban kialakították a kompaktaszfalt építési technológiáját, amely az említett problémák megoldására (enyhítésére) is szolgál, ugyanakkor pedig előre lépést jelent a hűvös időjárás mellett (pl. késő ősszel) készített aszfaltburkolatok minőségjavítása tekintetében is.

Hazánkban már korábban készült két kísérleti munka kompaktaszfalt-technológiával. Ezeknek a burkolatoknak a kedvező viselkedése volt az egyik indoka, hogy 2009-ben a Magyar Útügyi Társaság megbízására olyan munkabizottság alakult, amely a kompaktaszfalt építési technológiájára vonatkozó hazai szabályozást előkészíti, elsősorban a tárgykörben legnagyobb tapasztalattal rendelkező ország, Németország ez irányú elméleti és gyakorlati eredményeire támaszkodva. A következőkben áttekintjük az építési technológiát, beszámolunk a korábbi hazai kísérletekről, majd pedig a tárgyban készült külföldi szabályozásról, egy német szakember budapesti előadásának eredményeiről, illetve a bizottsági tagok német tanulmányútjának tapasztalatairól esik szó, végül pedig a munkabizottság által készített útügyi műszaki előírás tervezetéből kiindulva, a hazai bevezetés egyes kérdéseit érintjük.

## 2. AZ ÉPÍTÉSI TECHNOLÓGIA RÖVID LEÍRÁSA

A kompaktaszfalt-burkolat építési technológiáját Németországban a következő célok elérése érdekében alakították ki:

- az aszfaltrétegek tömörítési lehetőségeinek javítása,
- az aszfaltrétegek közötti hatékonyabb összekötés, a két réteg „összefogazódása” révén, a kopórétegben ébredő nyíróerők még nagyobb határfokkal vezethetők le az alsó rétegbe,
- a jó minőségű aszfaltburkolat építésére már nem megfelelő, hűvös időjárásban történő építés lehetőségének megteremtése,
- a szokásos építési módhoz viszonyítva vékonyabb kopóréteg építhetőségéből származóan a különösen értékes (és általában drága) építőanyagok megtakarítása.

A kompaktaszfalt-burkolat olyan két rétegben és különböző összetételben beépített hengereltaszfalt, amelynek terítése során az alsó réteg (a kötő- vagy a teherhordó réteg) hőkapacitását hasznosítják a vékony felső réteg (a kopóréteg) hatékony tömörítéséhez. Eközben – ragasztással, kötőanyag-permetezés nélkül – a rétegek között hatékony és tartós összekötöttség jön létre, a kompaktaszfalt-szerkezet kialakul.

Kompaktaszfalt-burkolat építésekor a különböző forgalmi terhelési osztályokban a 0/11-es, illetve a 0/8-as névleges szemnagyságú, különféle kopórétegtípusok esetében elegendő 15–25 mm-es névleges vastagságú kopóréteg alkalmazása. Kompaktaszfalt-rétegeket csak kötőanyagossal alaprétegen szabad építeni.

Az ilyen burkolat tervezésekor különös tekintettel kell lenni a nyomvonalra, a geometriai feltételekre, a szakasz hosszára és az aszfaltkeverékek szállítási lehetőségeire. Kiemelt jelentőségű a terítési szélesség. Félpályás terítés esetében ugyanis elkerülhetetlen a hosszirányú összedolgozási vonal (varrat) kiképzése, amely egyrészt az építési időt jelentős mértékben megnöveli, másrészt pedig – nem tökéletes kivitelezés esetében – a burkolat meghibásodásának forrása lehet.

A kompaktaszfaltok tervezésekor két lehetőség áll fenn. Vagy a két réteget egyetlen speciális (két modulból összetett) finiser építi be, ekkor a két réteget egymás fölé csak néhány m-es eltéréssel terítik el. Ezt a technológiát a „forró” eljárásnak nevezik. Ilyen esetben különösen hatékonyan összeköt a két réteg, hiszen az alsó rétegnek még magas a hőmérséklete, amikor a vékony kopóréteg ráépül. Így a két magas hőmérsékletű réteg együtt nagyon hatékonyan tömöríthető. Másik lehetőségként pedig az kínálkozik, hogy a – „forró” a melege” technológiát követve – két hagyományos gépsorral (finiser és hengercsoport) szorosan egymás mögött terítik el a két réteget. Ebben az esetben az alsó réteget jól be kell tömöríteni, annak érdekében, hogy a felső réteg építésekor a keverékszállító járművek és a második finiser okozta káros alakváltozások (az alsó rétegben történő benyomódások) ne okozzák a kompaktaszfalt kopórétegének elfogadhatatlan mértékű felületi egyenetlenségét.

A kompaktaszfalt beépítési elvét részben hasznosítják azok az aszfaltburkolat-felújítási technológiák, amelyek a régi útpályát jelentős mértékben felmelegítik, majd a kopóréteget (nem keverégyított kivitelben) erre terítik el. Ilyenkor is elérhető a régi és az új réteg hatékony összekötése, amely az útpályaszerkezet teljesítménye szempontjából kimondottan előnyös körülmény. (Az 1980-as években hazánkban is alkalmazták az ún. infradominós felújítási módszert, amely a korábban felvázolt elvet követi. Széles körű elterjedésének azonban határt szabott, hogy a hazai éghajlati körülmények között választott, viszonylag kemény bitumenfajták a pálya felmelegítésének hatására tovább keményedtek, és így ez az aszfaltréteg merevvé, túlzottan repedésérzékennyé vált). Az is köztudott, hogy határidős teljesítés igénye miatt, téli időjárási körülmények során építve inframelegítőkkel esetenként előmelegítik a fogadófelületet.

<sup>1</sup> Okleveles építőmérnök, egyetemi tanársegéd, Széchenyi István Egyetem, Győr, e-mail: fulekip@sze.hu

<sup>2</sup> Okleveles mérnök, okl. gazdasági mérnök, az MTA doktora, kutató professzor, KTI Nonprofit Kft., Budapest, egyetemi tanár, Széchenyi István Egyetem, Győr, e-mail: gaspar@kti.hu

<sup>3</sup> okleveles mérnök, okl. mérnök-közgazdász, vezető tanácsadó, H-TPA Kft., e-mail: marton.karoliny@tpaqi.com

<sup>4</sup> Okleveles vegyész mérnök, egyetemi doktor, címzetes egyetemi docens, BME Út és Vasútépítési Tanszék, e-mail: pallos.imrene@upcmail.hu

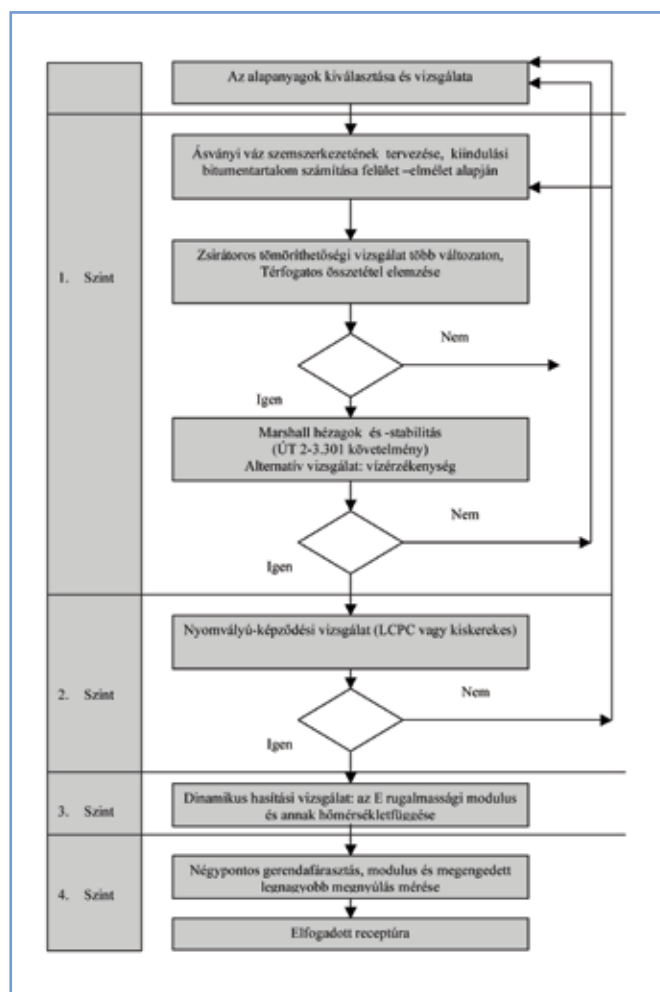


### 3. KORÁBBI HAZAI KÍSÉRLETEK

Hazánkban korábban két olyan kísérletre került sor, amely a kompaktaszfalt építési technológiájának bizonyos mértékű ki-próbálását célozta.

Az IMI Kft. 2003-ban, Budapesten, a XXI. kerületben, a Szent Imre teret övező utcákban a megelőző év nyarán megépített, és a jelentős nehézgépjármű- és autóbusz-forgalom hatására már néhány hét elteltével keréknyomosodott autóbuszmegálló-burkolatokhoz és autóbuszsávokhoz javítási technológiát dolgozott ki. A szóban forgó pályaszerkezet felépítése a következő volt: 150 mm CK<sub>1</sub> burkolatalap + 60-70 mm JU-35/F, illetve K-20/F kötőréteg + 40 mm ZMA-12 kopóréteg. Az előzetes laboratóriumi vizsgálati eredmények szerint a keréknyomvályú ugyan elsősorban a felső réteg deformációja (az alakváltozással szembeni nem elegendő ellenállása) miatt alakulhatott ki, az IMI Kft. azonban a teljes aszfaltszerkezet cseréjét javasolta, a Magyarországon még előzmények nélküli kompaktaszfaltos technológia (nagymodulusú kötőréteg és a rákerülő vékonyaszfalt réteg) alkalmazásával. A két réteget „forró a melegre” technológiával, emulziós ragasztóréteg alkalmazása nélkül építették meg.

Az aszfaltok tervezésére, az IMI Kft. által kialakított módszertan egyes lépéseit az 1. ábrán látható blokkdiagram szemlélteti.



1. ábra: Aszfaltkeverék-tervezési módszertan blokkdiagramja (IMI Kft.)

A K-20/F NM és az mZMA-8 jelű aszfalt keveréktervének készítését adalékanyagok szemmegoszlási vizsgálata, fárasztási vizsgálatok (négyponos gerendafárasztás), keréknyom-képződési vizsgálatok, valamint a rugalmassági modulusok hőmérséklet-függésének meghatározására irányuló vizsgálatok előzték meg. Ezek eredményei alapján határozták meg az F terhelési osztályba sorolható autóbuszsávok felújításakor alkalmazandó keverékek összetételét.

A kísérlet során tehát a meglévő aszfalt pályaszerkezetet 80 mm-es vastagságú, nagy modulusú kötőréteg és a „forró a melegre” építéstechnológia alkalmazásával rákerülő, 25 mm-es vastagságú vékonyaszfalt rétegre cserélték ki. A kemény normál (B 20/30) bitumennel készült nagy modulusú aszfalt magas hőmérsékleten is megőrzi a rugalmasságát, tehát kevésbé hajlamos a maradó alakváltozásra. A vékony felső réteg szerepe a megfelelő érdességű felület tartós biztosítása és a szerkezet zárása.

Az autóbusz-megálló és -sávok kísérleti burkolatának 2009. őszi állapotvizsgálata azzal a pozitív eredménnyel zárult, hogy a hatéves intenzív nehézforgalom hatására sem keletkezett az útpályán semmilyen deformáció vagy más burkolathiba. Ez tehát a kompaktaszfalt hazai elterjedése szempontjából rendkívül biztató körülmény. A közelmúltbeli állapotot a 2. ábra szemlélteti [1].



2. ábra: Csepeli kísérleti, kompaktaszfaltos útpálya hat év után

2006 októberében, a Győr-Moson-Sopron megyei Lipóton, „forró a melegre” építési mód alkalmazásával másik kísérleti építésre került sor [2]. A K-11 kötőrétegre AB-11 kopóréteget terítették el. Az egy forgalmi sávban épített útszakasz hossza 180 m-t tett ki. A kivitelezés során a finiser a kötőréteg anyagát egy sáv szélességben folyamatosan elterítette, az acélköpenyes henger pedig a réteg tömörítését végezte, majd a 180 m-es útszakasz végére érve a géplánc megfordult, és azonnal megkezdte a kopóréteg terítését a még meleg kötőrétegre. A beépítés során a kritikus szakaszok – ahol a forró/meleg kötőrétegre a terhelt beszállító járművek és a finiser ráhajtott – nem szenvedtek jelentős deformációt. A kopóréteg építésénél a beszállító járművek kerék-mintázata, illetve csupán kis mélységű keréknyom jelent meg a kötőréteg meleg felületén.

### 4. KÜLFÖLDI ELŐÍRÁSOK ÉS TAPASZTALATOK

A tárgykör szakirodalmi áttekintése alapján nyilvánvalóan bizonyult, hogy az eredetileg Németországban kialakított kompaktaszfalt építési technológia szélesebb körben csak önállóan terjedt el, így korábbi tervezési, építési és teljesítményi informá-

1. táblázat: Követelmények és lehetőségek kompaktszfalt-burkolatok választott építési technológiájától függően

Megnevezés	Építési mód		
	„forró a forróra”		„forró a megre”
	Változat		
	egy finiser	két finiser közvetlenül egymás után	két finiser egymás után
Finiser	speciális finiser	hagyományos	
Terítési szélesség, m	3,00–8,50	3,00–12,50	3,00–12,50
Átadó eszköz	szükséges		nem szükséges
A kopóréteg-készítő finiser feltöltése	átadó eszköztől		tehergépkocsiról
Forgalmi sáv a beépítési pálya mellett a keverékszállításhoz	nem szükséges		szükséges
Hosszirányú varrat	≤8,50 m terítési szélességnél nincs >8,50 m terítési szélességnél szükséges	≤12,50 m terítési szélességnél nincs >12,50 m terítési szélességnél szükséges	a peremfeltételek függvényében szükséges lehet
Az alsó réteg tömörítése a kopóréteg terítése előtt	előtömörítés finiserrel		előtömörítés finiserrel és hengerrel
Az alsó réteg járhatósága	nem	kopóréteg-készítő finiserrel	szállítójárművekkel és kopóréteg-készítő finiserrel
Végző tömörítés	a két réteg együtt		a kopóréteg tömörítése <sup>1)</sup>
Henger	egy hengercsoport		két hengercsoport
A szélek, ill. a varratok védelme munka közben	nem szükséges		adott esetben szükséges
Az alsó réteg hőkapacitásának kihasználása	teljes	majdnem teljes	részleges
Rétegek közötti kötés	ragasztott, fogazott		ragasztott, részben „összefogazott”
A finiserek távolsága	állandó, nem befolyásolható		befolyásolható

Az alsó réteg kiegészítő tömörítése részben még lehetséges

ciók érdemlegesen csak tőlük várható. A következőkben ismertetjük egyik építési tájékoztatójukat [3]. Majd egy rövid német tanulmányút tapasztalatai [5] következnek. Ezután pedig a MA-ÚT-munkabizottság meghívására a technológia kifejlesztéséről, alkalmazásáról az erfurti Richter professzor Budapesten tartott előadásának eredményeiről [4] számolunk be.

#### 4.1. NÉMET SZAKMAI SZABÁLYOZÁS

A német FGSV (Közúti és Közlekedési Kutató Egyesület) Aszfaltutak munkacsoportja 2001-ben készített, „Tájékoztató kompaktszfalt-burkolatok építéséhez” tárgyú szakmai előírásának [3] néhány, lényegesnek ítélt elemét a következőkben foglaljuk össze.

A kompaktszfalt-szerkezet kopórétegének aszfaltkeverékében levő adalékanyag maximális szemcseátmérőjétől és az igénybevétel módjától függően, 15 és 30 mm közötti rétegvastagság alkalmazható.

A kompaktszfaltos építéstechnológia alkalmazásából származó megnövekedett alakváltozási ellenállás és a rétegek közti jó „összefogozódás” következtében – optimális hézagtartalom mellett – a hagyományos eljárással épült szerkezetekénél nagyobb tartósság várható.

Kompaktszfalt-burkolat tervezésekor különös tekintettel kell lenni a nyomvonalra, a geometriai feltételekre, a szakasz hosszára és a felhasználásra kerülő keverék szállítási lehetőségeire. Az építés módjának meghatározásánál fontos szempont a terítési

szélesség. Félpályás terítés esetén elkerülhetetlen a hosszirányú összedolgoztatási vonal (varrat) kialakítása, ami az építési időt meghosszabbítja, emellett a minőségi kockázatot növeli.

A kétféle megoldási technológia (a „forró a forróra”, illetve a „forró a megre”) az 1. táblázatban bemutatottak szerint jelentősen más eszközigenyű, ugyanakkor a szerkezet várható teljesítőképességében is nagy különbségek jelentkez(het)nek. Magasabb forgalmi terhelési osztályokban a kopóréteg vastagsága – a kötőréteg vastagságának megfelelő növelése mellett – csökkenthető. Kisebb terhelésnél a csökkentett kopóréteg-vastagság megfelelően megnövelt teherhordó réteggel egyenlíthető ki.

A keverék összetételének megtervezésekor az alkalmassági vizsgálatok során figyelembe kell venni az építési mód miatt várható magasabb tömörségi fokot, különösen az alsó réteg esetében.

Kompaktszfalt-burkolatok építésénél különös figyelmet kell fordítani az egyenletes terítési sebességre és a keverőgépek megfelelő kapacitására. Előfordulhat, hogy az alsó réteg anyaga (aszfaltanyagú kötőréteg vagy teherhordó réteg) különböző keverőtelepekről származik. Ekkor ügyelni kell az azonos keverék-összetételre, az adalékanyag és a kötőanyag típusára.

Az alsó réteg hőkapacitása megakadályozza a felső réteg gyors lehűlését. Ennek ellenére a kivitelezés nem végezhető 0 °C lég-hőmérséklet alatt és/vagy hóesésben, ill. fagyott alap esetében. A terítést lehetőleg a teljes pályaszélességben egyszerre kell végrehajtani.

Az aszfaltrendszer és a kötőanyag fogadóréteg közötti hatékony kapcsolatot a fogadófelület megfelelő kötőanyag permezésével kell biztosítani.

A felületi egyenletességi követelmények betartásának és az egyenletes tömörítésnek feltétele a keverékkel való folyamatos ellátás és az állandó beépítési sebesség. Elkerülendő a terítőgépek leállása. Keverékátadó egység (ún. aszfaltkomp) alkalmazása esetében a szétkeveredés ellen intézkedéseket kell tenni. A szétkeveredésnek és a pálya egyenetlenségének megelőzése érdekében a terítési sebesség 2,0 és 5,0 m/perc között legyen.

Amennyiben szükséges hosszirányú varrat készítése, a varratszéket meleg állapotban kell kialakítani, és tömöríteni kell azokat. A fogadófelületről el kell távolítani a megmaradt, „felesleges” aszfaltmaradékokat.

Az útpálya alakváltozásának elkerülése érdekében a forgalomnak való átadás előtt biztosítani kell a megfelelő lehülést, ennek időigénye az időjárás viszonyoktól függően változó.

Kompaktaszfalt-burkolatoknál a „teljes rendszerre” vonatkozóan bővített alkalmassági vizsgálatokat kell végezni. Különös jelentősége van – főleg nagyobb terhelési osztályokban – az alakváltozási ellenállás megítélésére irányuló vizsgálatoknak. Egy finiserbe két keverőtelepről érkező aszfaltkeverék esetében az alsó rétegre vonatkozóan mindkét alkalmassági vizsgálatot el kell végezni, és azok eredményeinek az előírt feltételeket ki kell elégíteniük.

A „forró a forróra” építési mód választása esetében a kopórétegnél, a tömörségi fokkal szemben támasztott, fokozott követelmény miatt a Marshall-próbatestek hézagtartalmát a következőképpen kell beállítani:

- SMA (zúzalékvázas masztixaszfalt) 3,5–5,0 tf. %
- AC (aszfaltbeton) 3,0–5,0 tf. %

A rétegvastagság 0/5 keveréktípusnál 15–20 mm, míg 0/8 vagy 0/11 keveréktípusnál 20–25 mm. A tömörségi fok érje el a 99 %-ot (50 ütéses Marshall-próbatestek esetében).

A hézagtartalom előírásai:

- zúzalékvázas masztixaszfalt kopórétegnél 2,0–6,0 tf. %
  - aszfaltbeton kopórétegnél 2,5–6,0 tf. %
- (A hézagtartalom alsó határa tapasztalati érték, nem követelményként értelmezhető).

Az alsó réteg tömörségi fokkal szemben támasztott, fokozott követelményei miatt a Marshall-próbatestek hézagtartalmát a következőképpen kell beállítani:

- aszfalt kötőréteg 6,5–8,0 tf. %
- aszfalt teherhordó réteg 7,0–10,0 tf. %

Megemlítjük, hogy a fenti előírásokat ma már Németországban is másképp kell kezelni, mert azok az aszfaltrétegekre vonatkozó új német előírásban szigorodtak.

A rétegvastagságra vonatkozó előírás 0/16 keveréktípusnál 60–80 mm, 0/22 keveréktípusnál 60–100 mm, míg 0/32 keveréktípusnál 80–100 mm.

A tömörségi fok legfeljebb 80 mm-es rétegvastagság esetén a 99%-ot, míg az e fölötti rétegvastagságnál a 100%-ot érje el (50 ütéses Marshall-próbatestek esetében).

A „forró a forróra” módszerrel épülő kompaktaszfalt készítésére két építési mód létezik:

– A felső és az alsó réteget speciális szerkezeti kialakítású (ún. kompaktmodul) finiserrel, két terítőgerendával építik be.

– A terítés két hagyományos finiserrel történik, ahol a második finiser az előtömörített alsó rétegen halad. Ekkor az alsó réteget – a második finiser járókerekei által okozott benyomódás elkerülése érdekében – hatékonyan tömörítő gerendával kell előtömöríteni. Nagy hosszúságú vagy kis sugarú íveket tartalmazó szakaszok esetében célszerű az első eljárást alkalmazni. A finiser aszfaltkeverékkel történő feltöltéséhez nagy teljesítményű átdó berendezések szükségesek. A finisereknek összeszerelés-mentes betöltésére a két befogadóputtyos, két terítőgerendás finisereknél különösen kell ügyelni. A „kompaktaszfalt” alsó rétegét a közös terítés során végig magassági irányítással kell elteríteni. A hengerlés tervezésekor figyelembe kell venni azt, hogy nagyobb rétegvastagságú, két rétegből álló réteget tömörítünk. A jó felületi egyenletesség biztosítása érdekében a hengerlési folyamatot 3-4 statikus hengerjáráttal célszerű kezdeni.

A „forró a melegre” eljárás esetében két hengerelt aszfaltréteget két hagyományos gépsorral (finiser és henger csoport), időben szorosan egymás mögött terítenek el. Az alsó réteget jól kell tömöríteni, hogy a következő keverékszállító járművek és a második finiser ne okozzon a rétegben érdemleges benyomódást.

A kopórétegre vonatkozó minőségi követelményeket a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A kopóréteggel szemben támasztott követelmények a „forró a melegre” módszer alkalmazásakor

Jellemző	Követelmény
Rétegvastagság	a 0/5 keveréktípusnál: 15–20 mm a 0/8 keveréktípusnál: 20–25 mm a 0/11 keveréktípusnál: 25 mm
Tömörségi fok	≥ 98% (50 ütéses Marshall-próbatestnél)
Hézagtartalom	zúzalékvázas masztixaszfalt kopóréteg: 2,0–6,0 térf. % aszfaltbeton kopóréteg: 2,5–6,0 tf. %

A „forró a melegre” eljárásnál külön sáv szükséges az alsó réteg terítési sávja mellett, hogy a felső réteg keverékszállító járműve a terítő gépsorok közé juthasson.

Az építés folyamatának megtervezésénél figyelembe kell venni, hogy a keverékszállító járművek oldalról a már elterített alsó rétegre ráhajtanak. Ezért adott esetben a ráhajtást segítő eszközt kell elhelyezni, hogy a szélek sérülését megakadályozzák.

Az alsó réteg felületének hőmérséklete a felső réteg terítésekor ne legyen 80 °C alatt. A kopóréteget terítő finiser feltöltése az alsó rétegen az eljárásnak megfelelő, minimális követési távolságot tesz szükségessé a terítő gépláncok között; különösen figyelni

3. táblázat: Kopórétegek vastagsági határértékei, a keveréktípus és a forgalmi terhelés függvényében

Keverék típusa	Rétegvastagság, mm	
	nagy	kis
	forgalmi terhelésnél	
0/11	20–35	18–35
0/8	15–30	15–30
0/5	15–25	12–25



4. táblázat: Kompaktaszfaltos referenciaszakaszok Európa-szerte

Építési év	Építés vagy fel- újítás	Helye	Rétegek vastagsá- ga, mm	Területe, m <sup>2</sup>	Nem németországi
1996	felújítás	Weisenfeld	60+20	9 500	–
1997	építés	Vollersroda	95+25	18 750	–
1997	építés	Atsfeld West	95+25	13 260	–
1997	felújítás	Schwittersdorf	60+20	5 600	–
1998	felújítás	Schafstädt	60+20	24 700	–
1998	építés	Chemnitz	80+20	28 900	–
1998	építés	Reckeröder Berg	95+35	25 000	–
1999	építés	Döschwitz-Zeitz	100+20	13 800	–
1999	építés	Baunatal	95+25	30 000	–
2000	építés	Vieselbach	95+25	15 100	–
2000	felújítás	Priesnitz	60+20	8 700	–
2000	építés	Elbingerode	60+20	5 600	–
2000	építés	Leipzig	80+20	13 000	–
2000	építés	Göteborg	55+25	54 000	Svédország
2000	felújítás	Schorbarer Berg	80+20	23 000	–
2000	építés	Rotterdam	50+20	2 550	Hollandia
2001	építés	Prenzlau	60+20	9 800	–
2001	építés	Suhl	60+20	6 700	–
2002	építés	Hilversum	50+25	8 000	Hollandia
2002	építés	Simmern	95+25	15 600	–
2002	építés	Halle	100+20	17 666	–
2002	építés	Atkmaer	50+25	80 000	Hollandia
2002	építés	Sömmerde	95+25	127 000	–
2003	építés	Simmern	75+25	24 000	–
2003	építés	Halle	100+20	16 500	–
2003	építés	Veghel	45+25	145 000	Hollandia
2003	építés	Ingolstadt	100+20	92 000	–
2003	építés	Bad Kreuznach	95+25	22 000	–
2004	építés	Klempenow	100+20	244 000	–
2004	építés	Zwope	50+30	54 000	–
2004	építés	Bersenbrück	100+20	35 000	–
2005	építés	Altentreptow	100+20	278 300	–
2005	építés	Emilia	80+20	410 000	Lengyelország
2006	építés	Hamm Üntrop	100+20	95 000	–
2006	felújítás	Zeitgrund	95+25	43 000	–
2006	építés	Ampfing	100+20	215 000	–
2006	építés	Backum	100+20	95 000	–
2007	építés	Schmücketunnel	100+20	117 000	–
2007	építés	Osnabrück	45+35	62 000	–
2007	építés	Flensburg	60+20	48 000	–
2008	építés	Sondershausen	80+20	65 000	–
2008	építés	Köchstedt	80+20	40 000	–

kell az alsó rétegen a hengerek koordinálására és a kopóréteg keverékének szállítására.

A kopórétegre vonatkozóan a terítési rétegvastagság határértékeit a 3. táblázat szemlélteti.

A 4. táblázat a külföldi kompaktaszfaltos építési móddal készített referenciaszakaszoknak – 2009 márciusáig készült – nem teljes körű jegyzékét mutatja be.

A táblázatból levonható néhány következtetés [6]:

- az első kompaktaszfalt technológiával készült útszakaszok már 13 évvel ezelőtt készültek,
- 1998-tól kezdve egyre növekvő mennyiségben, több tízezer, majd újabban gyakran több százezer m<sup>2</sup>-es mennyiségben alkalmazzák,
- 2000-től kezdődően Németországon kívül (Svédországban, Hollandiában, Lengyelországban) is alkalmazták ez eljárást,
- nagyobb részt új építésnél választják ezt a technológiát, de jó néhány felújítás (főleg burkolatcsere) alkalmával is építették,

- a kopóréteg vastagsága 20 és 35 mm között váltakozik, de inkább a vékonyabb változatok az elterjedtek,
- a kötőréteg jellemző vastagsága 80-100 mm, de – főleg felújításnál – ennél jóval vékonyabb (45-60 mm-es) változatok is előfordulnak.

Információink szerint a kompaktaszfaltos technológiával készült burkolatok összes felülete mostanra már elérte a 8 millió m<sup>2</sup>-t.

#### 4.2. SZAKMAI TANULMÁNYÚT TAPASZTALATAI

2009 novemberében a MAÚT-munkabizottság több tagja, a hazai közúti megrendelők prominens képviselőjével együtt, megtekintett egy Halle mellett, a B100 jelű úton végzett kompaktaszfaltos beépítést. Ennek során mód volt az ebben az építési eljárásban nagy tapasztalattal rendelkező fő-építésvezetővel is szakmai konzultációt folytatni.

A német szakmai tanulmányút néhány tapasztalata [5] a következőkben foglalható össze:

- a B100 jelű út átépítése során a lemart pályaszerkezetet, a cementes kötőanyagú hideg remixes alaprétegre épített 150 mm-es vastagságú, 32 mm-es maximális szemnagyságú aszfalt alapréteg volt a fogadószervezet. Ennek felületére, 100+20 mm-es vastagságban épült a kompaktaszfalt-burkolat, amelynek alsó rétegét 0/22 b szemnagyságú AC kötőréteg, a kopóréteget pedig 0/11 típusú SMA zúzalékvázias masztixaszfalt képezte,
- a nagy forgalmú, négy forgalmi sávú út egyik pályáján végzett beépítés során a következő beépítő gépláncot alkalmazták: 30 tonnás Dynapac F300 C/S típusú aszfaltfiniser, Dynapac aszfaltkomp, két kishenger (közvetlenül a finiser után), egy 11 tonnás oszcillációs henger a kopóréteg tömörítésére, két 11 tonnás vibrációs henger a kötőréteg tömörítésére, végül egy 13 tonnás simítóhenger,
- a beépítés első lépéseként a 32 mm-es legnagyobb szemnagyságú, egyenletes felületű alapréteget forró bitumennel kellő síttették,
- a finiseres beépítésre GPS-vezérléssel került sor,
- a finiser két fogadóputtonya közül az egyik a kötőréteg anyagát 40 tonnás, míg a másik a kopóréteget 14 tonnás mennyiségben tudja tárolni, a frissen elterített aszfaltkeverék hőmérséklete 150 és 160 °C között ingadozott,
- a kötőréteg anyagát 30 km-es, míg a kopóréteg-keveréket 15 km-es távolságról szállították a beépítés helyére,
- az aszfaltkeverékek terítési vastagságát 25 m-enként ellenőrizték mérővesszővel, a kopóréteg esetében pedig alumíniumlemeznek a réteg alá történő helyezésével, majd elektromágneses mérőműszer alkalmazásával,
- kivitelezés közben a réteg testsűrűségének változását folyamatosan, izotópos mérőműszerrel ellenőrzik,
- 6000 m<sup>2</sup>-enként vesznek fúrt mintát a tömörség és a vastagság ellenőrzésére,
- a kopóréteg felülete kedvező textúrájú, egyenletes, de – a német gyakorlatnak megfelelően – 2/4 mm-es szemnagyságú, világos színű zúzalékkal érdesítik azt; ennek felületbe történő behengerlése az utolsóként alkalmazott simítóhengerrel történik (ez utóbbi – az aszfaltkeverék hőmérsékletének megfelelően – mintegy 100 m-es távolságban lemarad az aszfaltfiniser mögött),
- a két réteg széleit az oszcillációs hengerre szerelt vágókoronggal vágják profilba.

#### 4.3. NÉMET SZAKÉRTŐI INFORMÁCIÓK

Elk Richter erfurti professzor 2009. november 12-én, a kompaktaszfaltos MAÚT-munkacsoport meghívására Budapestre látoga-

tott, és tapasztalatairól a magyar szakembereknek nagy sikerű előadást tartott, amit eszmecsere követett.

Az előadás következő elemei voltak azok, amelyek a kompaktaszfaltos építési technológia hazai elterjesztésén fáradozó bizottsági tagok számára különösen felhasználhatóknak, illetve a készülő előírás-tervezetben felhasználhatóknak bizonyultak.

- Világszerte sokkal kevesebb figyelmet fordítanak az aszfaltkeverékek bedolgozására, mint a keverőtelepi előállításra. Ennek egyik oka, hogy a receptúra jellegű, hagyományos tervezést és minőség-ellenőrzést a korszerű, teljesítményi alapú szabályozások még csak kevés helyen váltották fel. (Így például a pályaszerkezet különböző elemeiben ébredő feszültségek nagysága sem kap elegendő figyelmet).
- Nem jellemző, hogy csupán kedvező időjárási körülmények között terítsenek el aszfaltot. A hűvös (hideg!), esős időben bedolgozott aszfaltkeverék szinte biztos, hogy gyorsan meghibásodó aszfaltréteget eredményez. Különösen a kopóréteg készítése tekintetében fokozottak a követelmények.
- A gyakran nem megfelelő aszfaltburkolat-viselkedés fő okai:
  - a (merev) szabályozások betartásának kötelezettsége, függetlenül a konkrét körülményektől,
  - a változó időjárási körülmények,
  - az aszfalt anyagú kötő- vagy alapréteg hosszabb időn keresztül közvetlen forgalmi terhelésnek való kitétele,
  - alakváltozások,
  - a kopóréteg lesoványodása, a bitumenes kötőanyag kioldódása,
  - a bitumen nagyon keménnyé válása, repedésképződés,
  - nem megfelelő minőségű csatlakoztatási vonal (varrat),
  - elégtelen kötés a rétegek között.
- A kompaktaszfalt építési technológiája – mint a felsorolt burkolathibák jelentős részének enyhítésére szolgáló eljárás – európai szabadalmi oltalmat kapott.
- A kompaktaszfalt lényege: a kopóréteg vékonyítása a kötőréteg javára, illetve a felső két réteg együtt történő tömörítése.
- Az újszerű technológia előnyei: tömörség növelése, a hőérzékenység csökkentése, víz- és légzáró kopórétegek építése, az aszfaltrétegek jobb minősége még kedvezőtlen időjárási viszonyok közötti építés esetén is, az építési idő lerövidülése.
- A kompaktaszfalt technológiával a kopóréteg lehülési sebessége – 20 mm-es mélységben – hetedrésze a külön épített kopórétegben mérhető lehülési sebességnek. Ebből adódóan a tömörítés hatékonysága is alapvetően különböző. Az alacsony tömörségi fok és az ezzel járó nagy szabadhézag-tartalom pedig a réteg teljesítményét erősen lerontja, egyebek mellett a kötőréteg öregedését is lelassítja.
- A Kirchner cég által 1998-ban kifejlesztett kettős finiser (Compact Module Paver) [7] megoldást jelent az elterített alsó rétegnek a kopóréteg bedolgozógéplánca hatására előálló deformálódásával szemben.
- Törekedni kell arra, hogy a kompaktaszfalt-szerkezetet egy finisermenttel, teljes szélességben terítsék el; így el lehet kerülni a hosszirányú „varratokból” származó hibaforrásokat. (Német tapasztalatok szerint, ezeknek a hosszirányú összedolgoztatási vonalaknak a 40%-a nem tökéletes minőségben sikerül, így a burkolat élettartamát csökkenti).
- A megfelelő minőségű kompaktaszfalt-szerkezet készítésének fő előfeltételei a következők:
  - min. 20 mm-es kopóréteg-vastagság,
  - min. 60 mm-es kötő-, illetve min. 80 mm-es teherhordóréteg-vastagság (a kopóréteggel történő „egybedolgozás” esetében),
  - a kopóréteg anyagából készített Marshall-minták szabadhézag-tartalma 3,5 és 4,5 tf% között (a fúrt mintákból 2-4 tf%),
  - a kötő- vagy teherhordó réteg anyagából készített Marshall-minták szabadhézag-tartalma 8-9 tf% (a fúrt mintákból 4-7 tf%),

- a kopóréteg tömörségi foka min. 100%, az alatta levő rétege min. 101% (a viszonyítási alap 50 ütés Marshall-próbatest!),
- a Wheel Track-készülékkel, 60 °C-os léghőmérsékleten meghatározott keréknyomvályú-mélység legfeljebb 15 mm, az egész kompaktaszfalt-rendszerre vonatkozólag,
- a munkahelyen legalább két tömörítőeszköze van szükség,
- olyan beépítő gépláncot kell alkalmazni, amely a még meleg alsó rétegen történő járműmozgást elkerülhetővé teszi.
- A nagyobb tömörségi fok és a kopóréteg vastagságának csökkenése legalább kétszeresére emeli a szerkezet alakváltozással szembeni ellenállását. A kopóréteg 3 tf% körüli szabad-hézag-tartalma azt vízzáróvá és az öregedéssel szemben ellenállóvá teszi. Így tehát a hagyományos technológiával előállított aszfaltburkolatokkal szemben a kompaktaszfalt réteggel készültek így 2-3-szoros élettartamúak, teljesítményük is lehetnek. Ezért akár 24 éves felújítási ciklusokra is lehet számítani.
- Gazdaságossági vizsgálatok már az építési költségeket is kedvezőbbnek igazolták a hagyományos eljárással szemben, ha a drága kettős finisert megfelelően kihasználják.
- Nem szabad az eljárást az 1985-ben, az Egyesült Államokban szabadalmaztatott Remix-Plus technológiával összetéveszteni. Ez utóbbi az aszfalt melegen történő újrahasznosításának az egyik módszere, mivel ebben az esetben az alsó réteg anyagát a helyszínen keverik át, erre pedig keverőtelepen előállított keverék elterítésével kopóréteg kerül. Ezután együtt tömörítik be a két réteget. Ilyenkor azonban az alsó réteg hőmérséklete viszonylag alacsony. Ez az egyik fő eltérés a kompaktaszfalt eljárástól, ahol mindkét réteg meleg a közös tömörítéskor. A remix eljárások további korlátja az időjárási viszonyoktól való erős függés és az alacsony (1-2 m/perc) beépítési sebesség. Az sem előnyös, hogy a felmelegített aszfaltréteg felülete közelében 250–600 °C hőmérséklet is fellép, amely – a környezetkárosító emisszió túlmenően – a kötőanyag érdemleges károsodásához vezet(het). További hátránya a remix-eljárásoknak, hogy az új réteg minőségi egyenletessége sokkal kevésbé biztosítható, mint a keverőtelepen előállított anyagok esetében. Remix-Plus módszerrel legfeljebb 4,50 m szélességű finiser alkalmazható, így a hosszirányú „varrat” (összedolgoztatási vonal) nem kerülhető el. A kompaktaszfalt anyagának gyártása így – az időjárási viszonyok által kevésbé befolyásoltan – szinte üzemszerű körülmények között folyhat.
- Fontos, hogy a kompaktaszfalt előállításához használatos kettős finiser befogadóputtyainak kapacitását az egyes rétegek vastagságarányának megfelelően határozzák meg.
- A kompaktaszfalt építési eljárás eredeti elvét a „forróra” típusú beépítési módszer képviseli. A két hagyományos finiseres „forróra a melegre” módszer – pénzügyi okok miatt – elfogadható kompromisszum. Bár jellemzően a rétegeket csupán félpályás szélességben terítik el, de az egész út időleges lezárását szükségesnek ítélik. A második finiser a meleg kötőrétegen halad el, abban némi nyomot hagyva. Kedvezőtlen az is, hogy a kopóréteg anyagával közlekedő tehergépkocsik az elterített kötőréteg szélét – oda- és visszamenetben – károsítják. Mégis a következő előnyökkel rendelkezik ez a módszer:
  - nem teszi szükségessé a drága, speciális „kettős finiser” megvásárlását,
  - az alapréteg „hagyományos módon” tömöríthető,
  - nincs szükség a megszokott szemmegoszlás megváltoztatására,
  - ha az egyik finiser meghibásodik, legalább a kötőréteg megfelelő minőségben megépíthető,
  - a kopóréteg felületi egyenletessége kedvezőbb lesz, mint a „klasszikus” kompaktaszfalt készítésekor,
  - egyszerűbb a beépítési technológia, így kisebb a minőségi kockázat.

Hátrány ugyanakkor, hogy a kötőréteg hőenergiájának jelentős részét a hengerlés során a környezet veszi fel, így csak korlátozott része marad az arra elterített kopóréteg felmelegítésére. Végeredményben ezért az ezzel a technológiával előállított kötőrétegek hőérzékenysége megnövekszik, ez pedig rövidebb élettartamhoz vezet. A hosszirányú „varratok” kialakítása ilyenkor a hagyományos építéstechnológiával szemben több kockázatot rejt magában. Emellett a félpályás terítés miatt az építési idő (a forgalomtól való teljes lezárás) is kétszerese, mint a „klasszikus” kompaktaszfaltos eljárás alkalmazása esetében. A kötőréteg széleinek a kopórétegbe beépítendő aszfaltkeverék szállítójárművei által történő károsítása további hibaforrást jelenthet.

Számítások szerint 15 ezer m<sup>2</sup>-t meghaladó új építési projektek-nél már a kivitelezés egységköltsége is kedvezőbb a hagyományos beépítési technológiával szemben.

A tartós aszfaltburkolatok építésének a kompaktaszfaltos technológia sokkal inkább biztosítéka, mint az utóbbi időben világszerte széles körben alkalmazott polimerrel modifikált bitumen vagy a keményebb bitumenfajták alkalmazása.

A kettős finisert munka közben mutatja be a 3. ábra.



3. ábra: Kompaktaszfalt beépítése kettős finiserrel

2004 végén, amikor Németországban a kompaktaszfalt-építési technológiával készített burkolatok összes felülete már az 1,8 millió m<sup>2</sup>-t elérte, a Darmstadti Műszaki Egyetem Útépítési Tanszéke az autópályákon épített 1–7 éves szakaszokat megvizsgálta. Úgy találták, hogy csupán elhanyagolható (mindenhol 5 mm alatti) mélységű keréknyomvályúk jelentkeztek a pályán. (Az egyik szakaszon öntöttaszfalt burkolatú referencia is készült. A kétféle technológiával épült részzszakaszok gyakorlatilag egyformán kedvező ellenállást tanúsítottak az alakváltozással szemben). Más típusú burkolathibák sem jelentkeztek a megfigyelt útpályákon [8].

## 5. A HAZAI BEVEZETÉS CÉLSZERŰ LÉPÉSEI

2008-ban, a NIF Zrt. megbízásából a KTI Nonprofit Kft., a BME és az ORKA Kft. szakemberei alkotta munkabizottság megállapította, hogy a hazai autópályák burkolatának gyakran tapasztalt korai tönkremenetelét elsősorban a rétegek közötti elégtelen tapadás, illetve az egyes aszfaltrétegek nem megfelelő tömörsége (túlzott szabadhézag-tartalma) okozza [9]. (Ez a probléma, fokozott mértékben, az országos közúthálózat nem gyorsforgal-

mi részére is jellemző). Erre a tényre is támaszkodva, a Magyar Útügyi Társaságnak a kompaktaszfaltos építési technológiával foglalkozó munkabizottsága – a már több mint 13 éves kedvező németországi tapasztalatok és az első hazai kísérletek sikere alapján – egyértelműen azt javasolja, hogy az építési technológiát hazánkban is folyamatosan vezessék be. Ennek érdekében első lépésként a szabályozási háttérként szolgáló útügyi műszaki előírás tervezete készült el, majd pedig a technológia első üzemszerű alkalmazására adunk javaslatokat.

## 5.1. AZ ELŐÍRÁS-TERVEZET KÉSZÍTÉSE

A kompaktaszfaltos építéstechnológia hazai bevezetésének egyik előfeltétele, hogy a munkák megrendelői, tervezői és kivitelezői számára megfelelő szabályozási háttér álljon rendelkezésre. Ennek érdekében a MAÚT-munkabizottság elkészítette a vonatkozó útügyi műszaki előírás tervezetét [10].

A készülő előírás a kompaktaszfaltos építési technológia „klasszikus” („forró” a forróra) és a kompromisszumos („forró” a melegre) változatának szabályozására szorítkozik, nem tér ki olyan technológiákra (pl. az „infradominó” vagy a „reshape” helyszíni meleg recycling eljárásokra), amelyek a kompaktaszfalt-szerkezet készítésének az elvét csak részben valósítják meg.

Az előírás-tervezetet – az általános gyakorlatot követve – a MAÚT hamarosan elküldi a hazai szakemberek számára szakmai véleménynyilvánításra, illetve bírálatra. Célszerű lenne, hogy a kiadandó előírás – az első nagyobb szabású kompaktaszfaltos projektek tapasztalatainak koordinált összegyűjtése és kiértékelése után –, szükség esetén, továbbfejlesztésre, átdolgozásra kerülne.

## 5.2. A KÍSÉRLETI MUNKÁK VÉGREHAJTÁSA

Szerencsés körülmény, hogy 2003-ban és 2006-ban került már sor hazánkban két kisebb mértékű előkísérletre, és ezeknek a szakaszoknak az eddigi viselkedése, tapasztalatai pozitívak. Hasonlóképpen kedvezőnek tekinthető, hogy még az 1980-as évekből jó tapasztalatokat szereztek az ún. infradominó-technológia több mint 1 millió m<sup>2</sup>-es felületen történő alkalmazásakor, amikor az erősen felmelegített régi pályára terítették el felújítási célú, új aszfaltréteget. Sikertelenül igy hatékony rétegtapadást elérni. Ennek a helyszíni aszfalt-újrahasznosítási technológiának a még szélesebb körű elterjedésével szemben határt szabott egyrészt a burkolat felmelegítésének környezeti kockázata (káros emisszió), másrészt pedig az általában már a beavatkozás időpontjára is „leöregedett” aszfalt kötőanyagának a „hősokk” következtében előálló további keményedése, amely a pályaszerkezeti réteget túlságosan rideggé, repedésképződéssel szemben érzékeny tette. Annyi azonban nyilvánvaló, hogy a technológia vonzerejét a két forró anyag hatékony „összefogódása” jelentette, amely a klasszikus kompaktaszfaltos technológiának is a legfontosabb alapelvét képezi, de az utóbb említett építési eljárásnál nincs szükség az alsó réteg „túlmelegítésére”, az említett kockázatokkal.

Mindezek alapján tehát célszerű lenne, hogy a tárgyban készülő szabályozás megszületése után minél rövidebb idővel az első hazai „üzemszerű” alkalmazásra sor kerüljön, egyrészt a megfelelő tapasztalatok szerzésére, másrészt pedig olyan referenciaszakasz(ok) készítése érdekében, amely(ek) a hazai megbízók, tervezők, kivitelezők és üzemeltetők számára bátorítást nyújthat(nak) az újszerű technológia alkalmazására. (Ezen a területen a tárgyban készülő szakcikk és szélesebb szakmai köröknek tartott előadások szintén fontos ösztönző szerephez juthatnak).

Azt javasoljuk tehát, hogy már az első kísérletben (projektben) a „klasszikus” kompaktaszfaltos építéstechnológia alkalmazására ke-

rüljön sor, amelynek előfeltétele a hazánkban jelenleg rendelkezésre nem álló kettős finiser (compact module paver) alkalmazása. Ennek Németországban van egy olyan egyszerűbb változata, amely legfeljebb 7,5 m-es szélességben tudja a kétféle aszfaltkeveréket elteríteni. Reális lehetőségként felmerül hogy például, egy autópályát keresztelő műtárgy burkolatának építéskor vagy felújításakor kerülne első alkalommal hazánkban sor a technológia alkalmazására egy nagyobb projekten. A tenderen győztes vállalkozó akár ilyen finiserrel rendelkező német cég is lehet, vagy pedig a kivitelező gondoskodna a „compact module paver” munkahelyre szállításáról. Amennyiben az Állami Autópálya Kezelő Zrt. a kivitelezői tender kiírásában nem lehetőségként, hanem kötelezőként írta ki a kiválasztott projekthez a kompaktaszfalt-szerkezet készítését, akkor ezzel kettős célt érhetne el:

- egyrészt olyan referenciamunka készültét segítené elő, amely a későbbiek során az autópálya-építési és -felújítási projektek főpályán történő alkalmazását előkészítené, jelentősen csökkentve a gyors burkolatromlás esélyét a gyorsforgalmi hálózaton,
- másrészt remény van arra, hogy a vállalkozó viszonylag alacsony áron vállalkozik az első kompaktaszfaltos technológiájú projekt kivitelezésére, mivel így a későbbi, sokkal nagyobb munkák tenderein, referenciamunkája révén, előnybe kerülhet.

Fontos annak hangsúlyozása, hogy valamely külföldön már bevált, perspektivikus közúti technológia első kísérleteit különös gondossággal célszerű megtervezni. Ugyanis annak esetleges hibái vagy sikertelensége nagyon hosszú időre visszavetheti (megakadályozhatja) a hazai útgazdálkodásban egyébként hasznosnak bizonyulható eljárást. Ezért inkább azt javasoljuk, hogy az első kísérlet(ek)re a kettős finiser alkalmazásával kerüljön sor.

A további kísérletekre célszerűen inkább nagyobb forgalmú utakon – pl. a 11,5 Mp-os egyes tengelyterhelés elviselésére irányuló pályaszerkezet-erősítéseknél, illetve főutak településeket elkerülő szakaszain – kerüljön sor.

Végezetül felhívjuk a figyelmet annak a jelentőségére, hogy már az építés során, de elsősorban az üzemeltetési időszakban a kedvező és az esetleges kedvezőtlen tapasztalatokat rendszeresen gyűjtsék, hogy az építéstechnológia szükséges irányú továbbfejlesztéséhez (pl. a tárgyban készülő előírás módosításához) elegendő és megbízható információval rendelkezzenek.

## 6. ÖSSZEFOGLALÓ MEGJEGYZÉSEK

A hazai – egyebek mellett, gyorsforgalmi – utakon gyakori a váratlan burkolatromlás, amelynek jellemző okozója a tömörítetlenség és/vagy a rétegek közötti nem megfelelő tapadás. Ezeknek a nagy nemzetgazdasági kárt okozó meghibásodásoknak az esélye érdemlegesen csökkenhet a kompaktaszfalt-szerkezet 15-16 évvel ezelőtt Németországban kifejlesztett építési, illetve felújítási technológiájának az alkalmazásával.

A 60–100 mm-es vastagságban elterített kötőrétegre még forró (meleg) állapotban kerül rá a 20–30 mm-es vastagságú kopóréteg. Együttes betömörítésük, az alsó réteg kőkapacitásának hasznosításával, fokozott mértékű tömörséget eredményez. A két réteg érintkező felületeinek magas hőmérséklete rendkívül hatékony rétegtapadást, ún. összefogódást hoz létre.

A „klasszikus” technológia olyan speciális kettős finiserrel valósítható meg, amely a két, különböző összetételű réteget néhány m-es (néhány mp-es) eltéréssel teríti el. Kompromisszumos megoldást jelent két hagyományos finiser egymástól 100–150 m-es távolságban történő alkalmazása. Ilyenkor az alsó réteg gyors és hatékony tömörítése szükséges, hogy a második finiser és a kiszolgáló szállítójárművek ezt a réteget ne deformálják.



Célszerű a MAÚT-munkabizottság által készített előírás-tervezet közmegegyeztetés utáni mielőbbi pontosítása, véglegesítése, hogy a perspektivikus technológia hazai fokozatos bevezetésének szabályozási háttere rendelkezésre álljon.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Nagy modulusú K-20/F NM kötőréteg és mZMA-8 vékonyaszfalt kopóréteg kifejlesztése és kísérleti beépítése a csepeli Szent Imre tér körüli autóbussz-megállók útpályaszerkezetébe. Innovációs és Minőségvizsgáló Kft., Budapest, 2003. 7 p. (Kézirat).
- [2] Pethő L.: Kompaktaszfalt a pályaszerkezetben. Közúti és Mélyépítési Szemle 2008/1-2. pp. 14–20.
- [3] Merkblatt für den Bau kompakter Asphaltbefestigungen. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen 2001. 16 p.
- [4] Richter, E.: Entwicklung des Kompaktasphaltes und Vergleich mit anderen Verfahren. 2008. 11 p. (Kézirat).
- [5] Képes Gy., Fülöp P.: Útibeszámoló német kompaktaszfaltos tanulmányútról. 2009. 2 p. (Kézirat).
- [6] Fülöp P., Képes Gy., Pethő L.: A kompaktaszfalt építéstechnológiája. Mélyépítő-Tükörkép (Megjelenés alatt)
- [7] Twin-Lay: Compact Asphalt, Compact Module Paver. Herman Kirchner Bauunternehmung GmbH. 2008. 12 p.
- [8] Kompaktaszfalt. Untersuchung des Langzeitverhaltens anhand ausgewählter Bundesautobahn-Abschnitte. Technische Universität Darmstadt, 2006. 63 p. (Projektleiter: Dr.-Ing. Stefan Böhm).
- [9] Ambrus K., Galuska J., Gáspár L., Keleti I., Pallós I., Török K.: Aszfaltburkolatú autópályák minőségbiztosítási rendszeréhez történő hozzájárulás. Közlekedésépítési Szemle 2009/7. pp. 1–10.
- [10] ÚT 2-3.303 „Kompaktaszfalt. Építési feltételek és minőségi követelmények” tárgyú utügyi műszaki előírás (tervezet). A Közlekedési, Hírközlési és Energiaügyi Minisztérium Hálózati Infrastruktúra Főosztálya, Budapest, 2009. 16 p.

## SUMMARY

### POSSIBILITIES FOR THE USE OF COMPACT ASPHALT CONSTRUCTION TECHNIQUE IN HUNGARY

An efficient way for the hindering of the early deterioration of asphalt pavements due to poor layer density and insufficient bond between pavement layers can be the compact asphalt construction technique. After two minor Hungarian trial sections, an expert team of Hungarian Road Society completed the draft for the Road Technical Specification the field. The experiences of Germany, as the developer of the methodology and the relevant professional literature were utilized. The specification conditions of the gradual implementation of the technology in Hungary will be soon available.

# AZ ÚT-JÁRMŰ KÖLCSÖNHATÁS FEJLŐDÉSE: VÁRHATÓ TRENDKÉK ÉS MONITORING MÓDSZEREK

## THE EVOLUTION OF ROAD/VEHICLE INTERACTION: EXPECTED TRENDS AND MONITORING TECHNIQUES

F. LA TORRE, S. BROWN, L. D. POULIKAKOS

ROUTES / ROADS NO. 340. 2008. 4. P. 46–63. Á: 8, T: 6, H: 8.

A közúti személy- és tehergépkocsik fejlődése, a gumiabroncsok átalakulása az út-jármű kölcsönhatásban alapvető változásokat hoz a következő évtizedekben. A közúti szakirányításnak figyelembe kell vennie a változásokat, és célszerű együttműködést keresni a járművek és a gumiabroncsok gyártóival. A PIARC út-jármű kölcsönhatással foglalkozó műszaki bizottsága kérdőíves felmérést végzett, és 2007-ben a párizsi Világkonferencián workshopot rendezett a témában. A megvitatott kérdések között a járművek és gumiabroncsok tervezése és terhelése, a biztonság és az út-jármű kommunikáció, valamint a monitoring módszerek szerepeltek. A kérdőívre adott válaszok értékelése alapján a leggyakrabban alkalmazott monitoring módszer a nagy sebességű dinamikus tengelyterhelés-mérés (weigh-in-motion, WIM). A mérési eredményeket felhasználják a pályaszerkezet tervezésében és a fenntartási munkák meghatározásában. A jármű- és gumiabroncsgyártók, valamint a közúti szakemberek részvételével megtartott workshop tapasztalatai szerint a teherszállítás gazdaságossága az elsődleges fejlesztési cél, ami a terhelések növekedésével jár. Az útburkolatokra és a hidakra gyakorolt kedvezőtlen hatás ugyanakkor

határt szab a terhelés növelésének. A technológiai fejlesztések eredményeként javult a nehéz járművek forgalombiztonsága, és szélesebb gumiabroncsokat használnak. Ausztráliában teljesítmény alapú szabályozást vezettek be a nehéz járművekre vonatkozóan, mely a járművek viselkedését az infrastruktúra lehetőségeihez igazítja. A közúti pályaszerkezetek technológiai fejlődése sokkal lassúbb, mint a járműveké, ezért fontos, hogy a nehéz járművek lehetőség szerint csak a megfelelő burkolatú utakon közlekedjenek, mert a teljes úthálózat megerősítése nem lehet gazdaságos. A járműdinamikai jellemzők mérése és szabályozása elősegíti a biztonságot. Az intelligens közlekedési rendszerek már ma is képesek egyes veszélyhelyzetek elhárítására, de a jövőben a hangsúly a veszélyes helyzetek megelőzésére helyeződik. Az érzékelőkkel ellátott útpálya, jármű és gumiabroncs képes lehet egymással információt cserélve megakadályozni a veszélyhelyzet kialakulását. A dinamikus terhelés és hatásainak vizsgálata újabb lehetőségeket rejt magában.

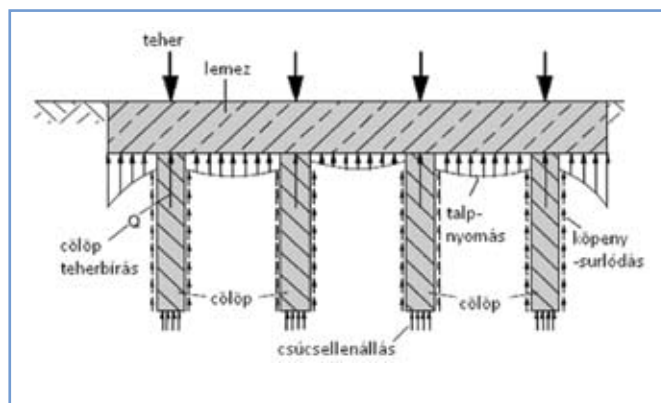
G. A.

# KOMBINÁLT (CÖLÖP ÉS LEMEZ) ALAPOZÁS MODELLEZÉSE – I. RÉSZ<sup>1</sup>

BAK EDINA<sup>2</sup> – KOCH EDINA<sup>3</sup> – PALOTÁS BÁLINT<sup>4</sup> – SZEPESHÁZI RÓBERT<sup>5</sup>

## 1. A KOMBINÁLT ALAPOZÁS LÉNYEGE, ELŐNYEI

A nagy méretű létesítményeket általában, különösen ha az al-talaj nem túlzottan kompresszibilis és a szigetelés is megköveteli, lemezalpra állítjuk. A méretezés során gyakorta felmerül, hogy a kiadódó nagy süllyedések vagy süllyedéskülönbségek miatt szerkezeti károsodások vagy a használhatóságot veszélyeztető deformációk alakulhatnak ki az építményben. Ilyenkor a leggazdaságosabb megoldást az adhatja, hogy a nagyobb süllyedések helyén, többnyire a felszerkezet oszlopai alatt, a lemezalapot cölöpökkel gyámolítjuk. Ezt az alapozási módszert kombinált cölöp-lemez-alapozásnak vagy cölöppel gyámolt lemezalapozásnak nevezik. Teherviselésének vázlata az 1. ábrán látható. Másik oldalról közelítve is gyakran eljuthat a tervező ugyanehhez a megoldáshoz. Ha egy kiindulásként cölöpalapozással tervezett építmény legalsó szintjén a használat miatt szükséges alaplemez már egy eléggé kedvező talajra kerül, akkor érdemes számítani ennek teherviselő hatására, ami csökkenti a cölöpökre jutó erőket.



1. ábra: A cölöppel gyámolt lemezalap teherviselésének vázlata

A kombinált alapok optimális cölöpkiosztás esetén a következő előnyöket nyújtják:

- a süllyedések és a süllyedéskülönbségek a cölöp nélküli lemezéhez képest csökkennek
- az alaplemez igénybevételei a cölöp nélküli változathoz képest kisebbek lesznek, így a lemez vastagsága és vasalása csökkenthető
- kevesebb és/vagy kisebb átmérőjű és/vagy rövidebb cölöpökre van szükség a kizárólag cölöpökkel való alapozáshoz képest.

## 2. KOMBINÁLT ALAPOZÁSOK TERVEZÉSI ELVEI

A kombinált alapozási módszer tervezését nehezíti, hogy a nemzeti és nemzetközi tervezési előírások és szabványok alig tartalmaznak közvetlenül érvényesíthető számítási előírásokat és szabályokat a kombinált alapokra vonatkozóan. A gyakorlat el-

várásai miatt ugyanakkor sok helyen dolgoztak ki és alkalmaznak különféle tervezési módszereket, főként egyszerűsített számítási eljárásokat, illetve az 1. ábrán látható kölcsönhatásokat jobban modellező számítógépes programokat (Radványi, Manning, Gudlin, 2009). A kombinált alapozásnak ez idő tájt éppen az a legnagyobb hátránya, hogy a méretezése még nem kiforrott. Az egyszerűsített módszerek alkalmazásához számos feltevést kell tenni, ami a bizonytalanság érzetét kelti a tervezőben, s ezt gyakran magasabb biztonsági tényezők alkalmazásával kompenzálják, ami viszont „elviheti” a szerkezet előnyeit. A korszerű programok hátránya viszont abban fogalmazható meg, hogy a nagyobb térbeli modellek felépítése és futtatása rendkívül időigényes, a cölöp-talaj kapcsolat modellezése bonyolult és annak fizikai tartalma nehezen értelmezhető.

A tervezési szempontok, módszerek pontosítását, kiegészítését elsősorban a már megépült szerkezetek viselkedésének hosszú távú értékelésétől remélhetjük. Mint azonban minden új eljárás bevezetésére, a kombinált alapozásokra is igaz, hogy nem állnak még elegendő számban rendelkezésre a szerkezet viselkedésének értékelését lehetővé tevő hosszabb idejű mérési eredmények, különösen Magyarországon nem.

A cölöpökkel gyámolt lemezalapot esetében a szerkezet statikai analízisével a továbbtervezéshez a következőket kell meghatározni:

- a legnagyobb süllyedések és süllyedéskülönbségek
- a lemezalapotban keletkező nyomaték és nyíróerő
- a cölöpöket terhelő erők, esetleg nyomatékok.

Az elérhető szakirodalom nagy részében a hangsúlyt a cölöpökre jutó függőleges terheket, másként fogalmazva a cölöpök teherviselési arányát, valamint a süllyedéseket befolyásoló tényezők megállapítására fektetik. Bár valóban ezek a kritikus kérdések, a szerkezet további mechanikai jellemzőinek számítása és értékelése is hasznos, illetve szükséges lehet.

## 3. A SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK ÁTTEKINTÉSE ÉS A VIZSGÁLANDÓ SZERKEZET

A cölöpökkel gyámolt lemezalapot vizsgálatára kidolgozott módszereket Poulos 1997-ben foglalta össze, s három terjedelmes csoportba osztotta:

- egyszerűsített számítási módszerek
- közelítő számítógépes módszerek
- pontosított számítógépes módszerek.

Egyszerűsített számítási módszereket közöl pl. Poulos és Davis (1980), Randolph (1983, 1994), Impe és Clerq (1995) és Burland (1995). Az altalaj modellezését és a lemezalap terhelési helyzetét illetően mindegyikük számos közelítést vezetett be. Az eljárásokat képletek, grafikonok segítségével lehet használni. A közelítések hatásától való félelem és a számítógépes módszerek

<sup>1</sup> A cikk II. része egy későbbi számunkban fog megjelenni

<sup>2</sup> Okl. építőmérnök, geotechnikai tervező, FTV Zrt., Budapest

<sup>3</sup> Okl. építőmérnök, egy. tanársegéd, geotechnikai tervező, Széchenyi István Egyetem, Győr

<sup>4</sup> Okl. építőmérnök

<sup>5</sup> Okl. építőmérnök, geotechnika szakmérnök, főisk. docens, geotechnikai tervező és szakértő, Széchenyi István Egyetem, Győr; e-mail: szepesz@sze.hu

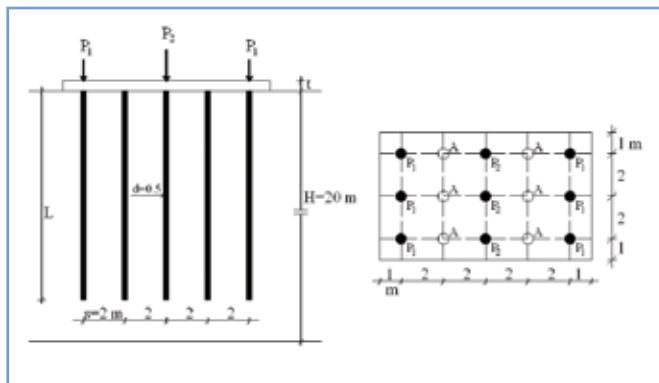
alkalmazhatóságának bővülésével e módszerek mindinkább teret vesztenek.

- A közelítő számítógépes módszerek két csoportba sorolhatók:
- a „rugókkal alátámasztott gerenda” modelljére épülő módszerekben a lemezalap sávalapok („gerendák”) sorozataként jelenik meg, s alattuk a cölöpöket megfelelő merevségű rugók képviselik (pl. Poulos, 1991)
  - a „rugókkal alátámasztott lemez” modelljére épülő módszerekben a lemezalapot egy összefüggő lemez szimbolizálja, a cölöpöket ebben is rugók képviselik (pl. Clancy és Randolph, 1993; Poulos, 1994; Viggiani, 1998).

A pontosított számítógépes módszerek közé a kevésbé használatos határelemes módszerek (BEM) mellett a következőket sorolják:

- az egyszerűsített véges-elemes módszerek az alapozási rendszert vagy annak egy részét síkbeli alakváltozási állapottal (Desai, 1974) vagy tengelyszimmetrikus állapottal (Hooper, 1974) modellezik, illetve a véges differenciák módszerével kezelik, mint például az ausztrál FLAC (Finite Layer Analysis of Consolidation) program segítségével (Hewitt és Gue, 1994),
- a háromdimenziós véges elemes módszerek, melyekben geometriai egyszerűsítést már nem kell bevezetni (Lee, 1993; Wang, 1995; Katzenbach, 1998).

Ebben a tanulmányban egy egyszerű feladaton keresztül hasonlítjuk össze a rugókkal alátámasztott lemez közelítő számítógépes, illetve a háromdimenziós véges-elemes, pontosított számítógépes módszer eredményeit. Az előbbihez a hazai gyakorlatban elterjedt AXIS VM szerkezettervező programot, az utóbbihoz a MIDAS GTS geotechnikai programot alkalmaztuk.



2. ábra: A vizsgált modell geometriája

1. táblázat: A szerkezetek talajfizikai jellemzői

Megnevezés		Talaj	Lemez
Rugalmassági modulus	E	kN/m <sup>2</sup>	20 000
Poisson-tényező	n	–	0,3
Száraz térfogatsúly	g <sub>d</sub>	kN/m <sup>3</sup>	20
Telített térfogatsúly	g <sub>t</sub>	kN/m <sup>3</sup>	24
Kohézió	c	kN/m <sup>2</sup>	75
Belső súrlódási szög	φ	°	0

A vizsgált eset alapvetően azonos azzal, melyet Poulos (2001) is elemzett. Amint a 2. ábrán látható, egy B×L=6×10 m alapterületű, v=0,3–0,5–0,7 m vastagságú lemezről van szó. Az erre

ható összes erő maximumát 24 MN-ban határoztuk meg, s ezt tíz lépcsőben vittük fel. Ezek a 2. ábrán P<sub>1</sub>, ill. P<sub>2</sub> betűkkel jelölt cölöphelyekre leosztva hatnak, oly módon, hogy a P<sub>2</sub> koncentrált teher mindig kétszerese a P<sub>1</sub> tehernek. A lemez alá N=0–3–9–15 db, D=50 cm átmérőjű, l=7,5–10,0–12,5 m hosszú cölöpöt tettünk. Ha három cölöpöt alkalmaztunk, akkor azokat a P<sub>2</sub> erők alatt helyeztük el, kilenc cölöp esetén P<sub>1</sub> és P<sub>2</sub> terhek alatt voltak a cölöpök, 15 cölöp esetén még az „A” helyeken is számoltunk cölöppel. Az adatváltoztatással azt kívántuk megállapítani, hogy a meghatározó szerkezeti jellemzők mennyiben befolyásolják a cölöpökkel gyámoltott lemez viselkedését. A környező homogén talaj paramétereit az 1. táblázat tartalmazza.

#### 4. RUGÓKKAL ALÁTÁMASZTOTT LEMEZ MÓDSZERE (AXIS)

Mint már említettük, a „rugókkal alátámasztott lemez” közelítő módszerét alkalmazhatjuk a hazai gyakorlatban elterjedt AXIS VM szerkezettervező program segítségével. Ebben a lemez és a cölöpök vagy cölöpcsoportok alátámasztó hatását egymástól független, különböző merevségű rugókkal modellezhetjük, így az AXIS-programmal nem lehet közvetlenül figyelembe venni a cölöpök és a lemez között a talajon keresztül kialakuló kölcsönhatásokat.

Az AXIS VM program nem „talajmechanikai” program, „valódi” talajparamétereket nem lehet közvetlenül beadni, hogy aztán a program segítségével süllyedéseket, cölöpteherbírást stb. számíthasson, bár fejlesztőinek vannak erre irányuló törekvései. A lemez alatti talajt felületi támasz szimulálja, s ennek C ágyazási tényezője a modell egyik legfontosabb paramétere. Az ágyazási tényező elsősorban a talaj E<sub>s</sub> összenyomódási modulusától függ, de hangsúlyozni kell, hogy mégsem tekinthető talajjellemzőnek. Értéke függ az alap p megoszló terhelésétől, az alaplemez B szélességétől és L hosszúságától, és az alap alatt összenyomódó talajrétegek vastagságától, az m<sub>0</sub> határmélységtől is. Ennek részleteibe most nem megyünk bele, az egy másik dolgozat tárgya lesz. Számítási modellünkhöz az

$$s = \frac{p}{E_s} \cdot B \cdot F$$

süllyedésszámítási alapképletből kiindulva, az E<sub>s</sub> összenyomódási modulus, valamint az E rugalmassági modulus és a μ Poisson-tényező összefüggését is felhasználva vettük fel az ágyazási tényezőt

$$C = \frac{p}{s} = E_s \cdot \frac{1}{B} \cdot \frac{1}{F} = E_s \cdot \frac{1-v-2 \cdot v^2}{1-v} \cdot \frac{1}{B \cdot F}$$

Az F süllyedésszámítási szorzót az alaplemez L/B=10/6=1,67 „alaki tényezőjéhez”, valamint az m<sub>0</sub>/B=1,5 „relatív határmélységhez” F=0,67 értékkel vettük fel (Szepesházi, 2004), így az ágyazási tényezőt

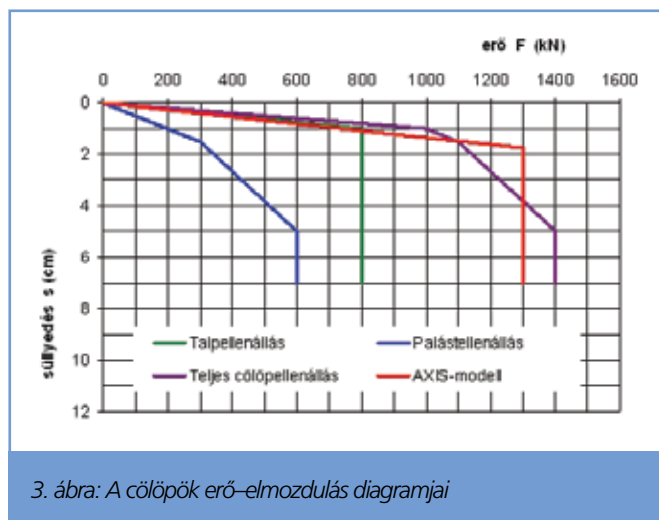
$$C=3750 \text{ kN/m}^3$$

alapértékben állapítottuk meg. Egyes számításainkban ezt 2500 kN/m<sup>3</sup>-re csökkentettük, ami a cölöpök kedvezőtlen irányú közrehatását hivatott figyelembe venni, más számításainkban pedig 5000 kN/m<sup>3</sup>-re növeltük, annak szimulálására, hogy a lemez alatti cölöpök csökkentik a lemez alatti talaj összenyomódását. Egyes számításainkban vizsgáltuk azt is, hogy mit okoz az a Varga (1966) javaslatának megfelelő transzformáció, mely szerint a merevebb lemezek esetében az átlag helyett célszerű a lemez szélső negyedeihez 1,6C<sub>á</sub>=6000 kN/m<sup>3</sup>, míg a lemez belső feléhez 0,8C<sub>á</sub>=6000 kN/m<sup>3</sup> ágyazási tényezőt rendelni (Szepesházi, 2004).

Az AXIS VM programban a cölöpöket csomóponti támaszként lehet modellezni, s azt egy rugóállandóval és egy F<sub>H</sub> határerővel

lehet jellemezni. (Az AXIS-határerő az EC 7 szerinti cölöptervezési terminológia szerint természetesen az  $R_c$  nyomási ellenállást, a hagyományos terminológia szerint az  $F_t$  törőerőt jelenti.) Ezeket az 1. táblázatbeli talajparaméterek alapján próbatetherelési tapasztalatokra támaszkodva és a DIN 1054 által ajánlott mobilizálódási görbéket figyelembe véve állapítottuk meg.

Az alapmodellben szereplő  $l=10$  m hosszúságú  $D=0,5$  m átmérőjű cölöp palástellenállásának végértékét kerekítve  $R_s=800$  kN-ra, talpellenállását  $R_b=600$  kN-ra vettük. Úgy tekintettük, hogy az előbbi teljes mobilizálódásához az átmérő 2%-ával azonos süllyedés szükséges, a talpellenállás esetében pedig a végértékhez az átmérő tizedének, az 50%-os értékhez az átmérő 3%-ának megfelelő süllyedés kell. A 3. ábrán ezeket és összegüket szerkesztettük meg. Ebben a teljes cölöpellenállás vonalát a kétparaméteres (bilineáris) AXIS-modellhez úgy egyenlítettük ki, hogy a várható  $s < 5$  cm tartományban a lehető legjobban modellezze a cölöp viselkedését.



3. ábra: A cölöpök erő-elmozdulás diagramjai

Az ábra alapján a cölöp rugóállandója

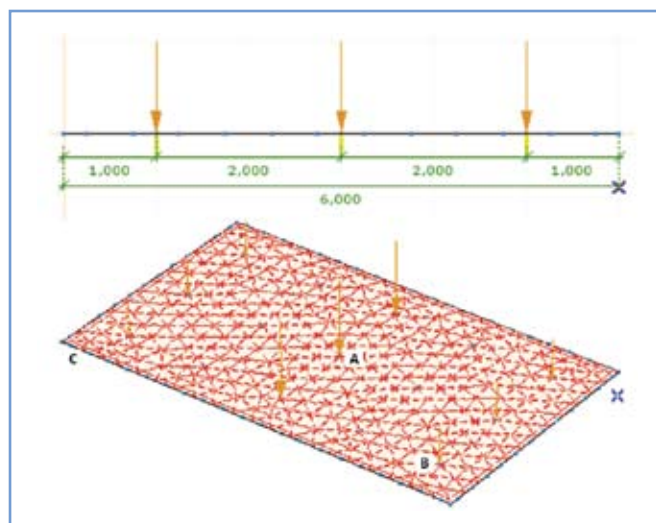
$$K = F / s = 1300 / 0,0175 = 75\,000 \text{ kN/m}$$

A helyettesítő AXIS-határerő (= nyomási ellenállás = törőerő):

$$F_H = 1300 \text{ kN.}$$

2. táblázat: Az AXIS-modell adatai

Modell sorszama	Lemez-vastagság v, cm	Cölöpök száma N, db	Cölöphossz l, m	Cölöp rugóállandója K, kN/m	Cölöp határerő FH, kN	Lemez ágyazási tényezője C, kN/m <sup>3</sup>
1	50	9	10	75 000	1300	3750
2	50	9	10	75 000	1300	3000–6000
3	50	9	10	75 000	1300	2500
4	50	9	10	75 000	1300	5000
5	50	9	7,5	60 000	1100	3750
6	50	9	12,5	100 000	1500	3750
7	50	3	10	75 000	1300	3750
8	50	15	10	75 000	1300	3750
9	30	9	10	75 000	1300	3750
10	70	9	10	75 000	1300	3750
11	50	0	0	0	0	3750
12	50	0	0	0	0	3000–6000
13	50	0	0	0	0	2500
14	50	0	0	0	0	5000



4. ábra: Az AXIS VM modell

Az eltérő cölöphosszakhoz tartozó értékeket is ezen eljárással határoztuk meg, de a jobb áttekinthetőség céljából kerekített értékekkel számoltunk tovább.

Ezzel minden bemenő adat rendelkezésünkre állt, elkészítettük az alapmodellt a 4. ábrán látható kialakításban. Ezt lépcsős terheléssel vizsgáltuk, tíz lépcsőben vittük fel a maximális 24 MN összterhelést a 3. pontban vázolt kiosztásban.

Ezután további 13 futtatást végeztünk, az alapmodellhez képest valamit, de mindig csak egyetlen paramétert változtatva. A 2. táblázatban összefoglaltuk az összes vizsgált modellt. Az 1–4. modellben az ágyazási tényező, az 5–6. számú modellben a cölöpök hossza, a 7–8. modellben a cölöpök darabszáma, a 9–10. modellben a lemez vastagsága változik az alapesethez (1. modellhez) képest. Az utolsó négy eset (11–14. modell) a cölöp nélküli, különböző ágyazási tényezőjű lemezre vonatkozik.

A bemenő adatokat azért változtattuk, hogy vizsgálhassuk ezek hatását az AXIS-modellre, és megállapíthassuk, hogy



a különböző esetekben mennyire közelítenek, ill. térnek el egymástól az AXIS- és a MIDAS-futtatások eredményei.

## 5. HÁROMDIMENZIÓS VÉGESELEMES-MÓDSZER (MIDAS)

A 3D véges elemes vizsgálathoz a MIDAS GTS geotechnikai programot alkalmaztuk. A program elsősorban alagutak, munkagödörök, összetett alapozások, illetve a talaj és a szerkezet kölcsönhatásának vizsgálatára ajánlják. A talajt többféle „fejlesztett” (advanced) anyagmodellel, pl. Duncan–Chang, Mohr–Coulomb, Hardening Soil és Cam–Clay modellekkel és ezek továbbfejlesztett változataival lehet kezelni, melyek egyebek mellett a talaj valós, nem-lineáris feszültség–alakváltozás kapcsolatát is figyelembe tudják venni. A jelen tanulmányunkhoz végzett futtatásokban, hogy a kérdést az anyagmodell variálásával ne terheljük, a gyakorlatban leginkább ismert lineárisan rugalmas és a Mohr–Coulomb-törvény szerinti tökéletesen képlékeny anyagmodellel dolgoztunk. (Mellékesen: ez a futtatási idő rövidítése céljából is hasznos volt...). A talajt háromdimenziós testként, úgynevezett „solid” elemként vittük be a modellbe, a lemezt ekként és úgynevezett „plate” elemként is modelleztük. A „solid” elemekkel való modellezés egyszerűbb, de ezzel dolgozva nincs lehetőség a lemez igénybevételeinek lekérdezésére, ahhoz a „plate” elemet kell alkalmazni. A talajelemekhez rendelt talajfizikai paramétereiket, illetve a lemezhez rendelt bemenő adatokat az 2. táblázatban már bemutattuk.

A cölöpök modellezésére háromféle lehetőséget kínál fel a program. Az első lehetőség, hogy a cölöpöket 3D térbeli solid elemként modellezzük. Ennek hátránya az, hogy az elemszám megnövekedésével hosszú lesz a számítási idő, illetve hogy a cölöpökben keletkező erők és nyomatékok közvetlenül nem kérdezhetők le. Második lehetőségként a cölöpöket egydimenziós gerendaelemként modellezhetjük, s a talaj és a cölöp közötti ún. interfész kapcsolatot vonal menti kapcsolatként határozzuk meg. Ilyenkor a cölöp teljes hossza mentén van csomóponti kapcsolat, ami szintén jelentősen megnöveli az elemszámot és ez által a futtatási időt. A harmadik lehetőség abban különbözik a másodiktól, hogy az ugyancsak egydimenziós gerendaelemként modellezett cölöp és a talaj kapcsolatát ún. line-to-solid „interface” elemekkel modellezhetjük. A cölöp és a talaj közötti kapcsolatot rugóállandó modulusokkal és határerőkkel kell/lehet megadni. Ebben az esetben nincs szükség csomóponti kapcsolatokra, ami jelentősen csökkenti az elemszámot és ezzel a futtatási időt.

3. táblázat: A talaj és a cölöp közötti kapcsolat paramétereit

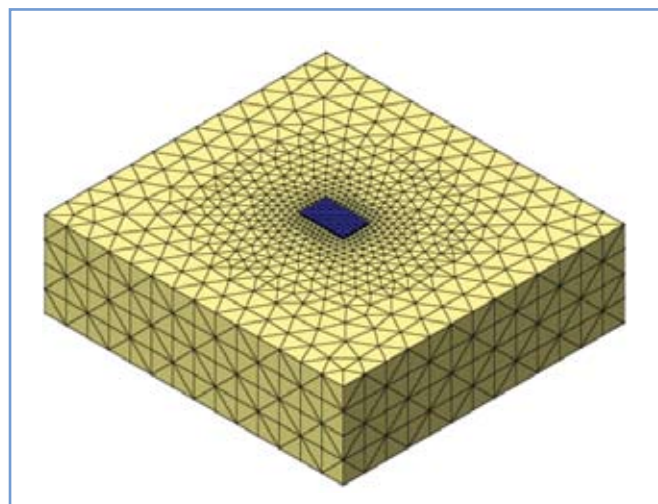
A cölöpök és a talaj közötti kapcsolat paramétereit a MIDAS GTS programban			
ultimate shear force	nyírási ellenállás határértéke folyóméterenként	kN/m	80
shear stiffness modulus	fajlagos nyírási ellenállás mobilizálódását kifejező modulus	kN/m <sup>2</sup> /m	1E+06
normal stiffness modulus	az interfész elem összenyomhatóságát kifejező modulus	kN/m <sup>2</sup> /m	1E+08
tip bearing capacity	a talpellenállás határértéke	kN	700
tip string stiffness	a talpellenállás rugóállandója	kN/m	1E+06

A jelen dolgozathoz ez utóbbi modellt alkalmaztuk, s a 3. táblázatban szereplő értékeket vittük be a programba. A cölöppalástához rendelhető az „ultimate shear force” elnevezésű erő, mely a fajlagos palástellenállás és a cölöpkerület szorzata, illetve a „shear stiffness modulus” elnevezésű paraméter, mely a palástellenállás mobilizálódását hivatott kifejezni, valamint a kapcsolatot modellező vékony interface elem keresztirányú összenyomhatóságát kifejező „normal stiffness modulus” elnevezésű paraméter. Az utóbbi kettő felvételére a program kézikönyve ad javaslatot, de a javaslat és a modulusok fizikai tartalmának a kapcsolata számunkra a programfejlesztőkkel való többszöri konzultáció után sem teljesen világos. (Hozzátesszük, úgy tűnik, nagyságuk alig befolyásolja az eredményeket.) A csúcshoz a csúcscellenállás maximumát kifejező „tip bearing capacity” erő rendelhető, mely a fajlagos csúcscellenállás és a keresztmetszeti terület szorzata. A csúcshoz rendelhető másik paraméter, a „tip spring stiffness” a csúcscellenállás mobilizálódását vezérli, s nagyságát illetően a palástellenállás hasonló paraméterére írtak érvényesek. (Már itt megjegyezzük, hogy a palásthoz és a talphoz rendelt határerők összhangban vannak az AXIS-programba bevitt adatokkal.)

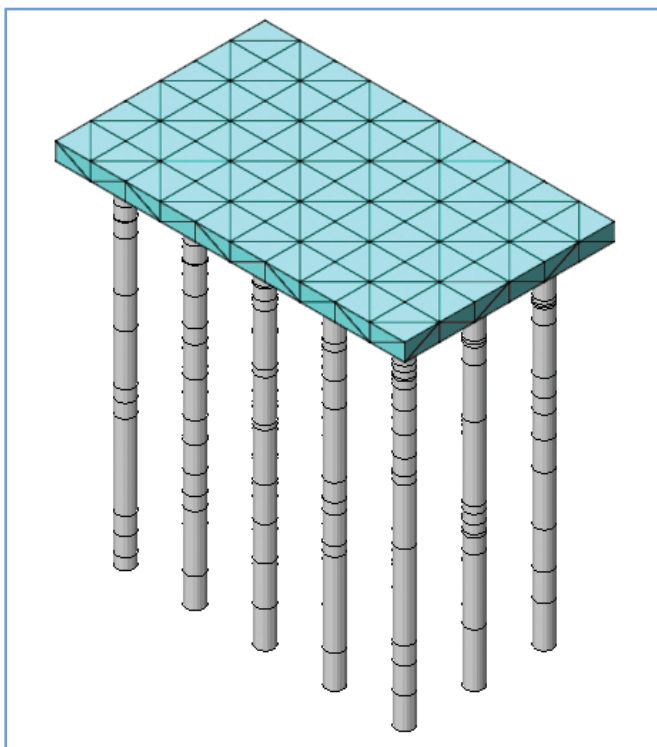
Jól érzékelhető, hogy a MIDAS-programra nézve is igaz Katzenbach (1999) azon véleménye, mely szerint „az ilyen programok használatával az egyszerűbb eljárásokban alkalmazott összes közelítő feltevés elméletileg szükségtelenné válik. A cölöp–talaj határfelületek modellezésével kapcsolatban azonban néhány probléma fennmarad, sőt az is kérdéses, hogy feltétlenül kell-e határfelületi elemet használni. Ha igen, akkor a közelítéseket a kapcsolat merevségi tulajdonságainak megadásakor vehetjük figyelembe. Ezen a nehézségen túl a fő probléma az, hogy egy valós méretű cölöpökkel gyámoltított lemezalap nem-lineáris számításakor a megoldás elérése pl. egy 450 MHz-en futó számítógéppel több napig eltarthat”.

Az előbbieket szerint felépített teljes modell véges elemes hálóját az 5. ábra, a szerkezet modelljét a 6. ábra szemlélteti. A csomópontok száma az adatok változtatásától függően 5000 és 7500 között változott.

A MIDAS-futtatások során az AXIS VM programmal végzetekhez hasonlóan változtattuk a bemenő paramétereiket. Alapesetünk itt is a kilenc (10 m hosszú és 50 cm átmérőjű) cölöpre támaszkodó 50 cm vastag lemez volt. Ehhez képest vagy a cölöphossz vagy a cölöpszám vagy a lemezvastagság változott, és természetesen ezzel is vizsgáltuk a cölöp nélküli lemezt.



5. ábra: A teljes modell véges elemes hálóját



6. ábra. A szerkezet modellje

### 6. AZ AXIS SZÁMÍTÁSOK EREDMÉNYE

Mint említettük, 14 modellt futattunk le lépcsős terhelésre. A 4. táblázatban az 50%-os terhelésre, az 5. táblázatban a teljes, 24 MN-os terhelésre kapott eredmények közül a legszemléletesebbnek gondolhatókat foglaltuk össze (lásd még a 2. ábrát):

- a süllyedés a lemez közepén (A) és a sarkán (C),
- cölöperők (csomóponti támaszerők) a középső (A) és a legkülső cölöpökben (B),

- x és y irányú nyomatékok a lemezben a lemez közepén (A) és a legkülső cölöpök fölött (B).

Az alapmodellre (1. modell) kapott eredményekből mutatunk be néhányat a 7-9. ábrákon.

A táblázatokból számos érdekes következtetés olvasható ki:

- a cölöpök a maximális süllyedéseket lényegesen csökkentik, különösen a 12 MN terhelés esetén, továbbá ha a rugó puha, illetve ha a cölöpszám nagy,
- a süllyedéskülönbségek a cölöpözetlen 50 cm vastag lemez esetén is kicsik, még a 24 MN alatt is csak 2 cm körüliek, s a cölöpök ezen inkább kicsit rontanak, ill. a 30 cm-es lemez esetén nem tudnak segíteni, az 24 MN esetén az 5 cm-t is eléri,
- a középső cölöpre jutó erők már a 12 MN teher alatti is közelítik a határerőt, kivéve a 15 cölöpös esetet, a szélsők esetében a kihasználtság 70-80%, 24 MN esetén viszont mindegyik cölöpre a határerő jut, s ezzel alapesetben a teher 80%-át viselik,
- a lemezközép nyomatékait a cölöpök a 12 MN teher alatt erőteljesen, kb. a felére-harmadára, a lemezszéleket még radikálisan, kb. tizedére csökkentik, a 24 MN teher esetén viszont már kisebb a hatékonyságuk, s általában a gyengébb szerkezetekben (hajlékonyabb lemez és gyengébb alátámasztás) kisebbek a nyomatékok.

A következő ábrák azt mutatják be, hogy az egyes paraméterek változása miként befolyásolja az erő-süllyedés kapcsolat alakulását.

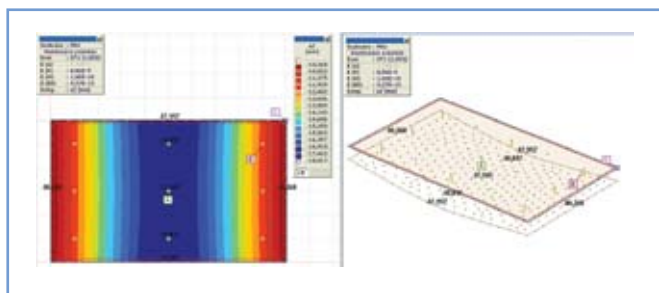
A 10. ábrán az látható, hogy az ágyazási tényező az 50%-os terhelésig, kb. amíg a cölöpök teljesen mobilizálódnak, kevésbé befolyásolja a lemezközép süllyedését, nyilván mert a cölöpök különböző mértékben segítenek be. A cölöp nélküli lemezhez képest ekkor a legnagyobb a különbség. Ezt követően viszont az ágyazási tényezővel arányosan alakulnak a süllyedések, mivel a cölöpök által felvett erő már nem tud növekedni. A 2. és 4. modell süllyedései azonosak, azaz az ágyazási tényező széleken való megnövelése azonos hatású azzal, hogy az átlagos értéket megnövelik.

4. táblázat: Az AXIS-modell eredményei 12 MN terhelésre

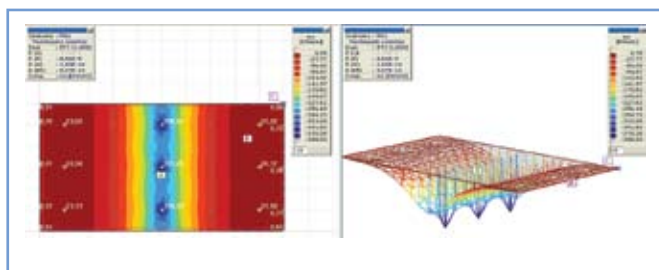
Modell sorszáma	Elmozdulás, cm		Cölöperő, kN		Nyomaték, kNm			
	lemez-közép (A)	lemez-sarok (C)	középső (A)	külső (B)	lemez közepe	lemez széle	lemez közepe	lemez széle
					$m_x$ (A)	$m_x$ (B)	$m_y$ (A)	$m_y$ (B)
1	1,8	1	1300	917	392	23	167	16
2	1,7	0,9	1246	817	411	44	216	44
3	2,2	1,1	1300	1032	477	4	171	13
4	1,6	1	1214	843	392	37	185	33
5	2,2	1,2	1100	892	503	30	215	20
6	1,4	0,8	1444	956	322	14	134	7
7	3,4	4,8	1300	1300	109	193	143	238
8	1,1	0,9	808	694	482	47	269	66
9	2,2	0,8	1300	836	283	32	158	36
10	1,7	1,2	1242	992	515	15	186	4
11	5,9	5,5	0	0	704	208	457	230
12	4,6	3,6	0	0	843	232	571	240
13	8,7	8,3	0	0	712	208	458	230
14	4,5	4,1	0	0	698	207	456	230

5. táblázat: Az AXIS-modell eredményei 24 MN terhelésre

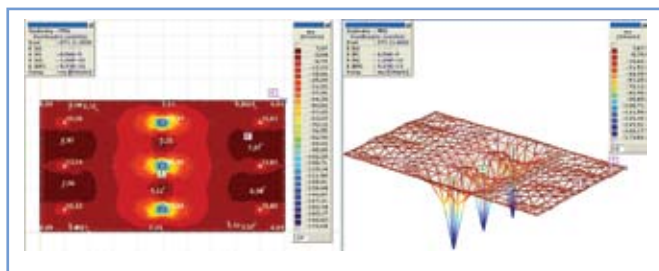
Modell sorszáma	Elmozdulás, cm		Cölöpörő, kN		Nyomaték, Nm			
	9,5	lemez-sarok (C)	középső (A)	külső (B)	lemez-közép $m_x$ (A)	lemez széle	lemez-közép	lemez széle
						$m_x$ (B)	$m_y$ (A)	$m_y$ (B)
1	6,7	4,6	1300	1300	1306	160	634	152
2	5,3	2,8	1300	1300	1413	162	763	167
3	9,7	7,4	1300	1300	1351	165	637	151
4	5,2	3,3	1300	1300	1268	156	631	153
5	7,4	5,5	1100	1100	1322	200	677	199
6	6	3,7	1500	1500	1290	121	591	105
7	9	9,9	1300	1300	596	401	600	468
8	2,7	2,2	1300	1300	1116	114	613	152
9	8	3	1300	1300	1068	137	608	157
10	6,3	5,4	1300	1300	1401	170	641	151
11	11,5	10,6	0	0	1409	416	914	459
12	8,9	6,9	0	0	1678	427	1137	480
13	17	16,1	0	0	1423	416	916	459
14	8,7	7,9	0	0	1396	415	911	459



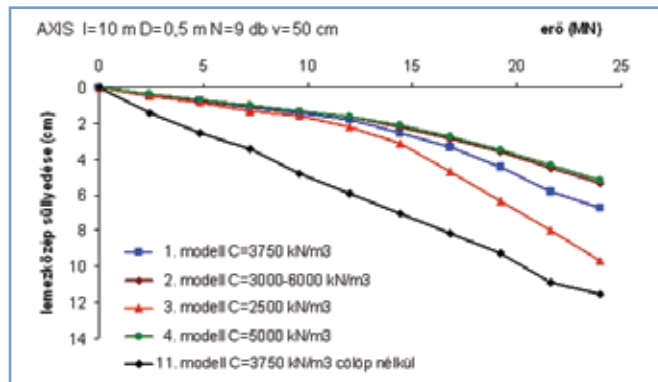
7. ábra: Az 1. modell függőleges elmozdulási ábrája 24 MN terhelésre



8. ábra: Az 1. modell (alapmodell)  $m_x$  nyomatéki ábrája 24 MN terhelésre



9. ábra: Az 1. modell (alapmodell)  $m_y$  nyomatéki ábrája 24 MN terhelés alatt



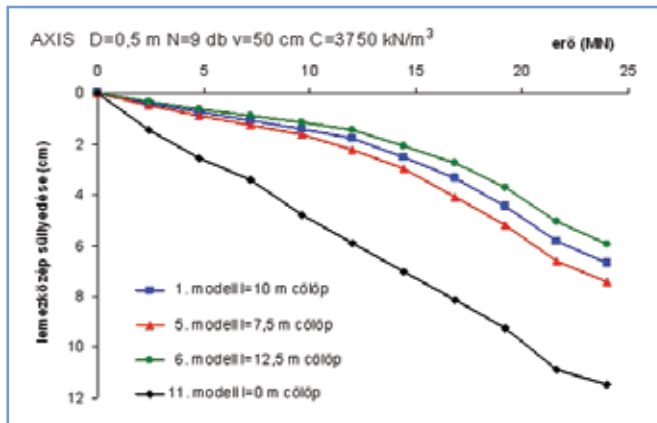
10. ábra. Az erő-süllyedés kapcsolat változása az ágyazási tényezőtől függően

A 11. ábra a cölöpök hosszának, valójában a teherviselő képességüknek a hatását mutatja. Úgy tűnik, ez kevésbé befolyásolja a süllyedéseket, különösképpen a cölöp nélküli esethez viszonyítva látszik jelentéktelennek a hossz módosító hatása, a fontos az, hogy vannak cölöpök.

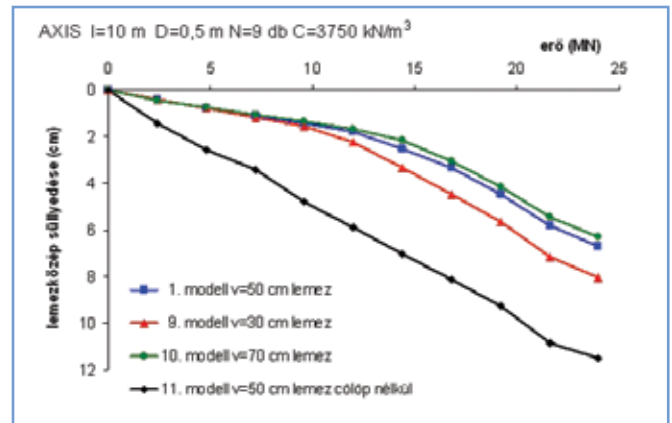
A 12. ábra azt igazolja, hogy a cölöpök számának megválasztása a tervezés egyik legfontosabb döntése. A diagram jól mutatja, hogy a cölöp nélküli lemez esetén a süllyedés jelentős, a terheléssel a rugalmas ágyazás elvének megfelelően lényegében lineárisan nő. A cölöpök számának növelésével a süllyedés szinte arányosan csökken, már a legnagyobb terhelések alá betett három cölöp is sokat segít.

A 13. ábrán látható eredmények a lemezvastagság változtatásának a hatását érzékeltetik. A maximális süllyedés az 50 és 70 cm vastagság esetén alig különbözik, viszont a lemez „elvékonyodása” süllyedésnövekedést indukál, s közelít a cölöp nélküli lemez viselkedéséhez.

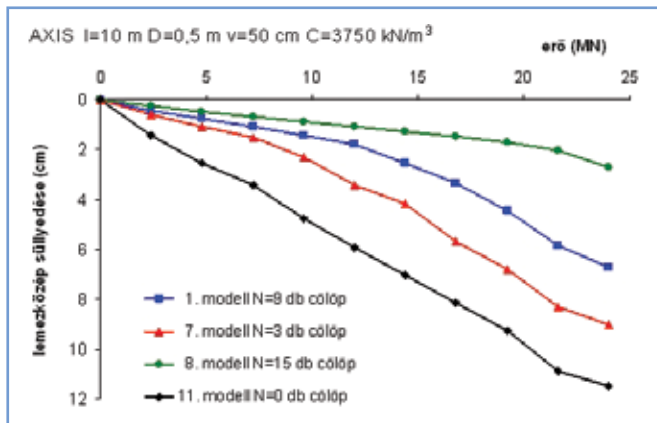
A 14. ábrán a lemezvastagságnak a süllyedéskülönbségekre gyakorolt hatását vizsgáltuk. A cölöpök kedvező hatása nem mu-



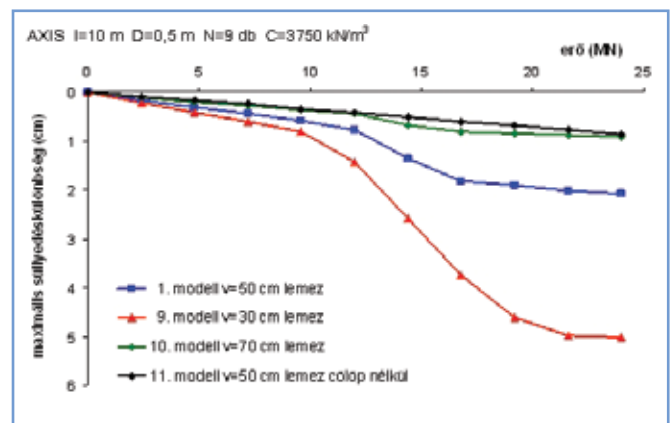
11. ábra. A terhelés-süllyedés kapcsolat a cölöphossztól függően



13. ábra. A terhelés-süllyedés kapcsolat alakulása a lemezvastagságtól függően



12. ábra. A terhelés-süllyedés kapcsolata a cölöpszámtól függően



14. ábra. A terhelés és a maximális süllyedéskülönbség alakulása a lemezvastagságtól függően

tatható ki, ami meglehetősen furcsa. A lemez hajlékonyságának hatása világosan látszik.

### 7. A MIDAS GTS PROGRAMMAL VÉGZETT SZÁMÍTÁSOK EREDMÉNYEI

A 6. táblázatban foglaltuk össze az AXIS-programmal megegyező szerkezet típusok süllyedésére és a cölöperekre kapott eredményeket. A program output-lehetőségeit példaként az 50%-os teherre bekö-

vetkező függőleges elmozdulásokat (süllyedéseket) mutató különböző diagramokkal a 15–17. ábrák érzékeltetik. Az ábrák szabályossága, a mozgások mértéke azzal biztat, hogy a modell jól működik, ezért az egyéb, nehezebben ellenőrizhető eredményei is reálisak lehetnek.

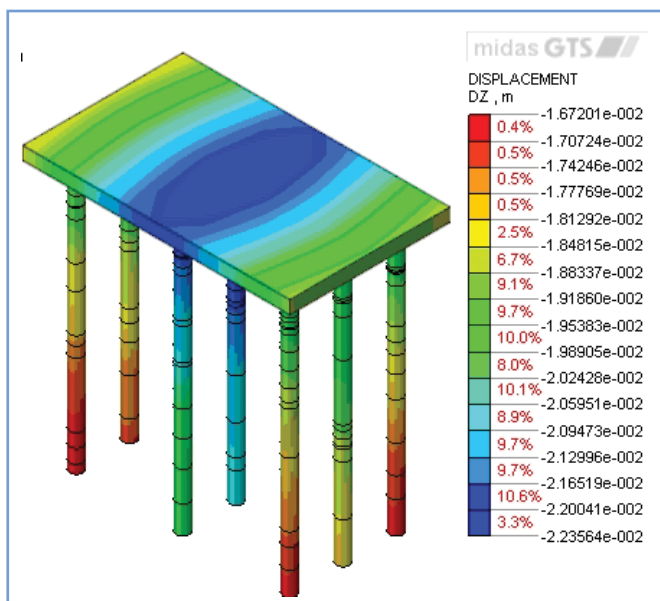
A táblázatból a következőket érdemes kiemelni:

- a cölöpök a süllyedéseket a 12 MN terhelés esetén 50%-nál is jobban (4-5 cm-ről kb. 2-re) csökkentik, főleg ha a cölöpök száma nagyobb és a cölöpök nem rövidek,

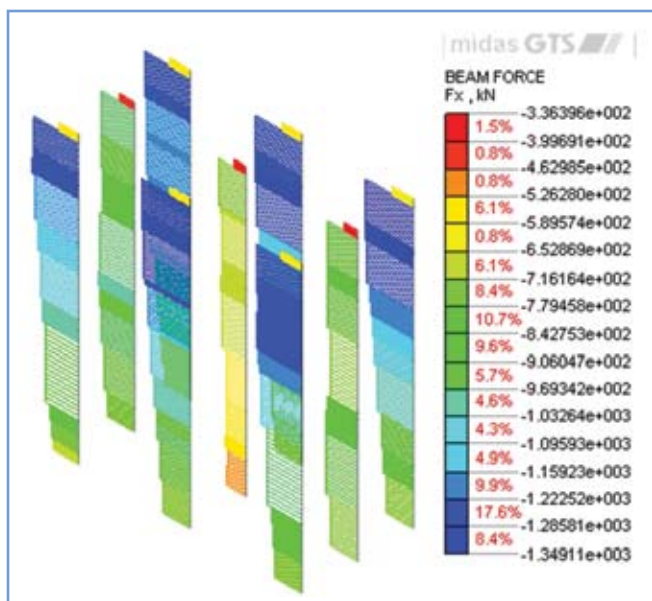
6. táblázat. MIDAS GTS eredményei

Modell sorszáma	Lemez vastagság v, cm	Cölöp-szám N, db	Cölöp-hossz l, m	Lemezsüllyedés, s, cm				Cölöp-erő, F, kN			
				12 MN esetén		24 MN esetén		12 MN esetén		24 MN esetén	
				közép (A)	sarok (C)	közép (A)	sarok (C)	középső (A)	külső (B)	középső (A)	külső (B)
1	50	9	10	2,2	1,8	6,6	5,7	800	1300	1400	1400
5	50	9	7,5	2,7	2,2	7,3	6,4	700	1200	1200	1200
6	50	9	12,5	1,9	1,6	5,9	5	900	1300	1600	1600
7	50	3	10	3,5	3,4	8,7	8,2	1400	1400	1400	1400
8	50	15	10	2,1	1,8	4,8	4,4	400	1100	1100	1400
9	30	9	10	2,3	1,7	6,8	5,3	1050	1150	1400	1400
10	70	9	10	2,2	1,9	6,5	6	650	1300	1400	1400
11	50	0	0	4,5	4,0	10,4	9,6	0	0	0	0

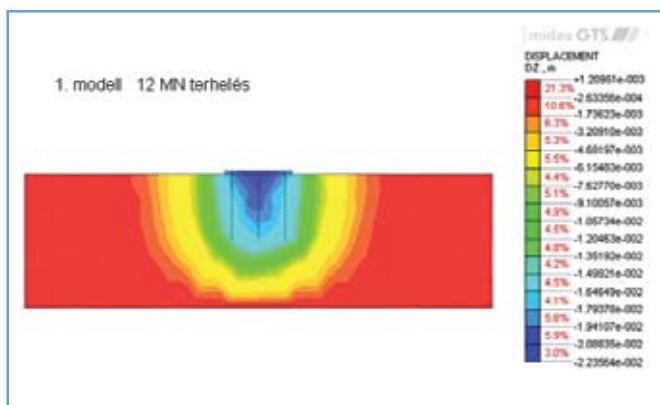




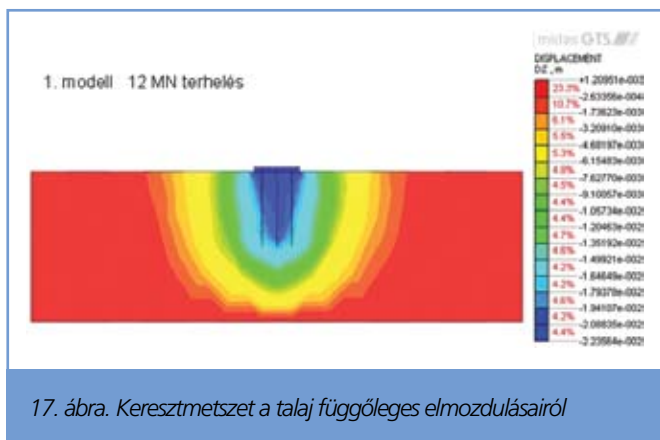
15. ábra. A szerkezetek függőleges elmozdulása az 1. modell esetén 12 MN erőre



18. ábra. A cölöpökben fellépő erők változása az 1. modell esetén 12 MN erőre



16. ábra. Hosszmetszet a talaj függőleges elmozdulásairól



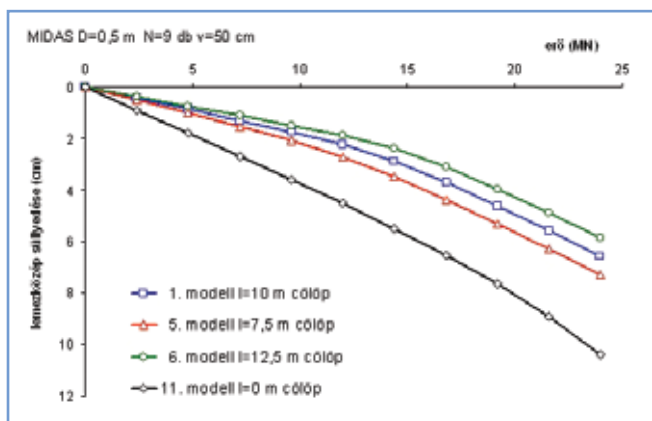
17. ábra. Keresztmetszet a talaj függőleges elmozdulásairól

- a 24 MN terhelés esetén a cölöpök süllyedéscsökkentő hatása már kisebb, különösen a vizsgált legkevesebb és legrövidebb cölöpös gyámolítás esetén,
- a süllyedéskülönbségek az 50 cm vastag cölöpzetlen lemez esetén is kicsik, még 24 MN alatt is csak 1 cm körüliek, s a cölöpök ezen alig változtatnak, de a 30 cm-es lemez esetén besegítenek,

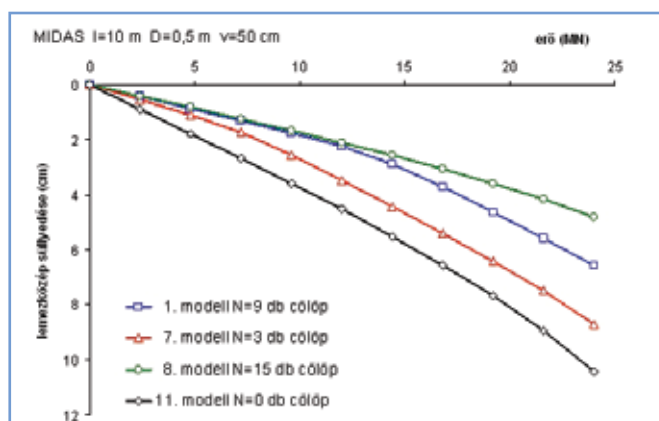
- a középső cölöpre jutó erők a 12 MN terhelés alatt kisebbek, mint a külső cölöpöké, ami összhangban van merev összefogású cölöp csoportokon végzett mérések tapasztalataival,
- a középső cölöpök kihasználtsága 12 MN esetén a szerkezet jellemzőitől függően 30 és 100% között változik, a szélsők esetében a kihasználtság 70-80%, 24 MN esetén viszont mind-egyik cölöpre a határerő jut, s ezzel alapesetben a terhelést 80%-át viselik.

A 18. ábrán a cölöp-erők változását mutatjuk be ugyanezen terhelési esetre. A cölöp-erők szimmetriája, mélységbeli változása reálisnak tetszik, a sarokcölöpök és a nagyobb terhelésű szélső cölöpök már csaknem elérték a határerejüket, miközben a belső cölöpök még kisebb terhet viselnek. Ez összhangban van sok merev összefogású cölöp csoporton végzett mérések tapasztalataival, melyek szerint a cölöpök közül mindig a sarkon levők viselik a legnagyobb terhet, a belsők a legkisebbet.

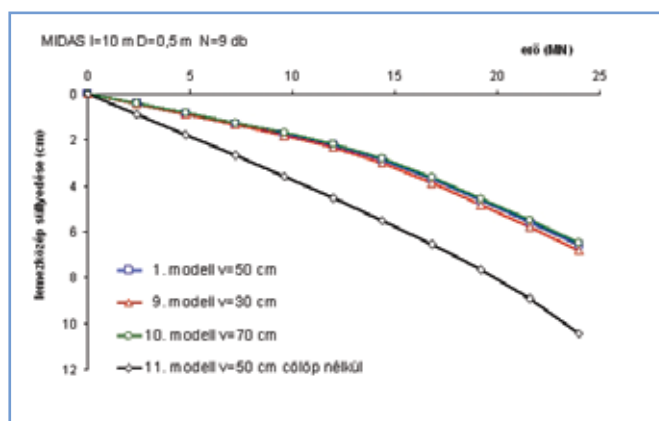
A következő ábrák azt mutatják meg, hogy a MIDAS-modellben miként hatnak a változó szerkezeti jellemzők a terhelés-süllyedés kapcsolatra.



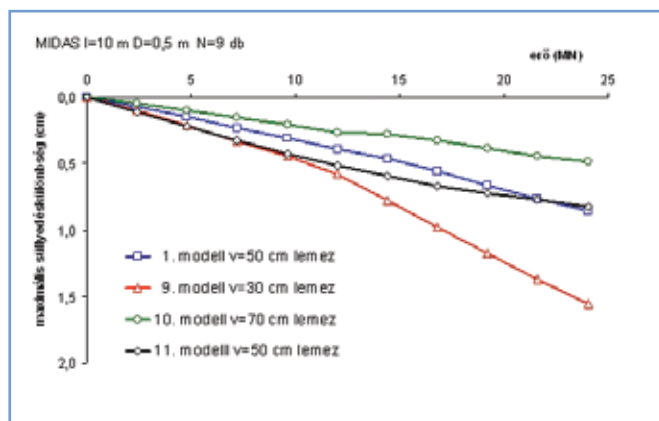
19. ábra. A terhelés-süllyedés kapcsolat változása a cölöphossz függvényében



20. ábra. A teher-süllyedés kapcsolat változása a cölöpszám függvényében



21. ábra. A teher-süllyedés kapcsolat változása a lemezvastagság függvényében



22. ábra. A teher-süllyedéskülönbség kapcsolat a lemezvastagság függvényében

A 19. ábra a cölöpök hosszának hatását mutatja a kilenc cölöppel gyámolt, 50 cm vastag lemezalpra vonatkozóan. Viszonyításként megadjuk az 50 cm vastag, cölöp nélkül készülő lemezalap teher-süllyedés-görbéjét is. Összességében azt állapíthatjuk meg, hogy a cölöpök hosszának növelése arányosan csökkenti a süllyedéseket, de a hossznövelés összességében nem igazán hatékony.

A 20. ábra ábrázolja a különböző (0, 3, 9, 15) számú alátámasztott lemez közepére számított süllyedéseket. Érzékelhetjük, hogy

a cölöpök számának növelése nagyobb mértékben csökkenti a süllyedések nagyságát. A cölöpök nélküli lemezalpozás esetén a lemez közepének süllyedése 12 MN teher hatására eléri az 5 cm-t, ezen a három cölöp még keveset segít, a kilenc és a 15 cölöp viszont már sokat és csaknem ugyanannyit: 2 cm-re veszik le a lemezközép süllyedését. A kilenc és a 15 cölöp közti különbség a terhelés növekedésével mutatkozik meg.

A 21. ábra a lemezközép süllyedését a lemezvastagság függvényeként mutatja kilenc, 10 m hosszú cölöppel gyámolt lemezalpra vonatkozóan. Látható, hogy a lemezvastagság növelése az adott cölöpelrendezés mellett lényegében nem befolyásolja a lemezközép süllyedését.

A 22. ábra a maximális süllyedés különbségeit vizsgálja. Látható, hogy 12 MN esetén a 30 cm-es lemez kilenc cölöppel kb. „annyit ér”, mint az 50 cm-es lemez cölöp nélkül, a másik kettő valamivel jobb, de a görbék legfeljebb 0,5 cm-rel térnek el. 24 MN erő esetén már a lemezvastagság a meghatározó: a 30 cm-es lemez már túlzottan vékony, az 50 cm-es lemez cölöpözött és cölöpözetlen változata között eltűnt a különbség, s a 70 cm-es lemez 0,5 cm-en belül tartja a mozgáskülönbséget.

## FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

Burland, J.B. (1995). Piles as Settlement Reducers. Keynote Address, 18<sup>th</sup> Italian Congress on Soil Mechanics, Pavia, Italy.

Desai. C.S. (1974). Numerical Design Analysis for Piles in Sands. *J. Geot. Eng. Div., ASCE*, 100(GT6): 613–635.

DIN 054:2005-01. Baugrund — Scherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“. EA-Pfähle. Ernst und Sohn, Wiley Company, Berlin, 2008.

Hewitt, P. and Gue, S.S. (1994). Piled Raft Foundation in a Weathered Sedimentary Formation, Kuala Lumpur, Malaysia. *Proc. Geotropika '94*, Malacca, Malaysia, 1–11.

Hooper, J.A. (1974). Review of Behaviour of Piled Raft Foundations. *Rep. No. 83*, CIRIA, London

Van Impe, W.F. and Clerq, L. (1995). A Piled Raft Interaction Model. *Geotechnica*, No.73, 1–23.

Katzenbach, R., Arslan, U., Moormann, C. and Reul, O. (1998). Piled Raft Foundation – Interaction Between Piles and Raft. *Darmstadt Geotechnics*, Darmstadt Univ. of Technology, No. 4, 279–296. Katzenbach, 1999.

Katzenbach, R., Bachmann, G., Gutberlet, C (2000) Soil-structure interaction of deep foundations and the ULS design philosophy. *Proceedings ECSMGE Vol. 1*, Thompson Press, 55–60

Katzenbach, R., Bachmann, G., Waberseck, T. (2008). Soil-Structure Interaction and ULS design of complex foundations. *6<sup>th</sup> International Conference on Case Histories and Geotechnical Engineering*, 11–16, August 2008.

Lee, I.K. (1993). Analysis and Performance of Raft and Raft-Pile Systems. Keynote Lect., 3<sup>rd</sup> Int. Conf. Case Hist. in Geot. Eng., St. Louis (also Res. Rep. R133, ADFA, Univ. NSW, Australia)

MSZ EN 1997-1:2006 Eurocode 7: Geotechnikai tervezés. 1. rész: Általános szabályok. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2006.

Murinkó, G., Hídaléptítmény méretezése AXIS-programmal. Szakdolgozat. Széchenyi István Egyetem, Győr, 2009.

Palotás, B., Cölöpökkel gyamolított lemezalapot méretezése AXIS-programmal, különös tekintettel az ágyazási tényezőre. Diplomamunka. Széchenyi István Egyetem, Győr, 2009.

Poulos, H.G. (1991). Analysis of Piled Strip Foundations. *Comp. Methods & Advances in Geomechs.*, ed. Beer et al, Balkema, Rotterdam, 1: 183–191.

Poulos, H.G. (2000). Pile-Raft Interaction – Alternative Methods of Analysis. *Developments in Theor. Geomechanics*, Ed. D.W. Smith, & J.P. Carter, Balkema, Rotterdam, 445–468.

Poulos, H.G. (2001). Piled Raft Foundations – Design and Applications. *Geotechnique*, Vol. 50, (2): 95–113.

Poulos, H.G. and Davis, E.H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. Wiley, New York

Poulos, H.G., Carter, J.P and Small, J.C. (2001). Foundations and Retaining Structures – Research and Practice. State of the Art Lecture, 14 *Int. Cong. Soil Mechs. Geot. Eng., Istanbul*.

Poulos, H.G., (1991). Methods of analysis of piled raft foundations; Technical Committee TC18 on Piled Foundations

Radványi, L., Manninger, M., Gudlin, A., A kombinált alapok méretezése a Bohn Kft. és Kokopelli Kft. gyakorlatában. Szóbeli közlés. Budapest, 2009.

Randolph, M.F. (1983). Design of Piled Foundations. *Cambridge Univ. Eng. Dept.*, Res. Rep. Soils TR143.

Randolph, M.F. (1994). Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts. S.O.A. Report, 13. *ICSMFE*, New Delhi, 5: 61–82.

Szepesházi, R., Geotechnikai Példatár. I-II. kötet. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2004.

Szepesházi, R., A CFA-cölöpök hazai bevezetésének módszerei és tapasztalatai. Közlekedési és Mélyépítési Szemle, 51. évf. 5. szám, Budapest, 2001.

Szepesházi, R., A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei. Kutatási jelentés. Széchenyi István Egyetem, Győr, www.sze.hu/~szepesr, 2007/b.

Szepesházi, R., Geotechnikai tervezés. Tervezés az Eurocode 7 és a kapcsolódó európai geotechnikai szabványok alapján. Média Business. Budapest, 2008.

Varga, L., Rugalmas ágyazáson alapuló számításaink megbízhatósága. Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Tudományos Közleményei, XII. kötet 4. szám, 1966.

Viggiani, C. (1998). "Pile Groups and Piled Rafts Behaviour". *Deep Foundations on Bored and Auger Piles*, BAP III, van Impe and Haegman (eds), Balkema, Rotterdam, 77–90.

Wang, A. (1995). Private Communication. From PhD thesis, Univ. of Manchester, U.K.

## SUMMARY

### MODELLING OF COMBINATED PILE-PLATE FOUNDATION

Piled raft foundations provide an economical foundation option for circumstances where the performance of the raft alone does not satisfy the design requirements. Under these situations, the addition of a limited number of piles may improve the ultimate load capacity, the settlement and differential settlement performance and the required thickness of the raft. In this paper a parametric study on pile number, pile length and raft thickness on piled raft foundation behaviour are considered.

# A KARBON-SEMLEGESSÉGHEZ VEZETŐ UTAK

## LEADING ROADS TO CARBON-NEUTRALITY

I. BEN HAMADI

ROUTES / ROADS NO. 341. 2009. 1. P. 64–71. Á: 5, T: –, H: –.

A Nemzetközi Útügyi Szövetség (International Road Federation, IRF) elkötelezett a környezet védelmében és a klímaváltozás hatásainak mérséklésében. Az IRF kifejlesztett egy számítógépes döntéshozatali rendszert, amelynek használata segít a közúti infrastruktúra építése és használata során keletkező üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésében. A közúti projekteknél az építőanyagok és a technológiák megválasztása, valamint az építés és fenntartás folyamatainak alkalmazása egyaránt hatással bír az üvegházhatású gázok kibocsátására. A program figyelembe veszi az építési munkahely jellemzőit, a felhasznált építőanyagokat, az anyagszállítást és a kivitelezést végző gépek adatait mind az új építési, mind a fenntartási munkák során. Az input-output jellegű modellezés közvetlenül megadja az üveg-

házhatású gázok emisszióját. A számítások elvégezhetőek a vizsgált közúti infrastruktúra-elem teljes élettartamára, különböző scenáriók és eltérő építési technológiák figyelembevételével. Az IRF-tagok által összegyűjtött, a modellben felhasznált alapadatok között szerepel az emissziós források listája, az egyes források kibocsátási fajlagos mennyiségei, továbbá a szennyezésre vonatkozó szabványok, műszaki előírások. A döntés-segítő rendszer Excel formátumban működik, és megadja az üvegházhatású gázok kibocsátását, valamint kiszámítja a CO<sub>2</sub> karbonegyenértéket. A burkolatra vonatkozó modellezést követi a tervek szerint az úttartozékok, a hulladékkezelés és az újrahasznosítás elemeinek beépítése.

G. A.

# ÚJ FEJLŐDÉSI IRÁNY A VÉGES ELEMES GEOTECHNIKAI SZÁMÍTÁSOKBAN

SZILVÁGYI ZSOLT<sup>1</sup>

## 1. BEVEZETÉS

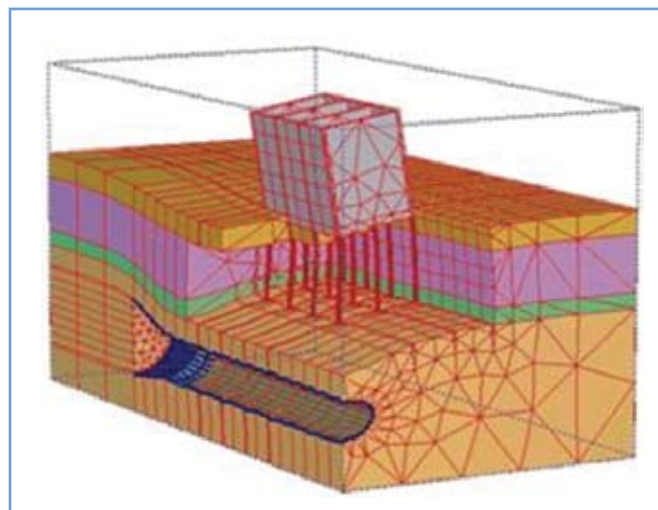
A széles körben elterjedt, klasszikus geotechnikai számítások mellett mindinkább teret kapnak az új, számítógépes eljárások. Ezek közül a gyakorlatban egyre többféle kalkulációra alkalmazzák a végeelem-módszeren alapuló programokat. A végeelem-módszer az építőmérnöki szakma több területén elterjedt, így pl. a magasépítési szerkezetek modellezésénél, vasbeton vagy acél-szerkezetek méretezésénél. A geotechnika területén a módszer azonban még újdonságnak számít. Ennek okait vizsgálva meg kell állapítanunk, hogy a talaj viselkedésének modellezése sokkal nagyobb kihívást jelent, mint a legtöbb esetben lineárisan rugalmasan viselkedő vasbeton vagy acél modellezése. Emellett komplex feladattá teszi a véges elemes geotechnikai vizsgálatokat a talajvíz hatása, mely nemcsak a feszültségszámítás módját befolyásolja, de egyúttal új problémakört vezet be, a konszolidáció, az időbeliség kérdését. A nemzetközi szakmai életben az utóbbi 10-15 évben jelentek meg először talajt is modellező véges elemes programok. Ezek közül az egyik első a hazai gyakorlatban mára leginkább elterjedt és nemzetközi szinten is igen ismert holland fejlesztésű Plaxis programcsomag volt, melynek moduljait áttekintve képet kaphatunk a módszer jelenlegi felhasználási területeiről.

## 2. A VÉGESELEM-MÓDSZER ALKALMAZÁSA A GEOTECHNIKÁBAN

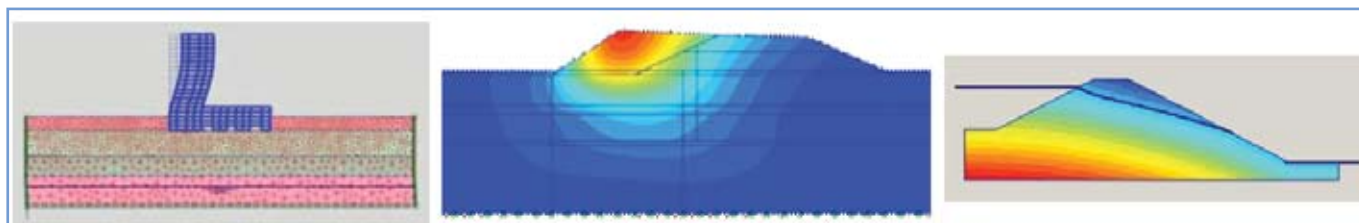
A véges elemes modellezés során célunk a talajok és épített szerkezetek viselkedését a lehető legpontosabban követni, azonban – mint minden mérnöki számításban – ennél a módszernél is alkalmaznunk kell reális és megalapozott egyszerűsítéseket. Számos geotechnikai kalkuláció kiindulási feltételezése a komplex feladat síkbeli esetre történő visszavezetése. A Plaxis moduljai közül is leggyakrabban a 2D számításokat végző alprogrammal találkozhatunk. Síkbeli számítások mellett a program tengelyszimmetrikus eseteket is képes kezelni. Széles körű modellezési lehetőségek állnak rendelkezésünkre: többek között megadhatunk építési fázisokat, figyelembe vehetjük a talajvízszint változásának vagy akár a talajvíz áramlásának hatását, modellezhetünk szerkezeteket és kölcsönhatásukat az altalajjal, valamint természetesen megadhatunk tetszőleges talajrétegződést is (1. ábra).

A végeelem-módszer könnyen kiterjeszhető térbeli vizsgálatokra is, ily módon a valóság pontosabb modellezése is lehetséges. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy ilyen esetekben a geometria és a számítás lépéseinek bevitele, valamint az eredmények kiértékelése sokszor nehezebb, időigényesebb. A jelenleg elérhető Plaxis 3D Foundation és 3D Tunnel programok lehetőséget kínálnak többek között munkatér-határolások, alapozási szerkezetek és alagutak háromdimenziós vizsgálatára is (2. ábra).

A módszer egyik nagy előnye a klasszikus geotechnikai számítási eljárásokkal szemben, hogy a végeelem-módszer esetében egy modellbe építünk be minden ismert adatot és ezen a modellen többféle számítást is végezhetünk. Folytathatunk statikus számításokat, melyek során a talajban fellépő feszültségeket vagy alakváltozásokat keressük; végezhetünk állékonyágvizsgálatokat; meghatározhatunk igénybevételeket meglévő vagy tervezett mélyépítési szerkezetekben. Mindezen számítások során figyelembe tudjuk venni a konszolidációt, a dinamikus hatásokat (pl. földrendés), valamint a talajvíz hatását is.



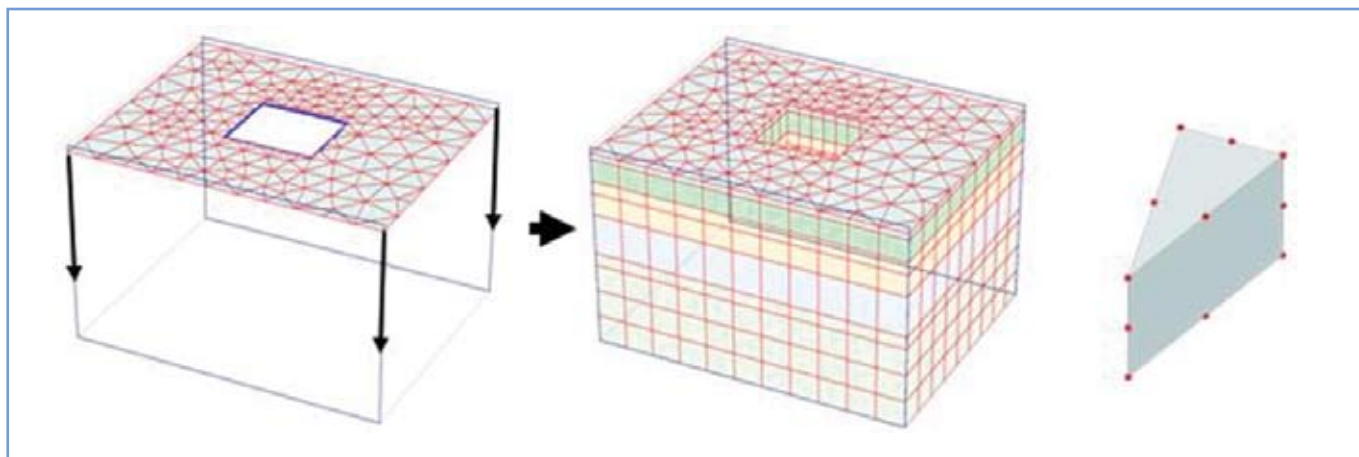
2. ábra: Komplex háromdimenziós modell



1. ábra: Kétdimenziós végeelemes modellek

<sup>1</sup> Okleveles építőmérnök, Unitef '83 Zrt.; e.mail: szilvagyzsolt@gmail.com





3. ábra: Az ún. 2,5D modellalkotás menete és a létrejövő ék alakú elem

### 3. A MÓDSZER JELENLEGI KORLÁTAI

Ahogy minden számítási eljárásnak, a végelem-módszernek is vannak alapfeltevései, valamint hátrányai, amelyek a gyakorlati életben való használhatóságot korlátozzák. A módszer geotechnikai alkalmazásának korlátait keresve ki kell térnünk az anyagmodellek kérdésére, a számítógépek teljesítményére, a háromdimenziós modellezési megszorításokra és meg kell jegyeznünk, hogy a végelem-módszer jelenlegi formájában csak a kis elmozdulások elméletén belül érvényes.

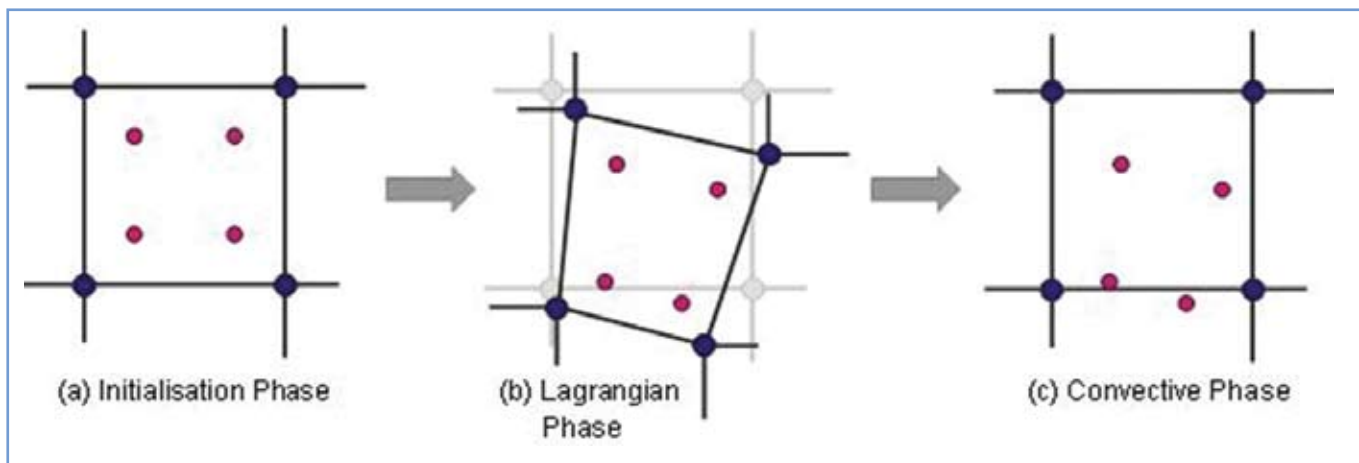
Talán a legfontosabb problémakör az anyagmodellek helyes megválasztása. A jelenleg elérhető anyagmodellek közül a gyakorlatban legtöbbször csak az egyszerűbb modellek (lineárisan rugalmas, Mohr–Coulomb, Hardening Soil) kerülnek felhasználásra. Az igényes elméleti alapokra fektetett bonyolultabb anyagmodellek használhatóságát jelentősen korlátozzák ugyanis az esetenként túl sokféle és sokszor fizikai jelentés nélküli modellparaméterek. Ezeknek a felvétele jelentősen befolyásolhatja a számítás eredményeit, meghatározásukra azonban sokszor nincs mód. Kompromisszumos megoldásként tehát az egyszerűbb anyagmodell felé fordulunk, pedig sokszor a túlegyszerűsített modell a valós viselkedést meg sem közelíti.

A végelem-módszer elméleti alapjait már 1950 körül lefektették, gyakorlati alkalmazásukat viszont csak az elmúlt 15-20

évben végbement ugrásszerű számítástechnikai fejlődés tette lehetővé. A számítógépeink kapacitása azonban még a mai napig is korlátként jelenik meg a mindennapi felhasználás előtt, főleg komplex háromdimenziós modellek esetén. A végelem háló sűrűségének növelésével, vagyis a modellben lévő véges-elemek számának növelésével pontosabb eredményt kaphatunk ugyan, azonban egyúttal a számítógépes teljesítményigény is nagyobb lesz, egy-egy számítás sokkal tovább tart, esetenként nem is futtatható.

A térbeli modellezés másik nagy korlátozó tényezője a geometria bevitelének nehézsége. A piacon elérhető mindkét háromdimenziós Plaxis szoftver (Plaxis 3D Foundation és Tunnel) nagy hátránya, hogy nem valódi 3D, csak ún. 2,5D modellezést tesznek lehetővé, hiszen egy 2D síkbeli geometria harmadik irányú kiterjesztésével dolgoznak (3. ábra). Ebből adódóan a háromdimenziós modell térbeli véges elemei ék alakú elemek lesznek, melyek alkalmatlanok összetettebb geometriájú, ferde felületekkel vagy akár görbe felületekkel határolt problémák modellezésére.

Megemlítendő továbbá, hogy a kapcsolat más tervezési fázisokhoz nem teljesen megoldott, jellemzően a felszerkezet méretezésénél az altalaj viselkedését vesszük durva közelítésekkel figyelembe, a geotechnikai vizsgálatoknál pedig a szerkezeteket egyszerűsítjük le sokszor túlzottan.



4. ábra: Az MPM módszer három számítási fázisa

#### 4. FEJLŐDÉSI IRÁNYOK

Az előző pontban említett korlátok egyben lehetséges fejlődési irányokat is jelentenek, a legtöbb kutatás az említett problémák megoldására irányul. Így a Plaxisnál is folyamatos fejlődés és tesztelés alatt állnak az anyagmodellek; egyik legfontosabb célkitűzés a „parallel computing” bevezetése, azaz a korszerű többmagos processzorok teljesítményének kihasználása, ezzel csökkentve a számítási időket; valamint megjelenés előtt áll egy új generációs 3D-program, mely CAD-jellegű szerkesztő funkcióival lényegesen megkönnyíti a térbeli számítások adatbevitelét és ék alakú végelemek helyett tetraéderes, valódi 3D-hálóval számol.

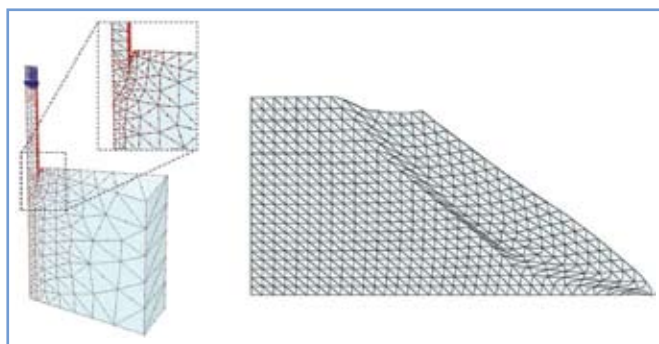
Mindezek mellett egy új fejlődési irány is elindítottak, egy nemzetközi kutatás keretében az MPM-módszert fejlesztik, mely a végelem módszer kiterjesztésén alapul és nagy elmozdulások modellezésére is alkalmas.

#### 5. MATERIAL POINT METHOD

A Material Point Method-ot (MPM) több nemzetközi cég és több egyetem együttműködésének keretében fejlesztik, diplomamunkám során a Stuttgarteri Egyetem Geotechnika Tanszékén (IGS) volt lehetőségem bekapcsolódnom a kutatásba.

Az MPM-módszer a végelem-módszer Lagrange-féle leírás-módját Euler-féle leírasmóddal egészíti ki, a tér végelem-háló diszkretizációja mellett egy második tagolást is bevezet, ún. Material Point-ok alkalmazásával. A módszer alapelve a háló számítási lépcsőnként történő frissítése, azaz deformálatlan állapotba történő visszaállítása.

A 4. ábrán a kék színnel ábrázolt csomópontok közötti élek határoznak egy véges elemet, pirossal pedig az elemek belüli elhelyezett Material Point-okat látjuk. Ezek a belső pontok képviselik az elem egy-egy részterületét (vagy részterefogatát három dimenzió esetén), az összes változót ezekhez a pontokhoz rendelik hozzá és nem a véges elem csomópontjaihoz. Egy inkrementális számítási lépcsőn belül az első fázisban a végelem-módszerhez hasonlóan a megadott külső terheket redukáljuk és csomóponti terhekké alakítjuk, majd ezekből az egyes elemek deformációit. A második fázisban kiszámítjuk a csomópontok és Material Point-ok elmozdulásait, majd ezekből az egyes elemek deformációit. A harmadik fázisban pedig a végelem-módszertől eltérő módon a hálót visszaállítjuk eredeti, deformálatlan állapotába és eredeti pozíciójába, a Material Point-ok azonban az elmozdult pozíciójukban maradnak. Ezáltal kiküszöbölhető a végelem-háló túlzott mértékű torzulása, mely a tulajdonképpeni korlát volt a kis elmozdulások elméletéből való kilépés előtt. Az 5. ábra két

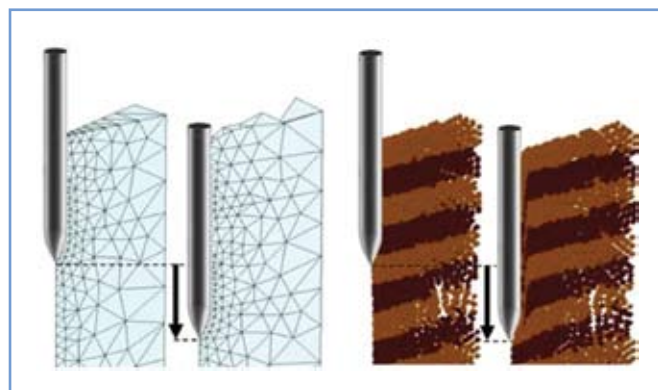


5. ábra: Torzult háló végelem módszer esetén

példát mutat ilyen túl nagy deformációk miatti torzult hálóra végelem-módszer esetén. A jobb oldali modell egy részü két-dimenziós állékonyságvizsgálatára készült, a bal oldali ábra pedig egy térbeli számítás, egy szonda talajba hatolásának tengelyszimmetrikus modelljét mutatja.

Míg a végelem-módszer ilyen mértékű deformációk, hálótorzulás esetén képtelen tovább számolni, az MPM módszer a Material Point-ok segítségével további elmozdulásokat is figyelembe tud venni. Az alábbiakban röviden bemutatok egy példát a módszer alkalmazására.

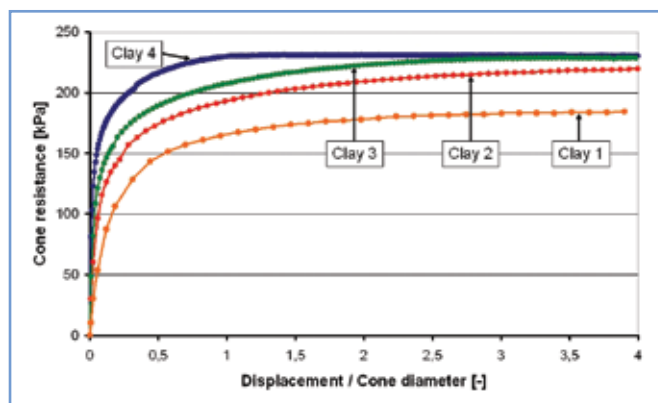
Diplomamunkám részeként egy CPT-szonda lehajtásának a modellezését végeztem el MPM-módszerrel. Egy szonda lehajtása nyilvánvalóan nagy deformációkat okoz a talajban, végelem módszerrel kb. 0,2D elmozdulásig lehet modellezni a problémát (ahol D a szonda átmérője), míg az MPM-módszerrel nincs elvi korlátja a penetráció további modellezésének.



6. ábra: CPT-szonda lehajtásának modellezése

A szonda lehajtása tengelyszimmetrikus probléma, így a számítási időt csökkentendő a háromdimenziós probléma egy szektora került modellezésre. A 6. ábrán bal oldalt látható az alkalmazott végelem háló egy részlete kezdeti állapotban, majd mellette a szonda 4D mélységig történő lehajtása utáni állapotban. A jobb oldali ábrák a végelem-hálón belüli Material Point-ok helyzetét mutatják.

A számítások segítségével vizsgálható a talajfizikai paraméterek hatása a csúcsellenállásra és köpenysúrlódásra. A 7. ábrán például homogén talajrétegződés mellett, különböző merevségű területű agyagokra végzett számítások csúcsellenállás-elmozdulás-diagramjai láthatóak.



7. ábra: Csúcsellenállás-elmozdulás-diagramok

Az MPM-módszer segítségével sok új, érdekes geotechnikai probléma kerülhet modellezésre, többek között például nagy rézsúcsúszások, cölöpök leverése vagy szondák lehajtása.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A végeelem-módszer egyre több geotechnikai feladat gyakorlati modellezésére alkalmas, azonban korlátain végigtekintve megállapítható, hogy folyamatos fejlesztésre van szüksége. A módszer egyik új fejlődési iránya az MPM-módszer, melynek kutatása és tesztelése már megkezdődött, remélhetőleg a közeljövőben elérhető lesz mindenki számára és így a geotechnikában oly gyakran előforduló nagy elmozdulások vizsgálata is lehetővé válik.

## IRODALOMJEGYZÉK

L. Beuth, T. Benz, P.A. Vermeer, C.J. Coetzee, P. Bonnier, P. Van Den Berg: *Formulation and validation of a Quasi-Static Material Point Method* (2007, Proceedings of the International Symposium on Numerical Methods in Geomechanics, Rhodes, Greece)

P.A. Vermeer, L. Beuth, T. Benz: *A quasi-static method for large deformation problems in Geomechanics* (2008, Proceedings of the 12th International Conference of IACMAG, Goa, India)

Szilvágyi Zs.: *Numerical analysis of pile installation* (2009.04, Institut für Geotechnik, Stuttgart, diplomamunka)

## SUMMARY

### NEW DEVELOPMENT IN GEOTECHNICAL NUMERICAL MODELLING

The Finite Element Method is being used more and more for practical Geotechnical modelling, although when considering its current restrictions, the need of constant development can easily be recognized. One of the many development directions is the Material Point Method, which is based on the FEM and can be used for large deformation calculations as well. The paper gives an insight into the basics of the method and shows its application for a complex geotechnical problem.

# KÖZHASZNÚ KONCESSZIÓK A GYORS-FORGALMI UTAK FENNTARTÁSÁRA ÉS ÜZEMELTETÉSÉRE SPANYOLORSZÁGBAN

## PUBLIC WORKS CONCESSIONS FOR THE MAINTENANCE AND OPERATIONS OF HIGHWAYS IN SPAIN

Á. J. SANCHEZ

ROUTES / ROADS NO. 341. 2009. 1. P. 38–47. Á: –, T:–, H:–.

Spanyolországban az 1980-as években épült gyorsforgalmi utak nem feleltek meg a korszerű követelményeknek, ezért nagyszabású felújítási-fenntartási programot hirdettek meg. A koncessziós keretek közt végrehajtható program első része az átépítés-felújítás, második része a 19 éves koncessziós időszakra szóló fenntartási nagy beavatkozások, harmadik része a rutin fenntartás és üzemeltetés. A koncessziós díj-számítás alapja a forgalom nagyságától és annak becsült növekedésétől függő virtuális útdíj. A koncessziós szerződések megfelelnek az EU állami-magán együttműködésre (public-private partnership) vonatkozó előírásainak. A programban szereplő 1515 km gyorsforgalmi útból 2007-ben tíz részletben szerződést kötöttek 994 km-re, a további hat szakasz szerződéskötését 2009 végére tervezték. A második ütemben előirányzott 572 km hosszúságú gyorsforgalmi hálózatrésszel együtt a becsült bekerülési összeg meghaladja a 3 milliárd eurót. Az építési fázisban szigorú határidőket jelöltek meg: új létesítményekre 29 hónap, felújítási munkákra 17 hónap a szerződéskötéstől számítva. A nagy

léptékű fenntartási beavatkozások a teljesítménymutatók (pl. csúszás-ellenállás) alakulásától függenek, és legalább egy hónappal a beavatkozás előtt jóváhagyást igényelnek. A teljesítménymutatók rendszere az üzemeltetés és a rutin fenntartás mutatóival együtt összesen 42 szolgáltatásminőségi és útállapot-jellemzőből áll. A teljesítménymutatókat havonta értékelik, és a megfelelőségtől függően állapítják meg a kifizetendő rendelkezésre állási díjat. A forgalombiztonsággal összefüggő mutatók nem megfelelősége esetén a kijavítást adott határidőn belül kell elvégezni. A felelőségek és a kockázatok többsége a koncessziós vállalkozót terheli, azonban a teljes jogi feltételrendszer meglehetősen bonyolult, és kiterjed a futamidőn belüli esetleges módosítások kezelésére is. A legfontosabb szempont a pénzügyi egyensúly megtartása. Fontos szempont, hogy a rutin fenntartás és üzemeltetés nem adható alvállalkozásba, ezeket a munkákat a koncessziós vállalkozó saját erőforrásaival teljesíti.

G. A.

# A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A KÖZLEKEDÉSI INFRASTRUKTÚRÁRA

HUNYADI DÓRA<sup>1</sup>

## ELŐSZÓ

Jelen cikk az Útügyi Világszövetség<sup>2</sup> A1-es, „A környezet megővése” elnevezésű munkabizottság alakuló ülésén 2008. márciusban, Párizsban, valamint a 2008. októberben, Glasgow-ban megtartott ülésén elhangzott előadások alapján készült [2][3]. A munkabizottság célja a nemzetközi éghajlatváltozást figyelembe vevő stratégiák áttekintése, különös tekintettel azokra, amelyek a klímaváltozást és a közlekedési infrastruktúra kapcsolatát együttesen és összehangoltan vizsgálják.

## 1. BEVEZETÉS

A fenntartható fejlődésről, a klímaváltozásról szinte minden nap hall az ember a médián keresztül. Azonban talán kevesebben tudják, hogy a klímaváltozást, a fenntartható fejlődést és a közlekedési infrastruktúra kapcsolatát már néhány országban közel egy évtizede vizsgálják. A fenntartható fejlődés megfogalmazása először az ENSZ 1987-es Brundtland-jelentésében szerepelt, miszerint olyan fejlődési folyamatról van szó, amely „kielégíti a jelen igényeit anélkül, hogy csökkentené a jövőendő generációk képességét, hogy kielégítsék a saját igényeiket”. Ha a fenntartható fejlődés fogalmát szeretnénk a közlekedési infrastruktúrára alkalmazni, akkor azt mondhatnánk, hogy olyan közlekedési létesítmények megépítése és üzemeltetése a cél, amely maximálisan törekszik a környezet megővéására. De hogyan is lehetséges ökológiailag fenntartható utat építeni? Másfelől mit jelent a klímaváltozás hatása a közlekedési létesítményekre? Jelen cikk e két kérdésre próbál válasszal szolgálni, néhány gondolat és példa segítségével.

## 2. ÖKOLÓGIAILAG FENNTARTHATÓ ÚTÉPÍTÉS

A „lifetime engineering”, vagyis az élettartam-mérnöki tudomány fogalmát az 1980-as években egy finn professzor vezette be a köztudatba; azóta már számos ország átvette és eredményesen alkalmazza [1]. Az élettartam-mérnöki tudomány elve szerint a beruházás hatásainak vizsgálata nem csupán gazdasági, hanem társadalmi és környezeti kérdésekre is kiterjed. Az élettartam-mérnöki szemlélet talán egyik legnagyobb érdeme, hogy a létesítmény-életciklus végén a hulladékképződés deponálásának kérdését is felöleli. Habár maga a mérnöki műtárgy 50–100 éves élettartamú, mégis a rendszeres felújítási munkálatok ennél gyakrabban fordulnak elő. A felújítási munkálatok során keletkezett hulladékanyag (pl.: teljes burkolatcsere esetén) esetleges újrahasznosításáról vagy deponálásáról gondoskodni kell. Az úttervezés hagyományos értelmezése, ahol a műszaki megfelelésen túl nem vizsgáltak mást, mára már szerencsére kiveszöbben van a köztudatból. A modernkori úttervezés értelmezése szerint a tervezéskor a fenntartható fejlődés alapelvét is figyelembe kell venni. A környezet tudatos utépítés felfogása szerint kizárólag olyan technológiát, anyagokat szabad az utépítés, illetve a műtárgy életciklusa során alkalmazni, amelyek ökológiai lábnyoma

minimális. A közlekedési műtárgyak környezetkárosító és környezetszennyező hatásai szintén a „lifetime engineering” szemlélet részét képezik. A modernkori tervezésnek már sokkal szélesebb igényeknek és elvárásoknak kell megfelelnie. Az egyes alternatív tervek között, a megrendelői és a használói elégedettség, a költségoptimumra való törekvés, a műszaki kívánalmaknak való megfelelés mind az élettartam-mérnöki tudomány részét képezik. Az élettartam-mérnöki szemlélet átfogó, rendszerben való gondolkodást igényel, ami a kérdéses projekten messze túlmutat. Az életciklus-tervezés tárgykörébe tartozik a jelenlegi és a jövőbeni forgalmi igényeknek való megfelelés, a pénzügyi tervezés, a társadalmi igények és elvárások kielégítése, valamint a komplex környezeti tervezés.

A komplex környezeti tervezés ma már szinte akkora jelentőséggel bír, mint maga a műszaki tartalom. A közlekedési beruházások egyik sajátossága, hogy a kivitelezési, fenntartási és üzemeltetési időszakokban más és más típusú, illetve más nagyságrendű környezeti terheléssel kell számolni. A környezeti károk felmérése és prognosztizálása, az ökológiai károk csökkentése komoly mérnöki feladat. Ma már szinte minden újonnan létesülő vonalas létesítmény mellett zaj- és madárvédő falakat helyeznek el, ügyelnek a szétdarabolt területek újraegyesítésére vadátjárók – vagy tájtjárók – építésével. Kanadában például még arra is ügyelnek, hogy az infrastruktúra építése során az anyagfelhasználás, az anyagválasztás, az építőanyagok szállítási módjának megválasztása az ökológiai lábnyom mérlege alapján történik.

## 3. A MEGVÁLTOZOTT IDŐJÁRÁSI VISZONYOK ÉS AZOK KÖVETKEZMÉNYEI

A közlekedés és a közlekedési infrastruktúra a gazdasági élet kulcsa. Az áru- és személyszállítás közúton, vasúton, vízi úton, légi úton vagy különféle csővezetéseken keresztül történik. Mindezeket túl a közlekedési infrastruktúra jelentős nemzeti vagyont képvisel, amelyet akár csak szinten tartani is komoly áldozatot jelent a gazdaság számára.

A klímaváltozás ma már vitathatatlan tény. A megváltozott időjárási viszonyok némely térségeket kevésbé, némelyeket nagyobb mértékben érintenek. Elegendő csak az elmúlt évek időjárási katasztrófáira gondolni; a szélsőséges időjárási viszonyok, a hirtelen nagy esőzések, a perzselő melegek, a kibírhatatlan hőségek, az áradások és még sorolhatnánk. De vajon hogyan jelentkeznek eme időjárási katasztrófák az utépítés, illetve az útfenntartás területén? A téma tárgyalásához néhány külföldi példát szeretnék ismertetni.

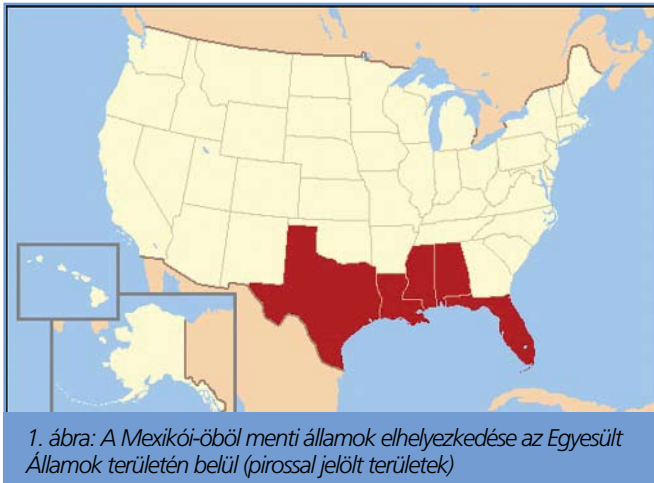
### 3.1. EGY EGYESÜLT ÁLLAMOKBELI PÉLDA

A kutatás során a Mexikói-öböl térségének egy részét vizsgálták (1. ábra), amely négy államot foglal magába, mintegy 48 partmenti megyével, amelyek közel tízmillió ember lakhelyeül szol-

<sup>1</sup> Okl. építőmérnök, egyetemi tanársegéd, BME Út és Vasútépítési Tanszék, a PIARC A.1.-es „A környezet megővése” munkacsoport magyarországi delegáltja

<sup>2</sup> Útügyi Világszövetség, nemzetközi rövidítései PIARC vagy AIPCR





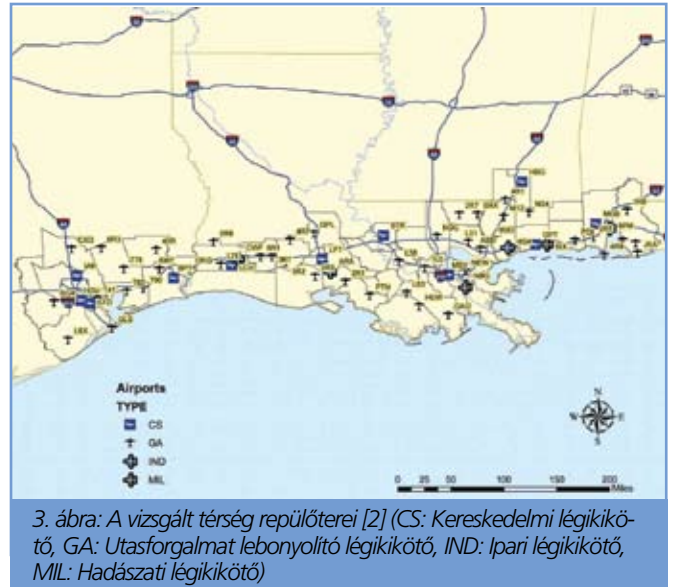
1. ábra: A Mexikói-öböl menti államok elhelyezkedése az Egyesült Államok területén belül (pirossal jelölt területek)

gálnak [2]. A térség tengerszint feletti átlagos magassága 30 m, aminek köszönhetően a térség az időjárás szélsőségeinek fokozottan ki van téve. A vizsgált területnek a part menti szigetek szolgálnak természetes védgátul, azonban a Katrina hurrikán idején, a New Orleans állam védgátjával szolgáló Chandeleur-sziget területének mintegy 85%-a eltűnt a szökőárban.

A Mexikói-öböl robusztus közlekedési hálózattal rendelkezik, amelyben mindegyik közlekedési mód kiemelt szereppel rendelkezik. A Mexikói-öböl nemcsak közlekedési funkcióját tekintve nélkülözhetetlen szerves része az amerikai hálózatnak, hanem jelentős gazdasági-társadalmi szereppel is rendelkezik. Íme, erre vonatkozóan néhány adat. A terület 27 ezer km főúthálózattal rendelkezik, ami az Egyesült Államok főúthálózatának 2%-át jelenti, éves szinten csaknem 134 milliárd járműkilométer forgalom bonyolódik le rajta (2. ábra). Az Egyesült Államok olajimportjának közel kétharmada a területen keresztül halad az ország északi területei felé, és itt haladnak el a földgázfogyasztás közel felét szállító vezetékek is. Az érintett terület nélkülözhetetlen kikötőkkel rendelkezik, itt zajlik le a tengeri áruszállítás közel 40%-a, négy nagy konténerkikötő található a térségben, jelentős személyszállítás bonyolódik le, a kikötőkön keresztül vezet a kőolaj és a mezőgazdasági termények útja. A térségen áthaladó belföldi hajózási útvonalak húsz amerikai állammal kötik össze a Mexikói-öblöt. 61 repülőtér van, közülük 11 kereskedelmi funkciót lát el; a repülőtereken éves szinten mintegy 3,4 millió le- és felszállás történik (3. ábra). A Mexikói-öböl tehát mind gazdasági, mind stratégiai, mind társadalmi szinten is kulcsfontosságú az Egyesült Államok vékeringésében, így tehát érthető, hogy a Mexikói-öböl érintő klímaváltozás milyen súlyos károkat jelent(het).



2. ábra: A Mexikói-öböl vizsgált területén található főúthálózat



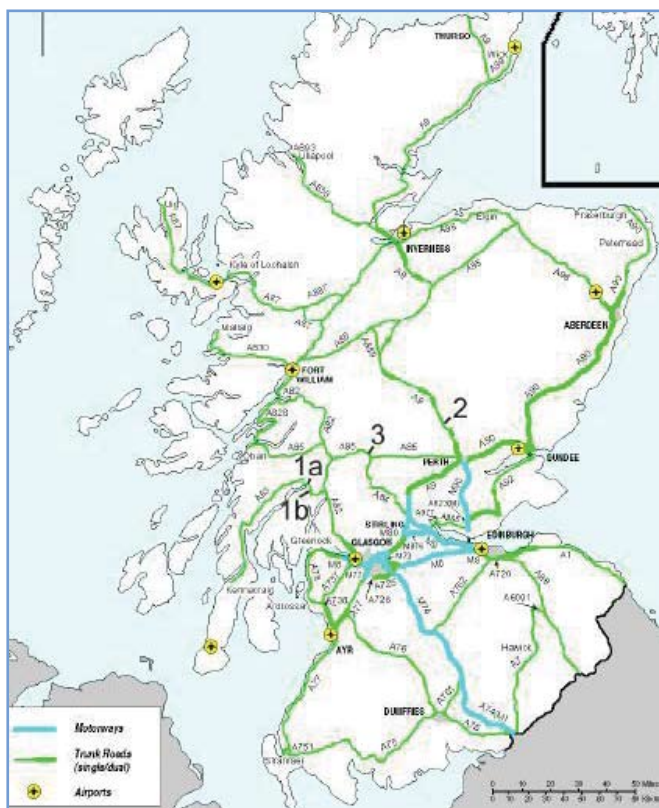
3. ábra: A vizsgált térség repülőterei [2] (CS: Kereskedelmi légitársaság, GA: Utasforgalmat lebonyolító légitársaság, IND: Ipari légitársaság, MIL: Hadászati légitársaság)

A Mexikói-öbölben a klímaváltozásnak négy jelét tapasztalták a kutatók: a) a hőmérséklet emelkedése, b) a csapadék intenzitásának és gyakoriságának megváltozása, c) a tenger vízszintjének emelkedése, d) a szélviharok erősségének és gyakoriságának megváltozása. Az előzőekben említett négy tényező megváltozásának mértékét semmiképpen se lehet már elhanyagolni, így azokat a közlekedéssel és a közlekedési infrastruktúrával foglalkozó döntéshozók igyekeznek beépíteni a döntési folyamataikba. De vajon hogyan érinti a négy felsorolt éghajlat-változási elem a közlekedési hálózatot és magát a közlekedést? A Mexikói-öbölben a kutatók kb.  $1,5 \pm 1$  °C emelkedést várnak az elkövetkezendő ötven évben. A megnövekedett hőmérséklet hatására a mai felhasznált anyagok és technológiai eljárások gyorsabb ütemben mennek majd tönkre, kevésbé tudják a szélsőséges hőingadozásokat elviselni. A vasútépítés területén gyakoribbak lesznek a sínkivetődések, a kikötőkben levő hűtőházak nagyobb mértékű hűtést fognak igényelni, akadozhat majd a légi forgalom is. A csapadék intenzitásának változása gyakoribb árvizeket okozhat a jövőben, a meglévő csapadékvíz-elvezető hálózatok nem lesznek képesek, vagy már most sem képesek a hirtelen nagy mennyiségben lezúduló csapadékvizet elvezetni. Az áradások időtartama meghosszabbodott, ezáltal a jövőben akadozhat a közlekedés, de az útépítési és vasútépítési károk is jelentősebbek lehetnek. A hőmérséklet emelkedése tehát minden közlekedési módot érinteni fog az építés, a fenntartás és az üzemeltetés területén is. A tengerszintjének emelkedését 61 cm és 122 cm közötti esetekben vizsgálták, vagyis a kutatások mai állása szerint ekkora mértékű lehet a légkör megnövekedett hőmérsékletéből adódó tengerszint-emelkedés. A két eset a pesszimista, valamint az optimista forgatókönyv szerinti számítások eredménye. A szimulációs modellek eredményeként elmondható, hogy 122 cm-es tengerszint-emelkedés esetében a főutak 27%-a, a vasútvonalak 9%-a, míg a kikötők 72%-a kerül(ne) majd víz alá. A szélviharerősség változásának első jele, hogy a szökőárhullámok elérhetik az 5,5–7 m-es magasságot is. Egy 7 m-es szökőárhullám esetében a főutak és a vasútvonalak közel fele, 29 repülőtér és közel az összes kikötő tengerszint alá kerül(ne). Ha mindezeket az adatokat és feltételezéseket figyelembe vesszük, akkor érthető a térség vezetőinek aggodalma. A Mexikói-öbölben, ahogyan a világ többi részén is, jelentős és mai szemmel úgy tűnik visszafordíthatatlan éghajlatváltozást figyelhetünk meg.

### 3.2. EGY SKÓT PÉLDA

A második eset a klímaváltozás lehetséges hatásait ismerteti Skóciában [3]. Skóciában 2004-ben addig soha nem látott méretű esőzések voltak, amik hatalmas földcsuszamlásokhoz vezettek. 2004 augusztusában, rövid idő alatt, a megszokott csapadékmennyiség közel háromszorosa esett le. A földcsuszamlások következtében az úthálózaton jelentős károk keletkeztek, a sár-tenger által elsodort embereket csak helikopterek segítségével tudták kimenteni. Az érintett szakaszok az A83-as autópálya Glen Kinglas és Cairndow közötti szakasza, az A9-es autópálya Dunkeldnél, valamint az A85-ös autópálya Glen Ogle-nál (4. ábra). Az A85-ös autópálya mintegy 5600 jármű/nap forgalmat bonyolít le, ezt a szakaszt négy napra kellett a földcsuszamlások miatt lezárni; az A83-as autópálya 5000 jármű/nap forgalmat bonyolít le, és hasonló okok miatt két teljes napra kellett lezárni; az A9-es autópálya 13 500 jármű/nap forgalmat bonyolít le és a két napig tartó lezárás után is csak a fél pályát nyitották meg a forgalomnak. A súlyos esőzéseket és földcsuszamlásokat követően egy tanulmány készült, amely a skót vidék klímaváltozását vizsgálta, illetve annak hatását az infrastrukturális létesítményekre (5. ábra).

A skót kutatók, hasonlóan az amerikaiakhoz, azonosították azokat az éghajlati elemeket, amelyekben az utóbbi évtizedekben jelentős változások történtek [4]. A vizsgálat során megállapították, hogy Anglia középső részén a hőmérséklet majd 1 °C-kal emelkedett. A kutatók a csapadék mennyiségében és intenzitásában is változásokat tapasztaltak, aminek következtében számos felszíni vízelvezető rendszer már nem képes funkcióját ellátni, az áradások száma megnövekedett, az átereszek keresztmetszete már nem elegendő. A százéves gyakoriságú árvízre történő méretezés a tapasztalatok szerint ma már nem elegendő, hiszen



4. ábra: Az érintett autópálya-szakaszok (1a, 1b: A83-as autópálya, 2: A9-es autópálya, 3: A 85-ös autópálya, forrás: <http://www.scotland.gov.uk>)

ennél lényegesebben gyakrabban fordulnak elő extrém méretű árvizek. A nagy esőzések nem csak a mérnököket teszik próbára, de a közút használóit is. A hirtelen feltámadt szélvihar vagy a monszun jellegű esőzések hatására a látótávolság lecsökken (akár meg is szűnhet!), a gépjármű gumijának a tapadóképessége leromlik. Az előzőekben említett két tényező következtében a balesetek kialakulásának valószínűsége lényegesen megnő, ami anyagi károkat, emberi sérülést, többlet felújítási munkát, üzemeltetési többletköltséget jelent. A hirtelen lezúduló, nagy mennyiségű csapadék okozta a 2004 augusztusában keletkezett földcsuszamlásokat is.

Az úthálózat üzemeltetését nehezítő időjárási elem továbbá a hó és a jég. Az útpályára leesett havat el kell távolítani, valamint a jégképződést meg kell akadályozni, ellenkező esetben az útpályán felhalmozódó hó és az esetlegesen kialakult jégréteg veszélyezteti a közlekedés biztonságát, illetve balesetek kialakulásához vezethet. A kutatások szerint az elmúlt évtizedekben, Skóciában a hősésses napok száma csökkent, és várhatóan a globális felmelegedés hatására még további csökkenés várható.

A szél az úttartozékok (közvilágítási lámpa, hirdetőoszlop, jelzőtábla, jelzőlámpa, PMS táblák, portálok, forgalomfigyelő kamerák stb.), a zajárnyékoló létesítmények és a hidak egyik nagy ellensége. Ezen úttartozékok és létesítmények tervezésénél tehát szintén figyelembe kell venni az időjárási viszonyok megváltozását, ami az anyagválasztásban, a tartósságban, az elemek méreteiben, valamint a műszaki kivitelezési módban nyilvánulhat meg. A köd gyakoriságának változásában és a skót partok menti áradásokban a klímaváltozás hatása egyértelműen nem mutatható ki, mivel az adatgyűjtés a két elemet érintően még csak nemrégiben kezdődött el. A rendelkezésre álló adathalmaz alapján hosszú távú következtetéseket felelőtlenség lenne levonni.

A skót kutatók szimulációs számítások és modellek segítségével 2020-ra és 2080-ra vonatkozó becsléseket végeztek Aviemore térségre (Skóciában található, Glasgow-tól északkelet irányban). A szimuláció szerint 2020-ra a téli időszakban a fagyponnalatti napok száma 15%-kal fog csökkenni, tehát átlagban 46 ilyen nap lesz. 2080-ra azonban várhatóan a téli időszakban a fagyponnalatti napok száma összesen 33%-kal csökkenni fog, ami azt jelentené, hogy ha egy 90 napos téli időszakot tekintünk, akkor amíg ma a fagyponnalatti napok száma 54 nap, addig 2080-ra ez várhatóan már csak 36 nap lenne. Glasgow térségében



5. ábra: A 2004 augusztusában lehullott csapadék következtében lecsúszott hegyoldalak az A 9-es és az A 85-ös autópályákon (forrás: <http://www.scotland.gov.uk>)

2020-ra várhatóan 23%-kal csökken majd a fagyos napok száma (= 31 nap), míg 2080-ra már a mai viszonyokhoz képest is közel a felére csökken a 0 °C alatti napok száma (= 20 nap). 2080-ra mind a két vizsgált térségben várható lesz, hogy a 30 °C hőmérsékletet meghaladó napok száma több lesz, sőt előfordulhat olykor, hogy a hőmérséklet meghaladja majd a 40 °C-ot is. 2020-ra vonatkozó számítások szerint az évente előforduló viharok számának és erősségének enyhe növekedése várható, kb. 1-2 viharal lesz több, amelyek 15–60 perc lefolyásúak lesznek. 2080-ra várhatóan azonban már minden évszakban megnövekszik majd a viharok száma és erőssége is, ami kb. 2-3 vihart fog éves szinten jelenteni, amik 15–60 perc hosszúságúak lesznek. Ezzel szemben a nyári időszakban, a viharok erősségének enyhe csökkenése várható. A modell alapján a felszíni vizek szintjének változását nem lehet meghatározni, azonban ha azt tekintjük, hogy a csapadék mennyiségének növekedése várható, akkor feltehetően a felszíni vizek szintje is emelkedni fog, de ez a következtetés csupán feltételezéseken alapul. A talaj víztartalma 2080-ra várhatóan 3–5%-kal lesz nagyobb a téli időszakban, mint napjainkban; ellenben a nyári és az őszi időszakra 10-30%-os csökkenés várható. 2020-ra vetítve a távoli 2080-as előrejelzéshez képest csak lényegesen enyhébb változások várhatók. 2020-ra várhatóan Skócia egész területén közel 20–40%-kal fog csökkenni a havazások száma, míg hosszabb távú előrejelzést tekintve 2080-ra 50-90 %-os csökkenés várható. A hóesések számának változása Skócia déli területein jelentősebb mértékű lesz, míg északon valamivel enyhébb. 2020-ra várhatóan a téli időszakban a ködös napok száma 9%-kal fog csökkenni, 2080-ra már 20%-os csökkenés várható. 2080-ra a tengervíz szintjének 7-26 cm-es emelkedése várható. Ha minden időjárási elem változásának együttes legrosszabb esetét vesszük figyelembe, akkor ez a növekedés akár a 60 cm-t is elérheti. 2020-ra várhatóan csupán 3–12 cm-rel fog emelkedni a tengervíz szintje, a pesszimista forgatókönyvet feltételezve ez akár 25 cm is lehet.

Noha az előzőekben ismertetett eredmények pontossága és megbízhatósága nagyon függ a rendelkezésre álló adatok mennyiségétől és minőségétől, valamint az alkalmazott modelltől, jól látható, hogy az időjárási viszonyok átalakulása minden időjárási elemben változást fog eredményezni. Összességében a hőmérséklet növekedése, ezáltal a vízszintek emelkedése várható, valamint egyre szélsőségesebb időjárási viszonyokkal kell majd számolni.

#### 4. A KLÍMAVÁLTOZÁSRA FEL KELL KÉSZÜLNI

Az előző két példán keresztül szerettem volna bemutatni, hogy a klímaváltozásnak jelentős társadalmi- és gazdasági hatásai vannak. Jól látható, hogy a klímaváltozás hatásai földrajzi elhelyezkedéstől függetlenek. De nem kell messzire mennünk, hogy a szokatlan időjárási viszonyoknak tanúi legyünk. Elegendő csak az elmúlt pár év hazai időjárására gondolni, a gyakori áradások, a néhol orkánerejű szélviharok, a szokatlan hőség mind a megváltozott klíma jele. Az előzőekben felsorolt időjárási elemek és azok megváltozásai egyértelműen befolyásolják az útépitési, fenntartási és üzemeltetési folyamatokat. A változásnak való megfelelés

azonban nemcsak a műszaki oldalt érinti, hanem mindemellett a gazdasági szempontokat sem szabad figyelmen kívül hagyni. Az időjárási elemek megváltozásával az útpálya kopórétegének gyorsabb tönkremenetele várható, a levegő minőségének romlása, az út menti csapadékvíz-elvezető árok elégtelensége, az áradások következtében kimosódás, a talajvíz szintjének állandó ingadozása, az úttartozékok megrongálódása. Az út mentén telepített növényzet nem feltétlenül tud majd a megváltozott klímának ellenállni, tehát nem tudja majd funkcióját ellátni. A csapadék mennyiségének növekedésével sűrűbb út menti növényzetvágás válik majd szükségessé, továbbá a szűk tűrőképességű növények helyébe új, tágabb tűrőképességű növényeket kell telepíteni. Mindegyik időjárási elem megváltozása kivétel nélkül veszélyezteti a közlekedés biztonságát.

A klímaváltozás hatását tehát nem szabad figyelmen kívül hagynia a kor mérnökének az útépités semmilyen területén sem. Szeretném megjegyezni, hogy a fentiekben leírt aggodalmak és tények mindegyik közlekedési módra és infrastruktúrára igazak, legyen szó közúti közlekedésről, vasúti közlekedésről, légi közlekedésről, vízi közlekedésről vagy akár vezetékessé szállítási módokról.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Gáspár L.: Az élettartam-mérnöki tudomány utügyi alkalmazásának lehetőségei, Közúti és Mélyépítési Szemle, Budapest, 56. évf. 9–10. sz., 2006.
- [2] Savonis, M.: Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase, I, U.S. Climate Change Science Program, 2008 – kutatási jelentés alapján. A PIARC A1 bizottság ülésén elhangzott előadás, Párizs, 2008. március
- [3] Burton, J.: Scottish Road Network Landslides Study, 2005 – kutatási jelentés alapján. A PIARC A1 bizottság ülésén elhangzott előadás, Glasgow, 2008. október
- [4] <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2005/07/08131510/15117>

## SUMMARY

#### THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON ROAD INFRASTRUCTURE

The article presents the output of the PIARC Technical Committee A1 „Preserving the Environment”, based on the members’ presentations. Climate change is one of the most serious threats facing the world today. There is compelling scientific evidence that the global climate is changing and that the primary cause is the release of greenhouse gases resulting from human activity. The article provides through two examined area the potential risks of climate change on road infrastructure, social and economical aspects.



# NAGYSUGARÚ ÁTSZELÉSI KITÉRŐK<sup>1</sup>

ÁDÁM MÁTYÁS<sup>2</sup>

A hazai vasút-korszerűsítésben az elmúlt években kiemelt figyelmet kapott Budapest elővárosi közlekedésének fejlesztése, mind a pálya, a járművek és a biztosítóberendezések tekintetében. Napjaink tervezése a fejpályaudvarok bevezető szakaszainak korszerűsítésére, valamint a fejlesztésből eddig kimaradt elővárosi vonalakra összpontosul, mint például: Rákos állomás, Rákosrendező, Kelenföld, vagy a Budapest–Esztergom, Budapest–Székesfehérvár vasútvonal. Az állomások megtervezésénél a legfontosabb szempont a sűrített ütemes menetrend lebonyolíthatósága, az állomási és fejpályaudvari forgalomból a keresztező menetek kizárása, a vágányhálózat vonal szerinti elrendezése, s lehetőség szerint nagysugarú kitérők beépítése a kiemelt közlekedési irányokban. Ezek a tervezési szempontok a jelenlegi állomási vágánykapcsolatoknál jóval nagyobb helyszükségletet követelnek, s nem egy esetben különisztint vasútvonali keresztvezések megépítését teszik szükségessé.

Az elágazó vonalra(-ról) közlekedő személy- és tehervonatok az elágazó állomások kitérőin mellékirányban való közlekedéskor több forgalmi esetben 5–8 percre elzárhatják más menetek vágányújtait. Ezeknek az állomásoknak, pályaudvaroknak a kapacitása növelhető, ha az elágazásokat nagysugarú kitérőkkel alakítják ki. A befutó vasútvonalak vonalvezetése, mellettük a beépítettség gyakran nem teszi lehetővé, hogy 3–4 vágányon át terjedő vágánykapcsolás egyszerű kitérőkből legyen kialakítva (Bp. Keleti pu., Nyugati pu., Ferencváros, Rákos, Kőbánya Felső stb.). Ilyen helyeken a forgalom gyorsabb lebonyolítása érdekében célszerűnek mutatkozik a mellékirányban  $V = 80$  km/h sebességgel járható átszelési kitérő kifejlesztése, alkalmazása.

TDK dolgozatomban elemeztem: „Vajon eddig miért nem terveztek mellékirányban  $V = 80$  km/h sebességgel járható átszelési kitérőt?”,

illetve vizsgáltam, hogy milyen műszaki megoldások alkalmazásával lenne kivitelezhető.

## AZ ÁTSZELÉSI KITÉRŐ

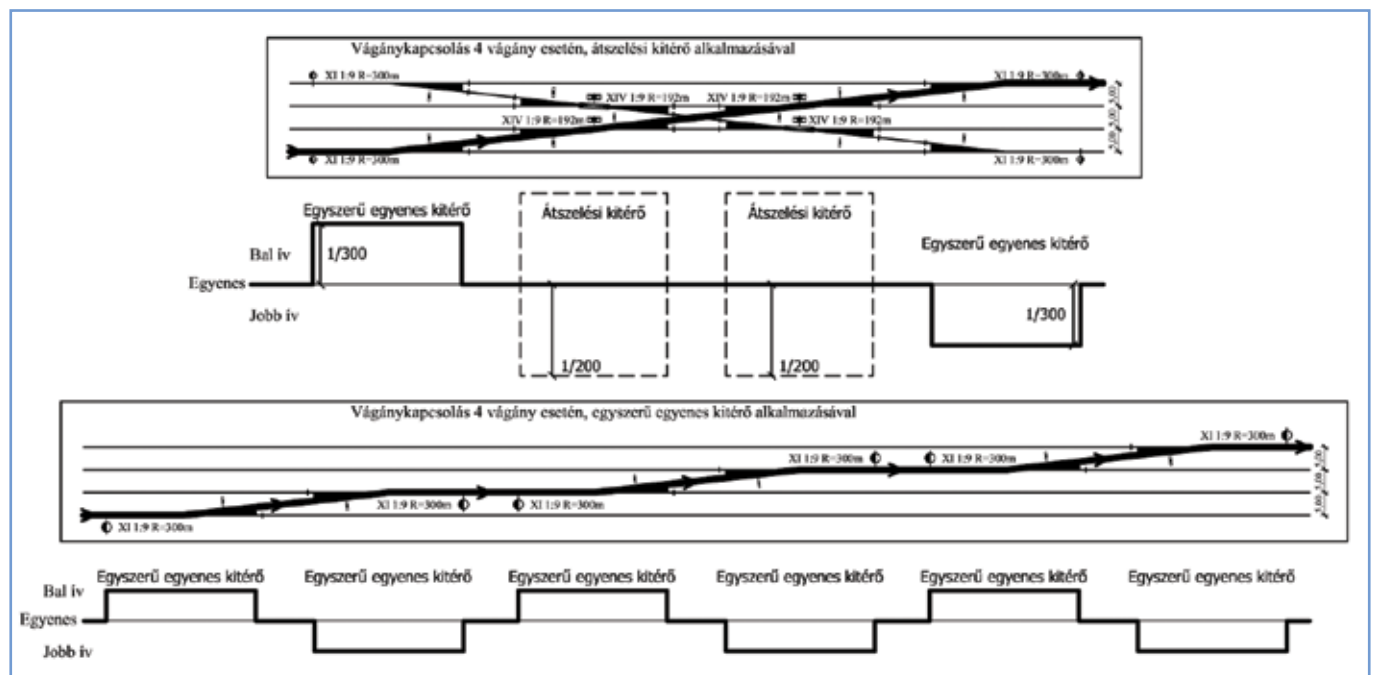
Alkalmazásának előnye:

- kis helyigénnyel több párhuzamos vágány összekapcsolható,
- az egyszerű kitérőkel kialakított vágánykapcsolással ellentétben tetszőleges vágányszám átszelésénél csak kétszer lép fel ellentétes irányú oldalgyorsulás. (1. ábra)

Alkalmazásának hátrányai:

- az eltérítő ágba metszőköríves csúcssín alkalmazása,
- kis pályasebességek mellett alkalmazható (főirány: 100 km/h, eltérítő ág: 40 km/h)
- egyszerre egy hajtóművel négy csúcssínt kell mozgatni,
- rövid csúcssínek és nagy inercia mellett váltóátállítási problémák
- kettős keresztvezésben vezetéshiány, magassági lépcső problémája
- nagy a fenntartási költsége.

Az átszelési kitérők a pálya szűk keresztmetszeteinek bizonyulnak, s nagy fenntartási költségük ellenére használatuk indokolt. A kitérő-szerkezet geometriai kötöttsége a vezetetlen szakasz hosszából ered. Minél kisebb a hajlásszög, annál hosszabb lesz a kettős keresztvezés vezetetlen szakaszának hossza. Vezetés hiányában a vasúti járművek kerekei oldalirányban szabadon elmozdulhatnak, s így helytelen sín-szálra futhatnak, ami kisikláshoz vezetne. A nemzetközi vasúti hatóság ezért maximalizálta a vezetetlen szakasz hosszát a vágányátszeléseknél 100 mm-re, mellyel az eltérítési szög nem lehet kisebb, mint  $6^\circ$



1. ábra: A két vágánykapcsolási típus görbületi függvényének összehasonlítása

<sup>1</sup> A XXIX. Országos Tudományos Diákköri Konferencián bemutatott dolgozat alapján készült cikk.

<sup>2</sup> Építőmérnök hallgató, BME



20' 25", az áthaladási sebesség főirányban nem lehet nagyobb, mint 100 km/h hazánkban. Főirányban 120 km/h-nál nagyobb sebességet egyetlen vasúttársaság sem engedélyeztet ezekre a kitérőkre.

A mellékirányban közlekedő vonatok sebességét a kitérőben alkalmazott körív sugara határozza meg, a főirány kötöttsége miatt két átszelési kitérő típus alakult ki: a belső és a külső csúcssínes (2. ábra). Belső csúcssínek alkalmazása esetén a maximális körívsugár 200 m, mely 40 km/h-s közlekedést tesz lehetővé az eltérítő ágban. A külső csúcssínes megoldás esetén nagyobb sebesség engedélyezhető, viszont a váltórész túlnyúlása miatt szabványos 5,0 m-es vágánytengely-távolság esetén nem beépíthető, s a belső csúcssínes kitérővel szemben 4 egyszerű keresztezéssel többet kell beépíteni. Így érthető miért nem kísérletezett egyetlen vasút sem az eltérítő ágban  $V \geq 80$  km/h sebességrealkalmas átszelési kitérő gyártásával.

## AZ ELTÉRÍTŐ ÁGBAN $V \geq 80$ KM/H SEBESSÉGRE ALKALMAS ÁTSZELÉSI KITÉRŐ

### GEOMETRIAI KIALAKÍTÁS

A kitérő tervezésénél a legfontosabb szempontok:

- több párhuzamos vágány közé beépíthető vágánykapcsolatot lehessen vele kialakítani
- érintő köríves csúcssínek
- ne legyen benne vezetetlen szakasz.

Ha szabályos vágánykapcsolatot szeretnénk az új kitérővel kialakítani párhuzamos vágányok között, akkor annak belső csúcssínes megoldásúnak kell lennie, ahhoz hogy a két kitérőszerkezet között a  $V/2$  méter hosszú egyenes szakasz kialakuljon. Ha az eltérítő ágban  $V = 80$  km/h sebességgel szeretnénk közlekedni, akkor a minimálisan al-

kalmazható körív sugara  $R_{\min} = 760$  m. A tiszta körív sugarából könnyen számítható az a maximális elhajlási érték, amely mellett még a kitérő belső csúcssínnel kerülhet kialakításra. Ez az érték viszont jóval kisebb lesz, mint a minimálisan alkalmazható  $6^\circ 20' 25''$ , így a vezetetlen szakasz hossza is jóval nagyobb, mint 100 mm, azaz fix kettős keresztezés segítségével nem kivitelezhető. Több műszaki lehetőséget megvizsgálva, a mozgó csúcssínekkel kialakított kettős keresztezés bizonyult a legjobb megoldásnak. Mozgó csúcssínekkel könnyen ellenőrizhető a végállás, s ez nagyban hasonlít a már használt váltóállítási mechanizmusokhoz, így egyszerűen kivitelezhető. Megjegyzendő, hogy ez a megoldás nem csak az új kitérőnél lenne alkalmazható, hanem a jelenleg használt átszelési kitérőinkben is, így a főirányú közlekedést nem kellene 100 km/h-ban maximalizálni.

A kettős keresztezés problémáinak kiküszöbölésével az új átszelési kitérő hajlása kisebb lehet, mint  $6^\circ 20' 25''$ . Az alapadatok meghatározásához két szempontot vettem figyelembe:

- az eltérítőágban alkalmazható sebesség függvényében a lehető legkisebb legyen a beépítési helyigény
- a jelenleg alkalmazott nagysugarú kitérőkkel azonos elhajlású legyen, hogy ne kelljen a beépítésükhöz újat tervezni.

A meglévő egyszerű kitérők hajlását figyelembe véve, az új átszelési kitérők esetében a tervezési minimumnál kedvezőbb geometriát, azaz nagyobb ívsugarat lehet alkalmazni. Az így adódott szerkezeti méretek miatt fokozott figyelmet fordítottam az eltérítő ágban keletkező igénybevételek csökkentésére, hogy az élettartam nagyobb legyen, s a fenntartási költségek is csökkenjenek, ezért a csúcssínek profiljának kialakításában az érintőköríves és a módosított koszinusz átmenetiíves geometria alkalmazását vizsgáltam. Az utóbbi esetben a legszigorúbb német tervezési kritériumokat és határértékeket vettem figyelembe ( $h = 0,4 \text{ m/s}^3$ ). A tervezés végén kapott új átszelési kitérők jellemző adatait a hozzájuk kapcsolódó egyszerű kitérőkkel az 1. táblázatban foglaltam össze.

1. táblázat: Az átszelési kitérők fő paraméterei

Kitérő hajlása Kitérő szöge	Kitérő rendszere	Mellékirány sebessége	Kitérő beépítési hossza		Oldalgyorsulás $a_{cp}$ [m/s <sup>2</sup> ]	Gyorsulás-változás $h$ [m/s <sup>3</sup> ]
			„a”	„b”		
1:14	60-500 1:14	60	17.834	27.108	0.55	0.54
4°05'08"	60-XIV-R=430		-	27.108	0.65	0.63
1:14	60-500 1:14	60	17.834	27.108	0.55	0.54
4°05'08"	cos60-XIV-R565/440		-	27.108	0.63	0.48
1:15.44	60-800 1:15.44	80	25.881	27.936	0.62	0.81
3°42'21"	60-XIV-R=500	60	-	27.936	0.56	0.54
1:18.5	60-1200 1:18.5	100	32.409	32.409	0.64	1.05
3°05'39"	60-XIV-R=760	80	-	32.409	0.65	0.85
1:19.2	60-1400 1:19.2	100	36.444	36.444	0.55	0.9
2°58'56.4"	cos80-XIV-R1200/760	80	-	34.600	0.65	0.54
1:21.58	60-1400 1:23.25	100	32.421	38.165	0.55	0.9
2°39'11.54"	cos80-XIV-R1600/900	80	-	38.165	0.55	0.4
1:23.25	60-1400 1:23.25	100	30.100	41.850	0.55	0.9
2°27'48"	60-XIV-R=1200	100	-	41.850	0.64	1.05
1:25.28	60-1400 1:25.28	100	27.684	44.270	0.55	0.9
2°15'56.4"	cos100-XIV-R2300/1200	120	-	44.270	0.64	0.55
1:28.47	60-1800 1:28.47 (1:27.4)	120	31.600	51.250	0.62	1.21
2°00'41.2"	60-XIV-R=1800	120	-	51.250	0.62	1.21
1:31.94	60-2400 1:31.94	120	37.555	55.930	0.46	0.91
1°47'34.8"	cos120-XIV-R4000/1710	120	-	55.930	0.65	0.55



2. ábra: Az átszelési kitérők két fő típusa: a, Belső csúcscsínés átszelési kitérő. (A MÁV vonalain használatos 60-XIV-R=200-1:9 kitérő.) b, Külső csúcscsínés átszelési kitérő. (Az Ausztriában szabványosított 60-R=500-1:9 rendszerű kitérő.)

Élettartam szempontjából a módosított átmenetiíves csúcscsín geometria sokkal kedvezőbb az érintőkörívessel szemben, mert:

- az oldalgyorsulás-változás nem pontszerűen megy végbe
- a csúcscsín elejének fokozott igénybevétele lecsökken
- kevesebb fenntartást igényel.

Ha a táblázatban foglalt értékeket jobban szemügyre vesszük, látható, hogy az azonos hajlásértékekhez tartozó átszelési és egyszerű kitérők esetében, az egyszerű kitérők eltérítőágában 20 km/h-val nagyobb sebességet lehet engedélyezni. Ez a tulajdonság jól kihasználható az elágazó állomások esetén, illetve teljes átszelési meneteknél, mert így a teljesen elzárt vágányút vágányfoglaltsági ideje jelentősen csökkenthető. Ehhez a hazai biztosítóberendezéseket kisebb mértékben át kell alakítani, hogy az Európában már elfogadott 20 km/h sebességi lépéseket tudja kezelni.

## SZERKEZETI KIALAKÍTÁS

Mivel a tervezéshez már a meglévő nagysugarú egyszerű egyenes kitérőket vettem alapul, az egyszerű keresztezési részek azonosak, azok szerkezeti kialakítását külön tervezni nem volt szükséges. Kivételt képez ez alól az R=1400 m sugarú kitérő, mely 100 km/h kitérő irányú közlekedésre kedvezőbben viselkedik, mint az R=1200-as.

A csúcscsín profilkialakításánál fokozott figyelmet fordítottam arra, hogy módosított koszinusz átmenetiíves geometria alkalmazása esetén az átmenetiívek hossza ne legyen nagyobb, mint a megmunkálási hossz. Így az eredeti geometria csúcscsínrel való fenntartható, nagyobb kopások esetén csúcscsín cserével lehet visszaállítani. Az eltérítőágban  $V \leq 80$  km/h-ra alkalmas átszelési kitérő esetében a csúcscsín mozgatása két-két állítási ponttal, a  $V \geq 100$  km/h-ra alkalmas kitérőnél három-három állítási ponttal történik.

A kettős keresztezés kiváltására szolgáló négy mozgó csúcscsín állítása egy hajtómű alkalmazásával történhet, hogy az átállításban a szinkron biztosítható legyen.

Az új típusú kitérő szerkezeti méretei (hossza, tömege) miatt a tervezésnél fokozott figyelmet kapott a beépíthetőség, illetve a kitérőcsere megoldása. Az egyszerű keresztezések várható élettartama a váltórészhez képest kétszer, háromszor nagyobb, ezért a kitérő szerkezeti részéről ezek leválasztásra kerültek, cseréjük így egymástól függetle-

nül is megoldható. A kettős keresztezés kötöttségének feloldásával a keresztezési pontnál két fél átszelésre lehet szétosztani. A két gyártási egységből felépíthető négyrészes átszelési kitérő egyik szerkezeti eleme sem lesz hosszabb vagy nehezebb, mint a jelenleg használtak, így beépítése és részleges vagy teljes cseréje is könnyen megoldható.

Szerkezeti és geometriai kialakításának köszönhetően a fenntartási költségek várhatóan kisebbek lesznek, a jelenleg alkalmazott átszelési kitérőhöz képest. A vágányfoglaltsági idők csökkenésének s az ebből adódó állomási kapacitás növekedésének, valamint a vontatási energia felhasználásában jelentkező megtakarításnak köszönhetően a beruházási költségek várhatóan rövid időn belül megtérülnek.

Az állomási kapacitásnövekedésnek a csúcscsín forgalmi menetrend lebonyolításánál van nagy jelentősége. Csatlakozó, elágazó, keresztező állomások esetén a menetrendi pókok ideje is jelentősen csökkenthető, egy-egy vonat menetideje akár 4–8 percet is csökkenhet. Menetrendi csúszás esetén a menetrendi stabilitást is elősegítik, a be- és kijárási idők jelentős csökkenésének köszönhetően. Elágazóállomások esetén a tehervonatok közlekedését nagymértékben elősegíthetik, mivel szinte lassítás nélkül áthaladhatnak, így az állomási kitérőzetítés után rövid időn belül minimális energiafelhasználás mellett újra teljes menetsebességgel lehet továbbítani a szerelvényt. Az áthaladás biztosításának köszönhetően megakadályozható, hogy a teherszerelvények akár órákra várakozni kényszerüljenek egy-egy nagyforgalmú állomáson (Rákos, Kelenföld, Kőbánya-Kispest, Cegléd stb.), mert megállás után a sűrű menetrendben nem biztosítható az állomásról a kellő kijáratáshoz s felgyorsításhoz szükséges idő.

Hazánkban a tehervonatok átlagos menetsebessége 2008-ban nem érte el a 18 km/h-t, annak ellenére, hogy a legtöbb fővonalon 80, 100 km/h az engedélyezett egyetovábbítási sebesség. A hosszú tehervonati menetidők jelentős veszteségeket okoznak a szállítmányozóknak, ami miatt évről évre egyre csökken a vasúton szállított áruk mennyisége.

A leírtakat összegezve az új átszelési kitérők rendszer beállítása javolt. Ha egy állomást átépítünk, annak geometriája kb. 40-60 évig nem fog változni. A nagy beruházási költség ellenére ilyen időtávtalban az új geometriájú kitérőkörzet pozitívumai jelentős hasznot hozhatnak a vasútnak a megtakarítások révén.

700 Ft