

FELELŐS KIADÓ:

Szabó Zoltán (ÁKMI)

FELELŐS SZERKESZTŐ:

Dr. habil. Koren Csaba

SZERKESZTŐK:

Csordás Csaba

Dr. Gulyás András

Dr. Lánosz Pál

Rétháti András

LEKTORI TESTÜLET:

Apáthy Endre

Dr. Boromisza Tibor

Csordás Mihály

Dr. habil. Farkas József

Dr. habil. Fi István

Dr. habil. Gáspár László

Hórvölgyi Lajos

Huszár János

Jaczó Győző

Dr. Keleti Imre

Dr. habil. Mecsi József

Molnár László Aurél

Pallay Tibor

Dr. Pallós Imre

Regős Szilveszter

Dr. Rósa Dezső

Dr. Schváb János

Schulek János

Dr. Szakos Pál

Dr. habil. Szalai Kálmán

Tombor Sándor

Dr. Tóth Ernő

Varga Csaba

Veress Tibor

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

TARTALOM

2**Dr. Bodnár Zoltán**

Előszó

3**Pálfay Antal**

A gyorsforgalmi úthálózaton eddig alkalmazott pályaszerkezetek üzemeltetési és fenntartási tapasztalatai, kezelői elvárások a rendkívüli terhelésű szakaszok pályaszerkezeteivel kapcsolatban

6**Dr. Ambrus Kálmán – Dr. Karsainé Lukács Katalin – Dr. Pallós Imre – Vinczéné Görgényi Ágnes**

Lehetséges pályaszerkezeti változatok a rendkívül nehéz forgalmi terhelésű útszakaszok hosszú életciklusú pályaszerkezeteire a nemzetközi gyakorlat tükrében

17**Dr. Keleti Imre**

A forgalomnövekedés és az EU csatlakozás hatása a gyorsforgalmi úthálózat fejlesztésési programjában

24**Dr. Gáspár László**

Hosszú távon gazdaságos pályaszerkezet-változatokra adott javaslat a hazai rendkívül nehéz forgalmi terhelésű autópályákra

27**Dr. habil. Farkas György – Dr. Huszár Zsolt – Kovács Tamás – Dr. Szalai Kálmán**

A rendkívül nehéz forgalmi terhelésű útszakaszok hosszú életciklusú pályaszerkezeteihez illeszkedő hídfelszerkezeti megoldások

35**Gáspár Csongor**

A 44-es főút Békéscsaba és Gyula közötti próbaszakaszok építésének előkészítése

40

Nemzetközi szemle

KÖZÚTI ÉS MÉLYÉPÍTÉSI SZEMLE

Alapította a Közlekedéstudományi Egyesület.

A közlekedésépítési és mélyépítési szakterület mérnöki tudományos havi lapja.

Felelős szerkesztő: 1952-2002 Dr. Nemesdy Ervin egyetemi tanár

SZIMPÓZIUM

A RENDKÍVÜL NEHÉZ TERHELÉSŰ GYORSFORGALMI UTAK PÁLYASZERKEZETÉRŐL

Előszó

A kormány Európa Tervének része a gyorsforgalmi úthálózat fejlesztési program. Az ország csatlakozása az Európai Unióhoz, valamint a rendkívül nehéz forgalmi terhelésű gyorsforgalmi utak hazai üzemeltetési tapasztalatai aktuálissá tették, hogy áttekintsük az ilyen utak pályaszerkezetének a tervezését, építését, fenntartását és üzemeltetését a nemzetközi gyakorlat tükrében. Meg kellett határoznunk az ilyen utak pályaszerkezeteinek a szükséges és elégséges fejlesztési lehetőségeit, különös tekintettel a megfelelő színvonalú útpályaszerkezetek életciklus költségeire.

A Nemzeti Autópálya Rt. a Közlekedéstudományi Intézet Rt., a BME Út- és Vasútépítési Tanszéke, valamint Hidak és Szerkezetek Tanszéke vezető munkatársaiból alakított alkalmi munkabizottsággal elvégeztette az ehhez szükséges elemzéseket és kutatásokat. A munkabizottság javaslatot tett a *rendkívül nehéz forgalmi terhelési kategória* bevezetésére a pályaszerkezet tervezésben; az ilyen forgalommal terhelt utak pályaszerkezet-tervezési gyakorlatának kialakítására; az ilyen utakon alkalmazható hosszú élettartamú pályaszerkezetek választékára; valamint az ezekkel összhangban lévő felüljáró felszerkezetekre; kidolgozta mindezek Közúti Alkalmassági Tanúsítványainak és Műszaki Szállítási Feltételeinek a tervezetét.

A munka eredményét a GKM Közúti Közlekedési Főosztálya megismerte, annak következtetéseivel és eredményével egyetértett. Engedélyezte, hogy a munkabizottság által kidolgozott pályaszerkezet-változatokból a 44-es út Békéscsaba és Gyula közötti szakaszának építés alatt álló kapacitásbővítő rekonstrukciója keretében próbaszakaszok épüljenek.

A MAUT, a KTE Közlekedésépítési Tagozata, a Mérnöki Kamara Közlekedési Tagozata, valamint a Magyar Aszfaltipari Egyesülés és a Magyar Betonszövetség üdvözlötték a fejlesztési munkát, és a Békés Megyei Közútkezelő Közhasznú Társasággal karöltve javasolták: a próbaszakaszok építésének idején szervezzenek szimpóziумot Békéscsabán, hogy a szakmai közvélemény a munkabizottság interpretációjában megismerhesse a fejlesztés eredményeit, az azokból következő alkalmazásokat. A Nemzeti Autópálya Rt. egyetértett a javaslattal, és a kivitelező Betonút Rt., valamint a független mérnök feladatát ellátó UTIBER Kft. bevonásával részt vállalt a szimpóziум megszervezésében.

Remélem, hogy a Békéscsabán ez év szeptember 3-án megtartott sikeres szakmai szimpóziумon és az azt követő munkahely látogatáson szerzett tapasztalatok hozzájárulnak a gyorsforgalmi úthálózat-fejlesztési programunk sikeréhez.

Dr. Bodnár Zoltán
elnök-vezérigazgató
Nemzeti Autópálya Rt.

A gyorsforgalmi úthálózaton eddig alkalmazott pályaszerkezetek üzemeltetési és fenntartási tapasztalatai, kezelői elvárások a rendkívüli terhelésű szakaszok pályaszerkezeteivel kapcsolatban

Pálfay Antal¹

1. Általános tapasztalatok

A magyar gyorsforgalmi hálózat kialakítása 1964-ben az M1-M7 betonburkolatú, merev pályaszerkezetű közös bevezető szakaszának átadásával kezdődött. A betonburkolatú pályák építése 1975-ig folytatódott az M7-esen, de ebben az évben már adtak át félmerev pályaszerkezetű, aszfaltburkolatú, érdesített homokaszfalt (ÉHA) kopórétegű pályaszakaszt is (az M1 Tatabánya és Komárom közötti bal pályája). Ezután pedig több betonburkolatú gyorsforgalmi út már nem épült.

A betonburkolatok miatt az M7-en 1977-re alakult ki az első kritikus helyzet. Ekkorra a Budapest és Martonvásár közötti szakasz bal pályája annyira kikátyúsodott, hogy azt le kellett zárni a forgalom elől, és még abban az évben három rétegű aszfaltburkolattal látták el. Az M7 balpálya szakaszának többi betonburkolata 1985. és 88. között modifikált bitumenes vékonyaszfalt kopóréteget kapott. Az M7 2001. és 2002. évi felújításával az utolsó betonfelület is eltűnt a magyar gyorsforgalmi hálózatról.

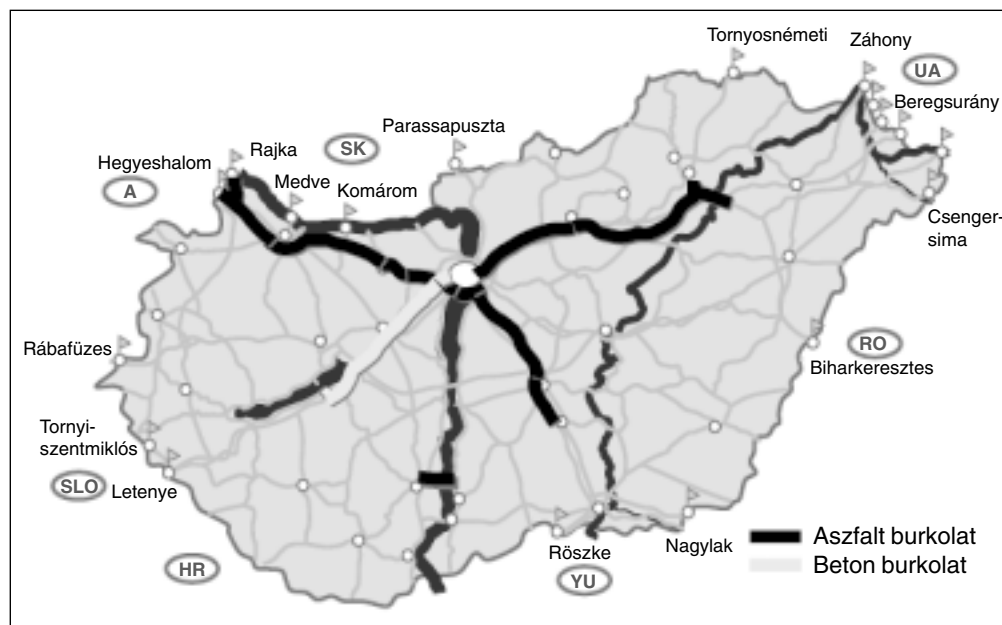
Az 1975-ig készített betonburkolatok nálunk nem váltották be a merev pályaszerkezetek hosszú élettartamához fűzött reményeket. A táblák a kereszthézagoknál nem kaptak teherátadó vasalást, ezért egymáshoz képest elmozdultak, a pálya rázott és ütött, a burkolathibák (repedések, kátyúk) javítására nem volt jó és olcsó technológia.

Egyes szakaszokat – amelyek nem a téli olvasztósóknak ellenálló légpórusos betonból készültek – 12 év után le kellett aszfaltozni, a jó beton-technológiával készült leghosszabb élettartamú burkolat viszont megértte a 32. évét az említett rekonstrukcióig.

A betonburkolatokat követő félmerev, érdesített homokaszfalt (ÉHA) kopóréteggel ellátott pályaszerkezet hazai adaptációja ridegre sikerült. Az alapot adó

CKt inkább soványbeton volt és nagy táblákban dilatált, a repedések pedig akadálytalanul hatoltak át az összesen 22 cm vastag kissé merev aszfaltretegeken. A nagy csúszásellenállású ÉHA kopóréteg a reflexiós repedések ellenére is nagyon jó élettartamú volt, 20-22 évesen még kényelmesen és biztonságosan autózható, a plasztikus deformációknak ellenálló rétegnek bizonyult. Utólag talán túlzottnak tűnik a reflexiós repedésektől való félelem, ezek ma már jól kezelhetők, rugalmas bitumennel kiöntve a forgalomban alig érzékelhetők.

A repedésmentességre tett erőfeszítések sokáig kétes eredményt hoztak. A soványbeton alap és az aszfaltretek közé épített SAMI réteg, a feszültségelnyelő aszfalt és zúzottkő rétegek, a soványbeton helyettesítése mechanikai stabilizációval sorra deformációkhoz, nyomvályú-képződéshez vagy hálósan repedezett burkolathoz vezettek.



1. ábra: A burkolatok megoszlásának alakulása az átadás idején

A nehézforgalom növekedése, a forgalmi telítődés, a nyári hőmérsékleti csúcsok sorozatos ismétlődése miatt ma már nincs biztos recept arra, hogyan álljon ellen az aszfaltkeverék a nyomvályú-képződésnek. Évről évre beigazolódnak azok a technológiai feltevések, amelyek alapján egy-egy egészen frissen készült szakasz is deformálódik.

Az 1. táblázat összefoglalja az autópályák építése során eddig alkalmazott jellemző pályaszerkezet-típusokat, a problémákat és a problémákra adott és remélhetően adható válaszokat.

¹ Okleveles mérnök, üzemeltetési igazgató, ÁAK Rt.

Időszak	A pályaszerkezet típusa	Problémák	A változtatás iránya
1964–1975	Merev, betonburkolatú	– táblamozgások, hézagkezelés és fenntartás, kátyúzás nehézségei, utazáskényelem, – akadályozott téli üzem	Áttérés a félmerev, aszfaltburkolatú pályaszerkezetre
1975–1990	„Rideg” félmerev aszfaltburkolattal	– reflexiós repedések, az aszfaltburkolat korai öregedése	– kevésbé merev aszfaltok – SAMI – FZKA – M50 alapréteg
1990-től napjainkig	Félmerev, kevésbé –, aszfaltburkolatú	Az aszfaltok korai tönkremenetele plasztikus deformáció (nyomvályú), termikus repedések miatt	– M50 és CKt kombinációjú alaprétegek – nagy belső súrlódású aszfaltkeverékek – modifikált bitumenek
A holnap és a közeljövő	Megfelelő minőséget a megfelelő helyre	A pályaszerkezettel nem lehetnek olyan problémák, hogy a szolgáltatás színvonalát az úthasználók érzékelhetően befolyásolják, avagy a szolgáltatási színvonal fenntartását csak drága módon tennék lehetővé	A forgalmi terhelés tulajdonságaihoz igazított teljesítményű merev, illetve nagy modulusú aszfaltokat használó, a termikus feszültségeknek ellenálló félmerev pályaszerkezetek

2. Részletes üzemeltetési-fenntartási tapasztalatok

Hézagok és repedések a betonon, a vékonyaszfalttal bevont betonon, bizonyos mértékben a többrétegű aszfaltburkolattal bevont betonon és a félmerev pályaszerkezeteken egyaránt jelentkeznek. Sem a szórt, sem az iszapbevonatok nem képesek a repedések eltüntetésére. Utazáskényelmi szempontból a betonburkolatok vasalatlan kereszthézagainál képződő lépcsők kifogásolhatók.

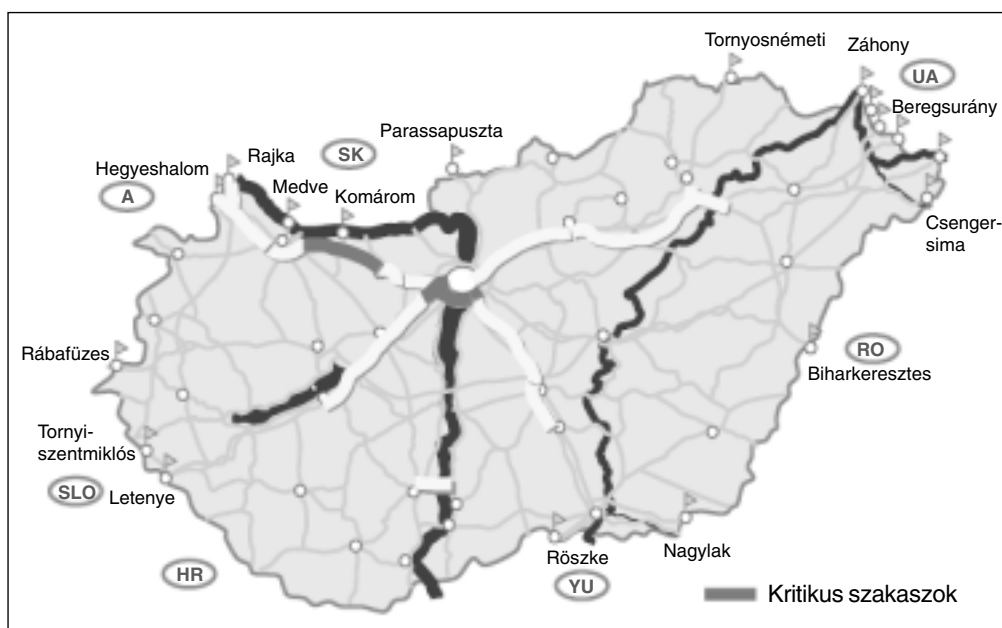
Plasztikus deformáció szempontjából a beton és a modifikált bitumennel készült, betonra fektetett vékonyaszfalt bizonyult megfelelőnek. A relatíve sok bitumennel és alkalmatlan kővázzal tartalmazó aszfaltszerkezetek erősen gyűrődnek, az iszapkeverékkel kitöltött nyomvályúk egy év után általában újratermelődnek.

A M0 déli szektorában több tényező is a nyomvályúsodásnak kedvezett: csak egy pálya épült ki, a pályaszerkezet nem tartalmazott elégséges vastagságú és merevségű aszfaltot, sőt a kevés beépített aszfalt deformációra hajlamos rétegekből állt. Óriási és csatornázott mozgásra kényszerített a teherforgalom, meleg, csapadékszegény időjárási periódusban vagyunk. Az eredmény: 3 évre húzódó felújítás, 3 év torlódás az ország egyik legfontosabb útvonalán. Intő jel, hogy egy szakaszon a technológia gondos megválasztása és a

két felső réteg eltávolítása ellenére is nyomvályú keletkezett a frissen átadott burkolaton.

Az utóbbi években alkalmazott modifikált bitumennel és nagy belső súrlódású kővázal készített aszfaltburkolatok már ellenállnak a deformációnak, de számolnunk kell azzal, hogy a csatornázott nehézforgalom hatására az ilyen aszfaltok deformáció-ellenálló képessége is korlátozott, bár hajlama csak a megfelelő forgalmi terhelés esetén jelenik meg. Egy pályaszakas felújításakor néha a 3. réteg eltávolítására is szükség lehet a nyomvályú képződés megelőzése, illetve korlátozása érdekében. A 2. ábra a nyomvályús szakaszok kialakulása és a nehézforgalom nagysága közötti összefüggésre utal.

Öregedési jelenségeket elsősorban az ÉHA burkolaton figyelhetünk meg. Ez a makroérdeesség túlzott növekedésében, a kerékcíj erősödésében, valamint



2. ábra: Nyomvályú kialakulás szempontjából kritikus szakaszok a jelenlegi gyorsforgalmi hálózaton

Pályaszerkezet	Reflexiós repedések	Plasztikus deformáció	Hézagkezelés igény	Kopóréteg öregedés	Vízsziklás	Utazáskényelem	Forgalomkorlátozás fenntartás miatt	Felújítási ciklus	Fenntartás igény
Betonburkolatú merev javítás és hézagkezelés	–	–	+	–	–	ráz	–	13–30	Drága burkolat
A betonburkolaton vékony-aszfalt	A betonburkolat hézagjai áttükröződnek	–	+	–	–	enyhén ráz		Kopórétegre 5–10	Hézagkiöntés, kátyúzás
Félmerev, rideg aszfaltburkolatú	Nagymértékben	–	+	+	–	megfelel	–	10–20	Kátyúzás, hézagkezelés
Plasztikus aszfaltburkolatú félmerev	Kismértékben	+	–	–	+	Fokozott figyelmet igényel	+	5–10	Marás, iszapbevonat, kátyúzás, hézagkezelés
Szórt felületi bevonat	+	+	+		–, +	Sebességkorlátozási igény	+	1–2	
Aszfaltiszap bevonat	+	+	+		–, +	Átmenetileg megfelel	–, +	1–2	

a hézagok és repedések mentén a kipergésben nyilvánul meg. Új jelenség a ZMA kopórétegeknek a forgalomba helyezést követő 4.-6. évben keletkező, termikus feszültségek nyomán kifejlődő, a burkolat felszínéről lefelé hatoló repedési hajlama, ami a felhasznált nem modifikált bitumen alkalmatlan voltára utal.

Kátyúzási igény szempontjából a ridegebb aszfaltburkolatok a meghatározók. A rosszul sikerült betonburkolat nehezen és költségesen kátyúzható. A bevonatok foltokban leperegnek, gyakorlatilag nem javíthatók.

Forgalombiztonsági szempontból a deformálódó aszfaltok és a szórt bevonatok a legveszélyesebbek. A veszély megelőzésére mindkét esetben sebességkorlátozást kell bevezetni.

Felújítási ciklus tekintetében a beton (12-32 év), a „rideg” aszfalt (10-20 év), a betonra fektetett modifikált vékonyaszfalt (12-15 év), a „plasztikus” aszfalt (5-10 év) és a bevonatok (1-2 év) a sorrend.

A sózás tekintetében nincs lényeges különbség az egyes burkolatok között. Az M7 légpórusos betonból készült nagyobb élettartamú szakaszai a sózást jól bírták és az aszfaltnál kevesebb sót igényeltek.

Ekézés szempontjából az egymáshoz képest elmozdult betontáblák okoztak az M7-en nehézséget.

A rossz teljesítményű burkolatok miatti fenntartási munkák egyre hosszabb hálózatszakszon okoznak jelentős forgalmi torlódást. Az ilyen okból kialakult torlódások leginkább az M0 déli szektorának a felújításakor voltak érzékelhetők. Az itt felmerült problémák érzékeltetik leginkább a különösen nehézforgalmú pályaszakszok buktatóit.

Jogos tehát az üzemeltető közútkezelő várakozása: tud-e a szakma adekvát választ adni, a különösen nehéz forgalom és a szélsőségesen meleg és hideg éghajlati igénybevételeknek egyaránt megfelelő pályaszerkezeteket tervezni és kivitelezni.

3. Kezelői elvárások a gyorsforgalmi utak pályaszerkezeteivel kapcsolatban

Üzemeltetési és fenntartási szempontból a következő elvárások fogalmazhatók meg egy gyorsforgalmi út pályaszerkezetével kapcsolatban:

Fenntartási megközelítésből előnyös a:

- kifogástalan felszíni vízelvezetés,
- nagy élettartam, hosszú fenntartási ciklusok,
- forgalom alatti felújítás lehetősége,
- megfelelő teherbírás, megbízható alsó rétegek, a kopórétegre koncentrálnó fenntartási feladatok,
- nyomvályú képződésnek ellenálló szerkezet,
- tartósan jó és megbízhatóan helyreállítható csúszásellenállási paraméterek.

Üzemeltetési követelmények:

- legyen akadálytalanul ekézhető, bírja a sót is, ebből ne igényeljen sokat,
- rendelkezzen gyors és kipróbált, minden évszakban alkalmazható javítási technológiával,
- a javítás költségei arányosak legyenek,
- a karbantartási igények minimálisak legyenek (alacsony repedési és kátyúsodási hajlam, kevés kezelést igénylő hézagok).

Az igények megfogalmazásakor felmerül a jól hangzó „0 fenntartás” követelménye. Ez illúzió, helyette a minimális karbantartást vagy a fenntartási munkák minimális forgalomzavarási igényét hangsúlyozzuk, amihez már a pályaszerkezeten túl egyéb keresztmetszeti változtatások is tartoznak. Így fontos volna, ha a megépült felpályák a szükséges szakaszokon legalább 11,50 m szélesek lennének, hogy a felújítás során a tereléskor fizikailag is el lehessen választani egymástól az ellentétes forgalmi irányokat. Át kellene gondolni a középső elválasztósáv kialakítását is, a nagyforgalmú szakaszokon szalagkorlát és cserjesáv helyett New Jersey típusú elválasztó falak kialakítása látszik célszerűnek.

Lehetséges pályaszerkezeti változatok a rendkívül nehéz forgalmi terhelésű útszakaszok hosszú életciklusú pályaszerkezeteire a nemzetközi gyakorlat tükrében

Dr. Ambrus Kálmán¹ – Dr. Karsainé Lukács Katalin² – Dr. Pallós Imre³ – Vinczéné Görgényi Ágnes⁴

1. Bevezetés

A piaccgazdaság kialakulása az elmúlt évtizedben világossá tette, hogy ugyanúgy, ahogy Európa nagyobb közúti forgalmat viselő államaiban, hazánkban is a közúti forgalom jelentős része az országos közúthálózat főútjaira koncentrálódik, különösen a tranzitforgalmat lebonyolító vonalakon, a főutak főváros közeli és nagyváros közeli szakaszain. A főhálózat egyes szakaszain a forgalom lefolyásának a jellege a korábbiakhoz képest jelentősen megváltozott, amit ma már tapasztalhatunk autópályáink budapesti bevezető szakaszain, a nagyobb forgalmat viselő főútjaink fonódási szakaszain, a legszembeötlőbbben pedig talán az M0 autópályán. Ez a tendencia tartós, és összefügg a közlekedési munkamegosztás változásával. Várható, hogy az ország európai integrációja során az EU-ban ma tapasztalható arányok alakulnak ki Magyarországon is. A közúti közlekedés végérvényesen hegemon helyzetbe kerül.

Olyan útszakaszon, ahol a nehéz gépjármű forgalom hányada nagy, emellett torlódások, lassú forgalomáramlási sebességek alakulnak ki, a nehézjárművek – az agresszív fékező-gyorsító mozgások hatására – nagy nyírófeszültséget indukálva veszik igénybe az aszfaltburkolatot. Az európai tapasztalatok szerint az ilyen forgalmat viselő aszfaltburkolatú útszakaszokon esetenként jóval a tervezett élettartam vége előtt jelentősebb keréknyomvályú mélységek alakulnak ki, míg a betonburkolatokon az ilyen igénybevételek hatására fokozódnak a hézagromlások, a rosszul méretezett teherátadó vasalás elfáradása a táblák közötti lépcsőképződésekhez vezethet. Az utóbbi tíz évben a nyári melegek közepette már mi is megismerhettük az aszfaltburkolatokon a 40-44 tonna össztömeget szállító 1+1+3 tengelyelrendezésű nyerges vontató hátsó tengelyein lévő „super single” típusú, 10-11 MPa belső nyomású gumiabroncsainak káros hatását.

A méretezés szempontjából az EU-beli előírásoknak megfelelő 115 kN megengedett tengelysúlyt 2008-ban bevezetik⁵, aminek hatását az útpályaszerkezetek építéskor figyelembe kell venni a pályaszerkezeti konstrukciós elvek és gyakorlat fejlesztésével, jobb teljesítményt nyújtó anyagok alkalmazásával, hiszen

a közutakat használók, a gazdaság szereplői a gazdasági élet működését segítő és nem hátráltató közúti infrastruktúrát igényelnek.

A fokozott igénybevételű, nehéz forgalmi terhelésű útszakaszok tehát az útügyi ágazat számára elháríthatatlan kihívást jelentenek, ezért a jövőben – figyelemmel a fejlett motorizációjú európai országok ilyen irányú tapasztalataira – meg kell tenni azokat a hazai tervezési-technológiai lépéseket, amelyek a hosszú életciklusú útpályaszerkezetek építését fogják biztosítani.

Ezért a nemzetközi gyakorlatban megfigyelhető irányzatok alapján sürgős fejlesztési munkával az alábbi adaptációkra kell törekednünk:

- A betontechnológia európai fejlettségi szintjéhez mérten kell foglalkozni a hazai klimatikus viszonyoknak megfelelő, hézagaiban teherátadó acélbetéttel készített cementbeton burkolatok alkalmazásával.
- Nagyobb merevségű, azaz nagy modulusú, így a magasabb üzemi hőmérsékleteken kisebb maradó alakváltozási képességű, ugyanakkor alacsony üzemi hőmérsékleten repedésre nem hajlamos aszfalt pályaszerkezetek alkalmazásával kell az aszfaltburkolatok teljesítményét javítani.
- Folytatólagos vasalású cementbeton teherviselő rétegből és vékony, nagy-modulusú aszfalt kopórétegből álló, kompozit (összetett) pályaszerkezet alkalmazásba vételét kell előírni a merev pályaszerkezet változataként.

A felsorolt, jellemzően alternatív, esetenként azonban szelektív megoldások a lehetséges válaszok a forgalom okozta kihívásokra.

2. A külföldi tapasztalatok rövid áttekintése

A bevezetőben vázolt három különböző technológia európai alkalmazásának tapasztalatait, előnyeit, hátrányait mutatjuk be a következőkben.

2.1. Hézagaiban vasalt betonburkolat

A legtöbb külföldön épített betonburkolat – szemben a Magyarországon a múlt század 60-as, 70-es éveiben épültekkel – hézagolt és a kereszthézagaiban is teherátadó vasalással ellátott burkolattípus. Ezt a gyakorlatot követi a szempontunkból mértékadó Ausztria, Németország és Svájc is.

Az AIPCR C7-es „Betonutak” Műszaki Bizottsága felmérést végzett arról, hogy az egyes országok nagy forgalmú úthálózatában milyen arányt képvisel a betonburkolat. A megvizsgált 18 ország összesen 461 km hosszú betonburkolatról szolgáltatott információt. A szóban forgó országokban a nagy forgalmú úthálózat átlá-

¹ Okl. építőmérnök, egyetemi doktor, tanszékvezető helyettes, BMGE Út-, Vasútépítési Tanszék

² Okl. építőmérnök, laboratórium-vezető, KTI Rt.

³ Okl. vegyészmérnök, okl. korróziós szakmérnök, egyetemi doktor, laboratórium vezető, BMGE Út-, Vasútépítési Tanszék

⁴ Okl. vegyészmérnök, laboratórium-vezető, KTI Rt.

⁵ Eddig kaptunk derogációt az EU 96/53/ EK számú irányelvének bevezetésére

gosan 13%-a betonburkolatú. Néhány állam nagy forgalmú úthálózatában a betonburkolatok aránya ezt a százalékot jelentősen meghaladja: Németországban 31%-os, az Egyesült Államokban 34%-os, Belgiumban 41%-os. Az utóbbi országok nagy terhelésű útjain a nehézjárművek részaránya átlagosan 22%-ot tett ki.

Ausztóriában az 1950-es évektől 3-4 millió m²-nyi betonburkolatú autópálya épült. Az autópálya hálózat mintegy 650 km-nyi része betonburkolatú. Ezek fele 20 évnél idősebb, mégis csak kevesebb mint 4%-án volt szükség beavatkozásra. Ez a mennyiség nem tartalmazza azokat a javításokat, ahol a télen használt szöges abroncsok miatt kellett a keletkező nyomvályúkat ideiglenesen két aszfaltsávval javítani, például az A1 autópálya Linz és Bécs közötti szakaszán. A '80-as évek végére a 30 évesnél idősebb betonburkolatok átépítése azonban szükségessé vált. Az osztórák autópálya felújítások nagy részét – nemzetgazdasági és környezetvédelmi előnyei miatt – a régi beton újrafelhasználására (recycling) kidolgozott technológia alkalmazásával végzik. A burkolatfelületet az utazáskényelem növelése érdekében legújabbban speciális felületképzési eljárással érdesítik.

Belgiumban a forgalom és ezen belül a nehéz járművek részarányának növekedése miatt az 1970-es évek óta az autópályák burkolatát kizárólag betonból készítik.

A Cseh Köztársaságban a közelmúltban az autópálya-hálózat 61,5 km-es szakaszát betonburkolattal építették meg.

Németországban – a nehézforgalom és a megengedett tengelyterhelés növekedésének megfelelően – a méretezési előírásokban a betonburkolatok vastagságát a legnagyobb forgalmi kategóriájú utaknál 26 cm-re növelték.

Svédországban általában csak akkor építenek betonburkolatú utat, ha legalább 5 km hosszú útszakaszt vagy autópályát kell készíteni, illetve ha 40 éven belül legalább 9 millió nehéz egységtengely áthaladásnak megfelelő forgalom várható.

2.1.1. Általánosítható technológiai tapasztalatok

- A csúszózsálos építési módszer ma már Európában is szinte kizárólagosnak számít a nagy teljesítőképessége és termelékenysége, az irányítás és vezérlés automatizáltsága miatt.
- A közúti forgalom sebességének növekedésével az útfelület csúszásellenállása egyre fontosabb lett. A betonburkolatok érdesítésére több módszer vezetett be. A megoldások azonban a nagy érdeesség mellett a legtöbbször nagyobb gördülési zajjal is jártak. Néhány éve a betonburkolatok megfelelően érdes, ugyanakkor kis zajhatású felületének előállítására kutatásokat, kísérleteket végeznek.

2.2. Nagy modulusú aszfaltokkal készülő pályaszerkezet

Előjáróban fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy az átlagosnál nagyobb vagy jóval nagyobb modulusú

aszfalt fáradási tulajdonságai kedvező irányba változnak. Ez egyben azt is jelenti, hogy elméletileg az ugyanolyan nagyságú forgalomra nagy modulusú aszfaltokból vékonyabb aszfalt pályaszerkezet tervezhető építhető. Ezt az előnyt – mint alább látjuk – Franciaországban ki is használják.

A nagy modulusú aszfaltok alapelvét az 1980-as évek végén **Franciaországban** dolgozták ki, és azóta sikeresen alkalmazzák. Útpályaszerkezetek aszfalt alaprétégeire vonatkozóan 1991-ben jelent meg a tárgyban francia szabvány, igen kemény (B-15 és B-25 jelű) bitumenek használatának előírásával. A szabad hézagtartalomra, a vizes tárolás utáni szilárdságcsökkenésre, a keréknyomvályú-mélységre, a komplex modulusra és a fáradási nyúlásra adtak kritériumokat. 1993-tól a nagy modulusú kopó- és kötőrétegekre vonatkozó szabályzat is elkészült. Az adalékanyag legnagyobb szemnagysága alapján kétféle típusú keverékre, az útszakasz terhelési osztályától függően a tervezési paraméterek három követelménysorát állapították meg. Újabbban egyre elterjedtebben alkalmazzák a nagy modulusú aszfalt teherviselő pályaszerkezetek kopórétegéül az ún. nagyon vékony rétegvastagságú kopórétegfajtát (BBTM). Extrém forgalmi igény felmerülése esetében a 2,5 cm-nyi BBTM alá 3x7 cm nagy modulusú aszfalt teherviselő réteg, az alá pedig 20-25 cm vastagságban kötőanyag nélküli vagy hidraulikus kötőanyagú alaprégét kerül.

Nagy-Britanniában a betonburkolatú autópályák rekonstrukciói során az elbontott vastag betontáblák helyére aszfalt teherviselő réteggként gyakran 20-28 mm-es maximális szemnagyságú, nagy modulusú teherviselő DBM (Dense Bitumen Macadam) nevű aszfaltot építenek. Kötőanyaga ugyancsak kemény, nagy merevségi modulusú bitumen (B-15 vagy B-25). Különlegesen nagy forgalmú útszakaszon a jellegzetes angol pályaszerkezeti rétegrend a következő:

4 cm	SMA-11 jelű zúzalékvázás masztixaszfalt,
2 x 8-11 cm	DBM 0/20 vagy DBM 0/28 nagy modulusú aszfalt teherviselő réteg,
20-25 cm	kötőanyag nélküli vagy hidraulikus kötőanyagú alaprég.

Ausztóriában nagy szilárdságú (fokozottan stabil) teherviselő aszfaltrétegek készülnek, amelyekhez $D_{\max} = 16, 22$ és 32 mm-es névleges legnagyobb szemnagyság mellett 100%-ban zúzott anyag tartalmú, folytonos szemeloszlású ásványi keveréket alkalmaznak. Ezekhez a keverékekhez kötelező a modifikált bitumen alkalmazása. A réteg szabad hézagtartalma a 7 tf%-ot nem haladhatja meg, a megkövetelt tömörségi fok legalább 98%-os. Jellegzetes osztrák pályaszerkezet:

4 cm	SMA-11kopóréteg,
2x10 cm	BT 22 HS nagy szilárdságú teherviselő réteg,
20-25 cm	kötőanyag nélküli vagy hidraulikus kötőanyagú alaprég.

Svájcban az extrém forgalomra 16-22-32 mm-es maximális szemnagyságú, nagy merevségű aszfalt alsó és felső teherviselő rétegeket építenek. Gyártá-

sukhoz 4,0-4,6%-nyi, 25-ös névleges penetrációjú, elasztomerrel modifikált bitument alkalmaznak. A folytonos szemeloszlású, 100%-ban zúzott anyagot tartalmazó keveréknek beépítés után 2,5-6,5 tf%-nyi hézagtartalmúnak kell lennie, 98%-os tömörségi fokkal. A jellegzetes rétegrend gyakorlatilag megegyezik az osztrákéval.

Németországban a vastag pályaszerkezetek alsó rétegeiben nem tartják szükségesnek a merevség növelését, megemlíthető azonban, hogy ott az aszfalt alaprétegeket korábban is jellemzően B-45-ös bitumennel gyártották. A kopó- és a kötőrétegek alakváltozási hajlamának csökkentésére azonban a korábban szigorúbb szemeloszlású, nagyobb belső súrlódású vázat alakítottak ki. Nagy forgalommal, a gépjárművek lassításával és gyorsításával, gyakori megállásával igénybe vett szakaszokon a kötőréteget modifikált bitumennel gyártják a csúsztató-nyíró igénybevételek jobb felvétele céljából.

2.3. Kompozit pályaszerkezet

A nemzetközi gyakorlatban az aszfalt- és a betonburkolat előnyeinek a kombinálására alkalmazzák a kompozit (összetett) pályaszerkezeteket. Az összetett pályaszerkezet egyik típusában a cementbeton teherviselő rétegre aszfaltburkolat kerül. A cementbeton teherviselő réteg építhető akár teherátadó vasalású hézagokkal, akár folytonosan vasalt betonlemezként, ugyanakkor az aszfaltrétegek is lehetnek tömörek vagy pedig a vízáteresztés és a zajcsökkentés igénye miatt nagy hézagtartalmúak. A tapasztalatok szerint az ilyen típusú burkolatokkal mind az úthasználók, mind pedig az útkezelők elégedettek.

A kompozit pályaszerkezetek alkalmazása – bár a megoldás 30-32 évnél még nem idősebb – Európa-, sőt világszerte dinamikusan fejlődik. Ennek a tendenciának az okai a következők:

- A növekvő forgalmi terhelések okozta és a plasztikus deformációval járó problémákat az aszfaltburkolatok legkorszerűbb technológiával készült variánsai sem képesek teljes mértékben kiküszöbölni, ugyanakkor a betonburkolatoknak a gördülőzaj miatti, még mindig kedvezőtlen tulajdonságait az utóbbi évek fejlesztései sem tudták még teljes mértékben megszüntetni.
- A folyamatosan növekvő úthasználoi igények kielégítése érdekében egyre fontosabb a pályaszerkezetek életciklusban mért gazdaságossága és a környezetvédelem.
- A tervezési élettartam alatt beavatkozás nélkül megfelelő minőségű pályaszerkezetek iránti növekvő igény következtében elkerülhetetlen az eddig egymástól függetlenül alkalmazott útpályaszerkezeti anyagok kombinálása.
- Ha a teherviselő réteg folytatólagosan vasalt cementbeton, akkor folytatólagos (hézagolásokkal meg nem szakított) pályaszerkezet épül, jó utazáskényelmi érzetet adva. Itt jegyezzük meg, hogy a hézagolt betonra épített aszfalt kopóréteget a hézagok felett át kell vágni, ki kell önteni,

így ez a változat már nem tekinthető teljesen folytatólagos szerkezetnek.

- A zúzalékdús masztixaszfalt kopórétegnek a betonburkolathoz mért kedvezőbb utazáskényelmi tulajdonságai nemcsak aszfaltburkolatú pályaszerkezet, hanem kompozit pályaszerkezet építésével is elérhető.
- A csapadékos atlanti klímájú Hollandiában, ahol a fekete fagy valószínűsége kicsi és a forgalom nem szennyezi sárfelhordással a burkolatot, drénaszfaltot építenek a kompozit pályaszerkezet burkolati rétegeként a pályaszélesség és az oldalesés eredő függvényében olyan vastagságban, hogy az a mértékadó csapadékot a pályafelületről el tudja nyelni.

Belgiumban régebben 20 cm-es vastagságú burkolatalapra 5 cm aszfalt ágyazóréteg került, erre pedig 18 cm folytonosan vasalt betonburkolat, végül 4 cm vastagságú aszfaltbeton kopóréteget építettek. Később próbálták elhagyni a 4 cm kopóréteget, azonban ettől a kopóréteggé vált folytonosan vasalt betonburkolaton „punchout” (átszűrődés) jelent meg. A kompozit pályaszerkezetek megfelelőségének egyik feltétele a folyamatosan vasalt teherviselő betonlemez és az aszfaltréteg kopóréteg közötti megfelelő együtdolgozás. Ezért a jelenlegi kutatások erre összpontosulnak. Próbálkoztak bitumenemulziós permetezéssel, friss betonfelületre fektetett aszfaltréteggel, illetve sörszórással kialakított betonfelületre terített aszfaltréteggel is.

Németország, Olaszország, Franciaország, Portugália és Japán is a belga gyakorlathoz igen hasonló technológiát választott. Eltérések leginkább a rétegvastagságokban adódnak, ami részben az eltérő gépjárműforgalomnak, részben az eltérő megengedett tengelyterheléseknek tulajdonítható. Az minden esetben megfigyelhető, hogy a betonburkolatra viszonylag vékony (3-6 cm vastagságú) aszfaltréteg kerül. Vastagságát a kopóréteg típusa is befolyásolja. A teherviselő réteg tekintetében már változatosabb a helyzet. A kistáblás betonburkolatoktól (Portugália) a hagyományosnak mondható, teherátadásra vasalt hézagú táblás betonburkolatokon át (Németország), a folytonosan vasalt burkolatig (Olaszország, Belgium, Japán) terjed a skála. Ez azt jelzi, hogy ez a kompozit pályaszerkezet típus bármilyen, már meglévő beton pályaszerkezet felújításakor is szóba jöhet. Erre van magyar példa is: az M7 autópálya bal pályájának a 34–112 km szelvények között 1985-től 1989-ig készült és a teljes körű felújításig kifogástalanul szolgált vékonyaszfaltos karbantartása.

Összességében a mai nemzetközi gyakorlat szerint, a kompozit pályaszerkezet aszfalt kopórétege jellemzően zúzalékváz masztixaszfalt vagy drénaszfalt. Az előbbi nagy élettartamú és megbízhatóan kivitelezhető kopóréteg típus, a drénaszfalt viszont forgalombiztonsági szempontból előnyös, emellett zajcsökkentő hatású, de a zúzalékváz masztixaszfaltnál rövidebb élettartamú és drága üzemeltetési, tisztántartási műveleteket igénylő, kontinentális éghajlaton fekete-fagy-veszélyes megoldás.

3. A rendkívül nagy forgalmi terhelésű utakra alkalmazható pályaszerkezet változatok hazai specifikációja

A három pályaszerkezeti változat műszaki specifikációjának hazai kidolgozására külön-külön alakultak munkacsoportok. A külföldi tapasztalatok elemzése, értékelése alapján, majd számos egyeztetési megbeszélés után a munkacsoportok elkészítették a *Közút-építési Alkalmassági Tanúsítványokat* és a *Műszaki Szállítási Feltételeket*. Ebben a fejezetben csak a műszaki előírások főbb elemeit mutatjuk be.

3.1. Hézagokban vasalt betonburkolatú merev pályaszerkezet

3.1.1. A pályaszerkezet méretezése

A pályaszerkezet tervezési forgalmát az érvényes ÚT 2-1.202. utasítás alapján 115 kN egységtengely terhelés figyelembevételével kell meghatározni. A tervezési forgalom alapján az 1. táblázat szerint kell az építendő pályaszerkezetet kiválasztani.

3.1.2. A burkolat betonösszetételének tervezési követelményei

- A betonminőség (a beton) jele: CP 4/3-35/KK
- A beton tervezési hajlító-húzószilárdsága 28 napos korban a 15x15x60 cm gerenda próbatesteken mérve 5,3 N/mm² a betonszilárdság ≤ 15%-os variációs tényezője esetén.
- A beton tervezési hasító-húzószilárdsága 63 napos korban a 15 cm átmérőjű, 15 cm magas henger próbatesteken 4,0 N/mm² a betonszilárdság ≤ 15%-os variációs tényezője esetén.
- A beton tervezési nyomószilárdsága 28 napos korban a 15x15x15 cm méretű próbatesteken 42 N/mm² és 63 napos korban, 15 cm átmérőjű 15 cm magas henger próbatesteken 40 N/mm² a betonszilárdság ≤ 15%-os variációs tényezője esetén.
- Kötőanyagként CEM II/A-S 32,5 vagy 42,5 cement alkalmazandó, legalább 350 kg/m³ felhasználással.
- A beton vízcement tényező $v/c=0,42$ legyen.
- A beton cementpép-tartalmát úgy kell megtervezni, hogy a beton péptelített legyen.
- A betonozáshoz használt keverővíz ivóvíz minőségű legyen.
- Az adalékanyag feleljen meg az ÚT 2-3.201:2000. 5. táblázat szerinti 35 mm legnagyobb szemnagyságú határgörbék vonatkozó előírásainak, és legalább 50 tömeg % zúzott anyagrészt tartalmazzon. A zúzottkő UNZ termékosztályt és AA-P1 közzefizikai csoport minőségét elégítse ki. A homok, a kavics feleljen meg az OH és OK termékosztálynak, iszap-agyag tartalma a „P”, tisztasági osztálya a „TT” előírásoknak.

- A betonozáshoz használt adalékszerek elégítsék ki az MSZ EN 934-2:1999 szabvány megfelelő követelményeit. Alkalmazási engedéllyel rendelkező folyósító és légpórus-képző szerek alkalmazhatók. A folyósítószer kívánt mennyiségét a szállítási távolság, az időjárási körülmények, a szállítóeszköz és a bedolgozó gépek ismeretében kell meghatározni. A légbuborékképző adalékszer mennyiségét úgy kell beállítani, hogy a frissbeton levegőtartalma 4,5%, a távolsági tényező 0,22 legyen.
- A tervezett betonösszetétellel próbakeverést kell végezni, és alkalmassági vizsgálati jelentésben kell igazolni a receptúra helyességét.

3.1.3. Kivitelezési feltételek

A burkolat betonozását csak száraz időben, 15-30 °C léghőmérsékleten szabad végezni. A betonkeverék hőmérséklete legfeljebb 30 °C lehet a bedolgozás helyszínén a szállító járműben mérve. Esőben a munkát le kell állítani. Az alapréteget a beton betérítése előtt vízzel nedvesítsük. A burkolatot az építési sáv teljes szélességében folyamatos haladással kell betonozni. Betonozási sáv szélességeket a 2. táblázat mutatja be.

3.1.4. A betonfelület érdesítése, utókezelése

A beton felületét érdesítő seprű – azonos hosszúságú (100 mm) elemi szálabból álló seprű – keresztirányú mozgatásával kell érdesíteni. A pályaburkolat összes vízszintes és függőleges felületét – alkalmassági hozzájárulással rendelkező – párazáró védőbevonattal látjuk el.

3.1.5. A hézagok kialakítása

Kereszthézagok: vakhézagként alakítandók ki, teherátadó acélbetétek alkalmazásával. A teherátadó acélbetéteket a burkolat vastagságának félmagasságában kell elhelyezni, azok átmérője 24-26 mm, felülete sima (nem bordás), hossza 60 cm, kiosztásuk (távolságuk egymástól) 30 cm legyen.

Hosszhézagok: Az egy ütemben betonozott sávok csatlakozásánál a hosszhézagokat szoros hézagként

1. táblázat

Megnevezés	Forgalmi terhelési osztály		
	$E, TF_{100} = 3 - 10 \times 10^6$	$K, TF_{100} = 10 - 30 \times 10^6$	$R, TF_{100} > 30 \times 10^6$
Betonburkolat C/P4/3	22 cm	24 cm	26 cm
CK ₁ alapréteg	20 cm	20 cm	20 cm
Teherbírás az alaprétegen	$E_2 \geq 200 \text{ MN/m}^2$		
Szivárgó paplan szükség szerint	Geodrain		
A földmű tükör teherbírása	$E_2 \geq 80 \text{ MN/m}^2$		

A betonozási sáv megnevezése	Pálya szélesség				
	(2x) 3 forgalmi sáv + leállósáv, erre alkalmas koronán	(2x) 2 forgalmi sáv + leállósáv 2x3 forgalmi + leállósávra alkalmas koronán	(2x) 2 forgalmi sáv + leállósáv, erre alkalmas koronán	2x1 forgalmi sáv, erre alkalmas koronán	1 forgalmi sáv, erre alkalmas koronán
Főpálya	egy szélességi menetben, két hosszézaggal	egy teljes szélességi menetben, három, illetve két hosszézaggal	egy teljes szélességi menetben, egy hosszézaggal	egy vagy két szélességi menetben, egy hosszézaggal	
Leállósáv	egy szélességi menetben		egy szélességi menetben		
Lassító- és gyorsítósáv	külön, egy szélességi menetben				
Összekötő pálya				egy vagy két szélességi menetben, egy hosszézaggal	egy szélességi menetben
Csomóponti ág					

célszerű kialakítani. Ezekbe a terv szerinti helyeken a forgalmi sávok közötti vasalásnak megfelelő vasalást kell elhelyezni, vagyis $\phi 22$ mm-es 120 cm-es hosszúságú periodikus betonacélokat 750 mm-enkénti kiosztással elhelyezve alakítjuk ki a teherbíró kapcsolatot. A teherátadó vasak középső 20 cm-ét korrózióvédő bevonattal kell ellátni.

Terjeszkedési hézagok: A tervben megadott helyeken szükséges kialakítani összenyomható betétlemez, és teherátadó csúszó-acélbetétek alkalmazásával. A szakasz elején és a végén – a csatlakozó pályaszerkezetek fogadására – terjeszkedési hézagot szokás tervezni, illetve kialakítani. A tervezett terjeszkedési hézag vonalára szimmetrikusan 1 m-es szélességű

és 20 cm-es vastagságú – teljes pályaszélességű – vasbeton gerendát (párnabetont) alakítunk ki a meglévő burkolat alatt.

3.2. Nagy modulusú aszfaltokkal épülő félmerev pályaszerkezet

3.2.1. A pályaszerkezet méretezése

A pályaszerkezet tervezési forgalmát (TF_{100}) az érvényes ÚT2-1.202. utasítás alapján a 115 kN megengedett egyes tengely terhelés figyelembevételével kell meghatározni. Az így meghatározott tervezési forgalom alapján lehet a 3. táblázatból az építendő pályaszerkezetet kiválasztani.

3. táblázat

Forgalmi terhelési osztály	<i>E</i>	<i>K</i>	<i>R</i>
Tervezési forgalom: F100	3 – 10x10 ⁶	10 – 30x10 ⁶	> 30x10 ⁶
A szerkezet felépítése és vastagságok			
Kopóréteg	4 cm mZMA-12-NM	4 cm mZMA-12-NM	4 cm mZMA-12-NM
Kötőréteg	7 cm mK-20/F-NM	7 cm mK-20/F-NM	8 cm mK-20/F-NM
Felső alaprég	7 cm mK-20/F-NM	7 cm mK-20/F-NM	8 cm mK-20/F-NM
Alsó alaprég	15 cm CK ₁ -4	15 cm CK ₁ -4	20 cm C12
teherbírás a tetején	$E_2 \geq 180 \text{ MN/m}^2$	$E_2 \geq 200 \text{ MN/m}^2$	Nem mérhető
Szivárgó paplan szükség szerint	Geodrain	Geodrain	Geodrain
A földmű tükör teherbírása a tetején	$E_2 \geq 80 \text{ MN/m}^2$		

3.2.2. A burkolatalap megválasztására vonatkozó külön szabályozás

A burkolatalap szemcsés anyag és hidraulikus kötőanyag keverékéből készül.

A burkolatalap anyagát és vastagságát a 3. táblázat szerint választják a tervezési forgalomtól függően. E szerint a nagy modulusú aszfaltokkal épülő félmelev út pályaszerkezet alsó alaprétege az **E** forgalmi terhelési osztályban 15 cm, a **K** forgalmi terhelési osztályban 20 cm CK₁ típusú stabilizáció, az **R** forgalmi terhelési osztályban pedig 20 cm vastag C12 soványbeton.

A hidraulikus kötőanyagú burkolatalapokban a zsugorodás, hőmérsékletváltozás hatására repedések jönnek létre kereszt- és hosszirányban. A repedések megnyílásának legbiztosabb csökkentési lehetősége a hézagolás, amit az ÚT 2-3.206:2003 előírásai szerint, KRAFT módszerrel, 2,5 m-enként kell elvégezni. A szóban forgó út pályaszerkezet kialakításánál a reflexiós repedések áttükröződését a pályaszerkezet tervezési élettartamáig meg kell akadályozni. Ezért a KRAFT módszerrel hézagolt alaprétegre olyan aszfalterősítő rácsot fektetnek kationaktív bitumenemulzióba ragasztva, amely elbírja a magas terítési hőmér-

4. táblázat

Aszfaltkeverék típusjele	E	K	R
	Forgalmi terhelési osztályokban felhasználható modifikált útépítési bitumenek		
mK-20/F-NM	PmB-A 15/30		
mZMA-12-NM	PmB-A 30/60S		

sékletű nagy-modulusú aszfalt alapréteg által okozott hőmérsékleti igénybevételt, és ilyen körülmények között sem csökken az egymásra merőleges irányban meglévő 100 kN/m szakítószilárdsága, szakadó nyúlása pedig nem több 3%-nál.

3.2.3. A nagy modulusú aszfaltkeverékek tervezési előírásai

3.2.3.1. Felhasználható lapanyagok

Kötőanyagok: az ÚT 2-3.502. Ütügyi Műszaki Előírást kielégítő **modifikált útépítési bitumenek** használhatók a 4. táblázat szerint.

Megjegyezzük, hogy a kötőanyag típusának megválasztásakor a munkacsoport a svájci, a német és az osztrák gyakorlatot követte, a francia és az angol gyakorlat szerinti nagyon kemény B-15 és B-25 névleges penetrációjú normál útépítési bitumen használatát a hazai téli klimatikus viszonyok miatt nem tartottuk megengedhetőnek. Tehát a 25-ös névleges penetrációjú, elasztomer modifikált SHELL, BP és ELF termékekhez közelálló modifikált kötőanyagot válasszunk ki a hazai műszaki előírás adta lehetőségek közül. A fenti három társaság termékkatalógusait áttekintve kerestük a SHELL CARIBIT, a BP OLEXOBIT 25 és az ELF-STYRELIF 25 komplex modulusainak és alacsony hőmérsékletű merevségi modulusainak az értékeit. Ezeket az értékeket az 5. táblázatban összehasonlító módon mutatjuk be a magyar kötőanyagok (normál és modifikált bitumenek) jellemzőivel.

A magyar termékek SHRP szerinti komplex modulusainak és alacsony hőmérsékletű merevségi modu-

5. táblázat

Jellemzők	Kötőanyag-fajták						
	B 50/70 (MSZ EN)	B 40/60 (MSZ EN)	B 20/30 (MSZ EN)	Shell Caribit 25 (PmB-A)	BP Olexobit 25; ELF Styrelif 25 (PmB-A)	PmB-A 15/30 (ÚT 2-3.502)	PmB A 30/60 S (ÚT 2-3.502)
Lágyuláspont, °C	50	52	58	68	67	60	65
Penetráció, 25°C, 0,1 mm	60	50	25	21	25	25	45
Fraass töréspont, °C	-8	-6	-2	-25	-5	-8	-13
Rugalmas visszaalakulás, %	-	-	-	70	50	30	60
Komplex modulus 58 °C-on, MPa	0,004	0,008	0,014	0,020	0,015	0,035	0,010
Komplex modulus 22 °C-on, MPa	6,2	8,8	13,8	n.a.	n.a.	11,8	2,9
Merevségi modulus -12 °C-on, MPa	185	195	230	200 - 250 * (-16 °C-on: 320)	220 - 270 * (-16 °C-on: 350)	203	150

Megjegyzés: * becslés adat

Összehasonlító adatok a különféle normál és modifikált bitumenek jellemzőire:

Modulus értékek:

- Shell Caribit, BP Olexobit és ELF Styrelif eseteiben a termék-katalógusokban szerepeltetett értékek
- B 50/70, B 40/60, B 20/30, PmB A 15/30 és PmB 30/60 S eseteiben az ÁKMI MVO Veszprém mérései alapján

lusainak az értékeit az ÁKMI MVO Veszprémi Laboratóriuma bocsátotta rendelkezésünkre. A táblázat adataiból a következők láthatók:

- A normál bitumenek a B-50/70 $\Rightarrow$ B-40/60 $\Rightarrow$ B-20/30 sorában a csökkenő penetrációval a komplex modulusok értékei mind az 58 °C-os, mind pedig a 22 °C-os vizsgálati hőmérsékleten rendre nőnek, hasonló – bár kisebb mértékű – növekmény áll elő a merevségi modulusok értékeiben is a –12 °C-os vizsgálati hőmérsékleten.
- A B-20/30 jelű normál bitumen, illetve a CARIBIT 25 – STYRELF és BP OLEXOBIT elasztomerrel modifikált bitumenek komplex modulusai, valamint merevségi modulusai egymáshoz igen közelálló értékek. Ezekhez a bitumenekhez a modulusokat tekintve az ÚT 2-3.502 szerinti PmB-A 15/30 jelű elasztomerrel modifikált (magyar) bitumen áll a legközelebb.
- Az ÚT 2-3.502 szerinti PmB-A15/30 gyakorlatilag megegyező minőségű az osztrák szabvány szerinti PmB-A15-30 minőséggel, amelyet Ausztriában öntöttaszfalt és nagy stabilitású aszfaltok gyártásához használnak.

6. táblázat

Az aszfaltkeverék jele	E és K	R	E és K	R	E, K és R
	Forgalmi terhelési osztályokban felhasználható zúzottkő-termékek				
	közfizikai csoportja		szemszerkezeti jellemzői		polírozódási követelmény
mK-20/F-NM	AA, BB,	AA	UKZ		–
mZMA-12-NM	AA		UKZ		AA-P ₁

7. táblázat

A keveréktípus jele: mK-20/F - NM	
Négyzetes szita-rosta méret [mm]	Az ásványi anyag szemeloszlása, áthulló rész [tömeg %]
0,09	4 – 9
0,20	8 – 15
0,63	14 – 22
2,00	22 – 31
5,00	34 – 45
8,00	47 – 59
12,50	62 – 73
16,00	73 – 82
20,00	85 – 100
25,00	100
Az ásványi keverékben a mészkőliszt mennyisége, legalább [m%]	5
Az ásványi keverékben a homoktartományt és a 2,00 mm feletti részt:	Csak zúzottkő termékek képezhetik
Felhasználható kötőanyag típusok	PmB-A 15/30
Tájékoztató kötőanyag-szükséglet [m%]	4,2 – 5,2
Marshall próbatest szabad hézagtartalma [tf %]	4,0 – 5,0
Fajlagos nyommélység, ÚT 2-3.301:2001 M 3.1 szerint, ε %	$\leq 2,0$

Kőanyagok: Zúzott kőtermékként a 6. táblázat követelményeit kielégítő **ásványi alapanyagok** használhatók.

Az alkalmazható töltőanyag és homokminőségre vonatkozóan az ÚT 2-3.301 előírásait változatlan tartalommal vettük figyelembe.

3.2.3.2. Az aszfaltkeverékek tervezési követelményei

Fel kell hívjuk a figyelmet arra, hogy mind a teherviselő, mind a kopóréteg típus esetében a szemeloszlási határfeltételek szigorodtak a hatályos ÚT 2-3.301 szerint előírtakhoz viszonyítottan, gyakorlatilag az új német előíráshoz hasonló, nagyobb belső sűrűdést adó szemszerkezet kialakításával. A tervezési hézagtartalmak tartományai szűkültek, és a fajlagos nyommélységre előírt követelmények is szigorúbbá váltak.

3.2.3.3. Az mK-20/F-NM aszfalttípus tervezési követelményei

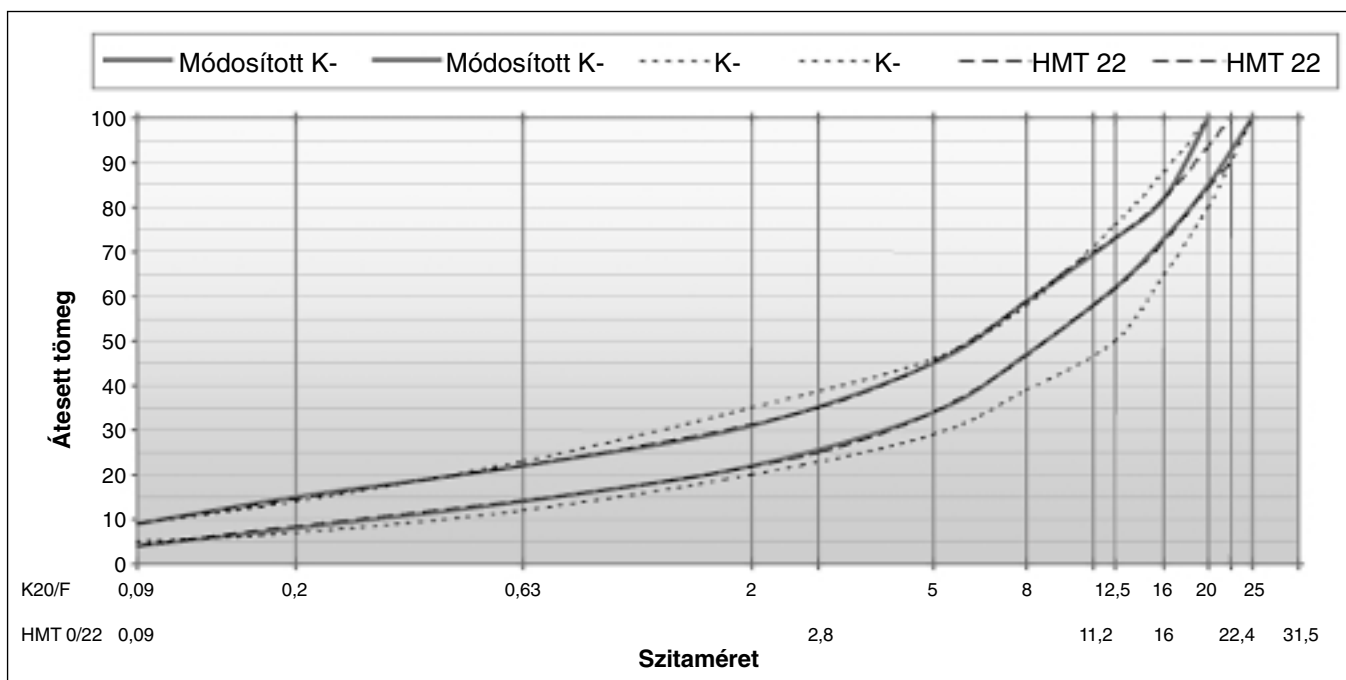
A teherviselő réteggént (aszfalt alapréttegként és kötőréteggént) építendő mK-20/F-NM típusjelű aszfaltkeverék elégítse ki a 7. táblázat szerinti követelményeket. A szemeloszlási határgörbékét az 1. ábra mutatja be.

3.2.3.4. Az mZMA-12-NM aszfalttípus tervezési követelményei

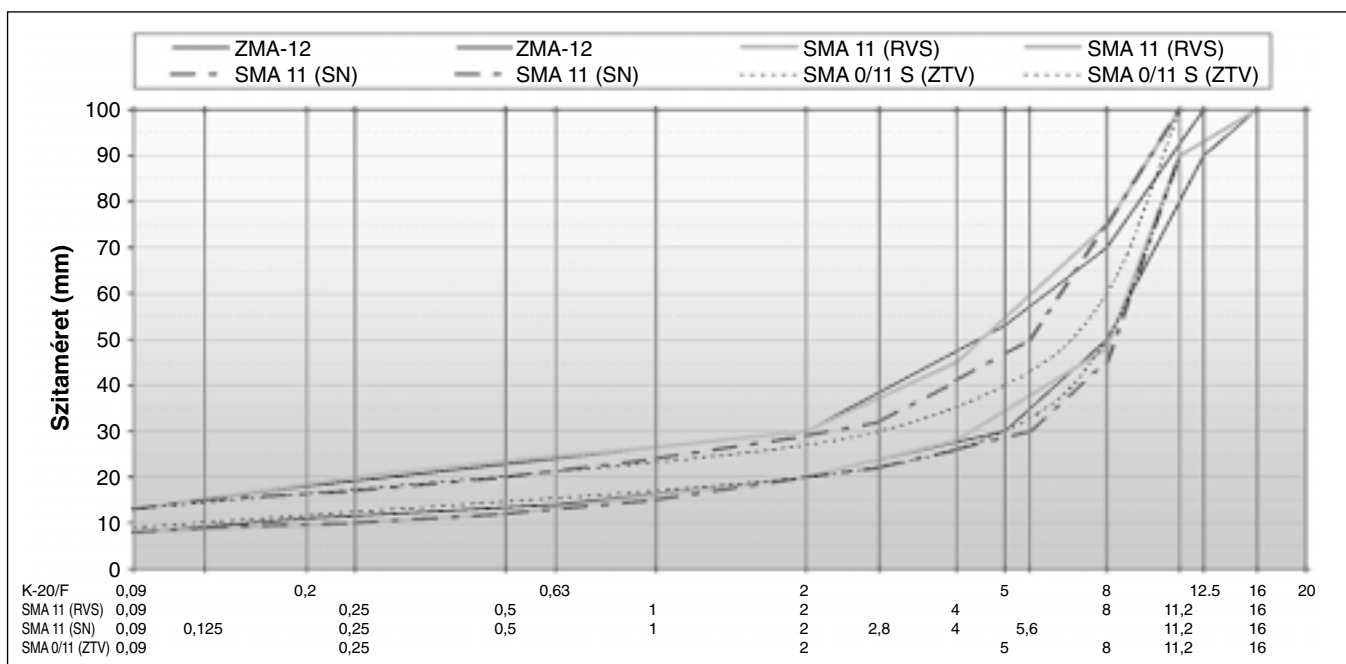
A kopóréteggént építendő mZMA-12-NM típusjelű aszfaltkeverék elégítse ki a 8. táblázat szerinti követelményeket. A szemeloszlási határgörbékét a 2. ábra mutatja be.

8. táblázat

A keveréktípus jele: mZMA-12-NM	
Négyzetes szita-rosta méret [mm]	Az ásványi anyag szemeloszlása, áthulló rész [tömeg %]
0,09	9 – 13
0,20	12 – 17
0,63	15 – 21
2,00	20 – 27
5,00	30 – 40
8,00	50 – 60
12,50	90 – 100
16,00	100
Az ásványi keverékben a mészkőliszt mennyisége, legalább [m%]	8
Az ásványi keverékben a homoktartományt és a 2,00 mm feletti részt:	Csak zúzottkő termékek képezhetik
Felhasználható kötőanyag típus	PmB-A 30/60 S
Tájékoztató kötőanyag-szükséglet [m%]	6,0 – 7,0
A kötőanyag lefolyását gátló additív mennyisége, aszfaltkeverékre vonatkoztatva [m%]	0,2 – 1,0
Marshall próbatest szabad hézagtartalma [tf %]	3,5 – 4,0
Fajlagos nyommélység, ÚT 2-3.301:2001 M 3.1 szerint, ε %	$\leq 2,5$



1. ábra: Az mK-20/F-NM szemeloszlási határgörbéje



2. ábra: Az mZMA-12-NM szemeloszlási határgörbéje

3.2.4. Az aszfaltkeverékek gyártási feltételei

Az aszfaltkeveréket az elfogadott keverékterv szerinti összetételű és tulajdonságú keverék gyártásához szükséges adatokat tartalmazó gyártási utasítás alapján kell gyártani.

A *Műszaki Szállítási Feltételek* szerinti modifikált bitumenekre vonatkozóan az aszfaltkeverékek gyártójának be kell kérnie a modifikált bitumenek szállítójától az alábbi adatokat:

- $v = 70 - 100 \text{ mm}^2/\text{sec}$ kinematikai viszkozitásokhoz tartozó hőmérsékleti értékeket, (mint az aszfaltgyártás során a kötőanyag permetezési hőmérséklet-tartományát, amely a 195°C hőmérsékleti értéket nem haladhatja meg,

- $v = 200 - 350 \text{ mm}^2/\text{s}$ kinematikai viszkozitásokhoz tartozó hőmérsékleti értékeket, mint az aszfaltkeverék gyártás hőmérséklet tartományát.

3.2.5. Az aszfaltrétegek építési előírásai

Az aszfaltkeverékek és a beépített rétegek mintavételi, vizsgálati és minőségtanúsítási előírásai lényegében megegyeznek az ÚT 2-3.301 műszaki előírásban rögzítettekkel.

Az aszfaltrétegek csak száraz, csapadékmentes időben építhetők, ha a levegő hőmérséklete száraz fogadó felületen a 9. táblázatban előírt értéket eléri.

Az aszfaltkeverékek hőmérséklete a beépítés helyén, a szállítójárműben mérve a 10. táblázatban megadott tartományba essék.

9. táblázat

Aszfaltkeverék-típus	Megengedett legkisebb léghőmérséklet [°C]
mK-20/F – NM	+ 5
mZMA-12 – NM	+ 8

10. táblázat

Az aszfaltkeverék kötőanyagának típusa	Beépítési hőmérséklet-tartomány [°C]
PmB-A15/30, PmB-A 30/60S	v=350 és v=200 mm ² /s viszkozitás értékekhez tartozó hőmérsékletek közötti tartomány a kötőanyag gyártójának adatszolgáltatása alapján

3.3. Kompozit pályaszerkezet

3.3.1. A pályaszerkezet méretezése

A kompozit pályaszerkezet merev pályaszerkezetnek tekintendő. Tervezési forgalmát (TF_{100}) az érvényes ÚT 2-1.202 utasítás alapján a 115 KN megengedett egyetengely terhelés figyelembevételével kell meghatározni. Az így meghatározott tervezési forgalom alapján lehet az 11. táblázatból az építendő pályaszerkezetet kiválasztani.

3.3.2. Általános építési feltételek

Egyenes vagy annak tekinthető sugarú íves szakaszokon a burkolat oldalesése 2,5%, egyéb helyeken a tervben előírt érték. A gyorsító- és lassító-, valamint leállósávok (ha vannak ilyenek) pályaszerkezete megegyezik a főpályáéval. A folyamatosan vasalt teherviselő betonlemez építési szélességének a megválasztásakor fontos szempont, hogy hosszhézag(ok) ne essen(ek) keréknyom alá, és elegendő szélességű legyen a rákerülő aszfalt kopóréteg megépítéséhez.

3.3.3. A pályaszerkezeti rétegek szerkezeti előírásai

- (a) A folyamatosan vasalt betonlemez szélessége azokon az oldalakon, ahol már építési sáv nem csatlakozik hozzá, az aszfalt kopóréteg szélességénél 10-10 cm-rel szélesebb legyen.

- (b) A 2x2, illetve 2x3 forgalmi sáv + leállósáv szélességű pályaszakaszokat oldalanként egy szélességben javasolt betonozni. A lassító és gyorsító sávokat, a csomóponti ágakat és az összekötő pályákat ugyancsak. Az ilyen szélességi fogásoknál a forgalmi- és leállósávok közötti, illetve a két forgalmi sávoss összekötőpályák közepvonalában létesítendő hosszhézagokat a betonozó géppel behúzott műanyag szalagokkal kell kialakítani.

- (c) A folytonos vasalású teherviselő betonlemezben
- kereszthézagokat csak a munka leállításánál teherátadó vasalású munkahézagként készítünk;
 - hosszhézagokat kell készíteni a forgalmi sávok csatlakozásánál és a leállósáv-haladásáv között;
 - dilatációs hézag készül minden olyan felüljárónál, amelynek felszerkezete a pályaszerkezethez csatlakozik.

- (d) Ha a pályát több sávban betonozzák, akkor az építési sávok találkozásánál szoros hézagként teherátadó vasalású hosszhézagot kell kialakítani.

3.3.4. Repedések áttükröződésének megelőzése

A kompozit pályaszerkezet folytonosan vasalt teherviselő betonlemezének felületén viszonylag sűrűn és tized mm nagyságrendű megnyílással kialakuló keresztirányú repedések, a beépítés során a finisher által behúzott hézagképző műanyag szalag mentén kialakuló hosszhézagok, valamint a munkahézagok termikus lélegző mozgását a kompozit szerkezet aszfalt kopórétegének tartósan, az áttükröződés kialakulása (reflexiós repedések keletkezése) nélkül el kell viselnie. A repedésekbe és hézagokba behatoló víz betonkorrozációs károkat okozna. Ez megakadályozható, azaz a beton felülete vízzáró lehet bitumenes alapú anyaggal, amely egyben a cementbeton teherviselő lemez és az aszfalt kopóréteg között tapadóhíd-hatást is kivált. Emellett ez a tapadóhíd réteg egyúttal feszültségelosztató hatású, tehát SAMI réteg is, legalább olyan mértékben, hogy a beton felületén lévő repedések és hézagok lélegző mozgásai ne gyakoroljanak olyan húzást az azzal együttdolgozó aszfalt kopórétegre, ami annak átrepedéséhez

11. táblázat

Megnevezés	Forgalmi terhelési osztály					
	$E, TF_{100}=3-10 \times 10^6$		$K, TF_{100}=10-30 \times 10^6$		$R, TF_{100}>30 \times 10^6$	
mZMA-12/Ko aszfalt kopóréteg	4 cm	5 cm	4 cm	5 cm	4 cm	5 cm
Meleg modifikált bitumennel ké-szülő szórt SAMI	2 cm		2 cm		2 cm	
Egymásra merőleges irányokban ≥ 100 kN/m szakítószilárdságú aszfalttráccsal erősített SAMI réteg		1 cm		1 cm		1 cm
C/P 4/3-35/KK minőségű folyamatosan vasalt kavicsbeton lemez	22 cm		24 cm		25 cm	
CK ₁ alapréteg vastagsága	20 cm		20 cm		20 cm	
Teherbírás az alaprétegen	$E_2 \geq 200$ MN/m ²					
Szivárgó paplan szükség szerint	Geodrain					
A földmű tükör teherbírása	$E_2 \geq 80$ MN/m ²					

vezetne. A SAMI réteg célszerűen modifikált bitumen-emulzióval készített kétrétegű felületi bevonat, vagy modifikált bitumenemulzióba fektetett olyan aszfalt-rács, amelynek szakadó nyúlása kisebb 3%-nál és szakítószilárdsága egymásra merőleges két irányban nagyobb 100 kN/m-nél.

3.3.5. A betonburkolat acélbetétei

A betonburkolat vastagságának középvonalában B 60.50-es szilárdsági jelű periodikus betonacélból **hosszirányú vasalás** helyezendő el, folyamatos átfedéssel szerelve. A hosszirányú betonacélok keresztmetszeti területe 0,67% vashányadnak feleljen meg. A 16 mm átmérőjű betonacélok esetében a 250 mm vastag lemezben a hosszirányú betonacélok kiosztása 120 mm, 240 mm vastagságú lemezben a betonacélok kiosztása 125 mm és 220 mm vastag betonlemezben a 16 mm átmérőjű betonacélokat 136 mm vaskiosztásnak megfelelően kell szerelni. A $\varnothing 16$ mm-es periodikus betonacél folyamatos hosszvasalást $40 \times d = 640$ mm hosszön átlapolással szükséges toldani. A toldások nem eshetnek egy keresztmetszetbe, azokat 60 fokos szögben eltolva célszerű elhelyezni.

Keresztirányban 70 cm-enként 12 mm-es periodikus acélbetét elosztóvasalást kell készíteni. A keresztirányú betonacélok toldására nincs szükség. A keresztirányú betonacélokat célszerű úgy kialakítani, hogy azok egyben a főbetétek szakszerű alátámasztását is biztosítsák. A hossz- és a keresztirányú acélbetéteket egymáshoz rögzítjük.

A külön betonozott forgalmi sávok között a betont teherátadásra vasalni kell! Az előző-, a haladó- és a leállósávok találkozásánál 60, illetve 120 cm-es hosszúságú, B 60.50-es, 22-es, periodikus betonacélokat 500 mm-es kiosztással – a rövidebb, hosszabb, rövidebb (és így tovább) vasakat váltakozva elhelyezve – kell a teherbíró kapcsolatot kialakítani. A teherátadó vasak középső 20 cm-ét kívánatos korrózióvédő bevonattal ellátni.

3.3.6. Lehorgonyzó fogak építése

A betonozási szakasz két végszelvényében, ezen kívül minden olyan felüljáró előtt és után, amelynek felszerkezete a betonlemezhez csatlakozik, 3 db 610 mm $\times$ 1000 mm-es vasbeton gerendát (fogakat) kell építeni. A betonburkolat folyamatos hosszvasalását a három, egymástól 6-6 méterre levő keresztgerenda betonjába vezetik be és horgonyozzák le.

A lehorgonyzó fogakba kerülő betonacélokat és a lehorgonyzó hosszvasakat a betonburkolat acélszerelésével együtt készítik. Az építési sáv burkolatának betonozása előtt szükséges a sáv szélességének megfelelő lehorgonyzó fog burkolat alatti részét betonozni, tűvibrátorokkal tömöríteni. A betonozott lehorgonyzó fogra közvetlenül a betonozás befejezése után célszerű a burkolati betont ráépíteni (friss betont a frissre) azért, hogy a két beton összedolgozása és szilárd

kapcsolata létrejöhessen. A keresztgerenda vasszerelését az MSZ 15022/1-86. szabványban megadott szerkesztési szabályok figyelembevételével kell kialakítani.

3.3.7. Építési előírások

A folyamatosan vasalt betonlemez betonja feleljen meg az ÚT 2-3.201 szerint a **CP4/3-35/KK** jelű beton követelményeinek, a nyomószilárdsági követelmény mellett a betonburkolatokra vonatkozó útügyi műszaki utasításban előírt húzószilárdságú legyen.

A betonhoz használt **adalékanyagok** feleljenek meg az ÚT 2-3.201 útügyi műszaki előírásban a CP 4/3 pályaburkolati betonra előírtaknak.

Kötőanyagként a CEM II/A 32,5 vagy 42,5 jelű, S (kohósalak) vagy P (trassz) kiegészítő anyag tartalmazó cementek alkalmazhatók. A cementtartalom legkisebb mennyisége 350 kg/m³.

A beton **víz-cement tényezője v/c = 0,43**-nál nagyobb nem lehet. A szükséges képlékenységi adalékszerrel állítható be. A betont légbuborékképző adalékszerrel kell előállítani, a frissbeton levegőtartalma 4,5%, a szilárd betonban a buborékok távolságát jellemző távolsági tényező $\leq 0,22$ mm legyen.

A folyósítószer adagolni kívánt mennyiségét a szállítási távolság, az időjárási körülmények, a szállítóeszközök és a bedolgozó gép ismeretében határozhatjuk meg.

3.3.8. A betonozás feltételei

A teherviselő lemezt csak száraz időben, 15-30 °C lég-hőmérsékleten szabad betonozni. A betonkeverék hőmérséklete legfeljebb 30 °C lehet a bedolgozás helyszínén a szállító járműben mérve. Esőben a munkát le kell állítani.

Az alapréteget a beton beterítése előtt szükséges vízzel nedvesíteni.

A lemezt az építési sáv teljes szélességében folyamatos előrehaladással kell betonozni. Betonozási sáv-szélességek megegyeznek a hézagaiban vasalt betonburkolatnál leírtakkal. (lásd 2. táblázat)

3.3.9. A hézagok kialakítása

Hosszhézagok: Az együtt betonozott sávok közötti hosszhézagot(kat) a betonozó gép által behúzott műanyag szalag(ok) alakítja(ák) ki. Az egymás mellé időben eltérő ütemben betonozott sávok csatlakozásánál a hosszhézagokat szoros hézagként kell kialakítani. E hézagokba is a terv szerinti helyeken a forgalmi sávok közötti vasalásnak megfelelő vasalást szokás elhelyezni. (lásd a 3.3.5. pontban)

Terjeszkedési hézagok: A betonozási szakasz elején és végén, a pályaszerkezethez csatlakozó felszerkezetű felüljárók előtt és után, valamint a kompozit és a csatlakozó más felépítésű pályaszerkezetek között terjeszkedési hézagot kell tervezni, illetve kialakítani. A tervezett terjeszkedési hézag vo-

nalára szimmetrikusan 1 m-es szélességű és 20 cm-es vastagságú – teljes pályaszélességű – vasbeton alátámasztó lemezt (párnabetont) szükséges a meglevő burkolat alá készíteni. A terjeszkedési hézagok mozgását rugalmas mozgásra képes kopóréteg sáv építésével célszerű megoldani.

3.3.10. A kompozit pályaszerkezet aszfalt kopórétege

Az mZMA-12/Ko típusjelű aszfaltkeverékek tervezési előírásai mindenben megegyeznek a 3.2. pontban ismertetett mZMA-12/NM kopórétegre vonatkozó előírással, azzal a különbséggel, hogy gyártásához kötőanyagként jobb hidegnyúlási képességű, PmB-A 60/100S típusjelű elasztomer modifikált bitument kell használni.

Az aszfalt kopóréteg építésének megkezdése előtti közvetlen időszakban elasztomerrel modifikált bitumenemulzióval és bitumennel impregnált, 14–17 kg/m² UKZ 8/12 zúzalékkal készített kétrétegű felületi bevonásként, vagy az aszfaltrács szállítója által megadott mennyiségű elasztomer-modifikált bitumenemulzióba ragasztott, merőleges irányokban ≤ 100 kN/m szakítószilárdságú aszfaltrácsból készített feszültségelosztató hatású SAMI típusú közbenső réteget kell építeni.

Az aszfalt kopóréteg tervezhető vastagsága – attól függően, hogy SAMI réteggént kétrétegű felületi be-

vonat avagy aszfaltrács készül-e – 4 cm, illetve 5 cm (lásd a 11. táblázatot is).

4. Záró megjegyzések

A cikkben vázolt három különböző, de azonos funkcionális célt szolgáló, a kompozit, illetve a nagy modulusú aszfaltok esetében újszerűnek mondható technológiák sikeres hazai adaptációja nagymértékben múlik azon, hogy a közeli jövőben megteszik-e a megkülönböztetett figyelmet követelő lépéseket a szerkezetek tervezése és minőségszabályozása, nemkülönben a kivitelezés-technológia fejlesztése, illetve honosítása felé. Mindegyik ismertetett pályaszerkezeti variánsnak megvannak az előnyei és a hátrányai. Választania a megrendelőnek kell a szerkezetek életciklus elemzése alapján. Egyetlen cél lehet: a forgalmi terhelésnek megfelelő teljesítményű, hosszú élettartamú, alacsony fenntartási költségigényű pályaszerkezeteket kell tudni tervezni, építeni minden esetben.

Végül megemlíjtük, hogy ezt a cikket a Dr. Ambrus Kálmán, Dr. Farkas György, Dr. Fi István, Dr. Gáspár László, Dr. Karsainé Lukács Katalin, Dr. Keleti Imre, Dr. Liptay András, Dr. Ódor Péter, Dr. Pallós Imre és Vinczéné Görgényi Ágnes által készített előtanulmányok, a Nemzeti Autópálya Rt. részére készített munkabizottsági anyagok, illetve specifikációk alapján állítottuk össze.

Nemzetközi Szemle

Stratégiai helyek az autópálya hálózaton – tervezési és üzemeltetési eszköz a polgári védelem számára

Strategic Sites in a Motorway Network a Planning and Operating Tool in the Realm of Civil Protection
Alexandre Debs

Roads 2003. I. No. 317. p. 72-81. á:4, t:6.

A polgári lakosság és a környezet védelme magába foglalja a környezet ismeretét, a sebezhetőség elemzését, a megelőző intézkedések kivitelezését, a beavatkozáskor szükséges intézkedéseket, az utólagos elemzést és a korszerűsítést. A folyamat első eleméhez tartozik a stratégiai helyek meghatározása a hatásos megelőzés és beavatkozás érdekében. A közutak esetén a módszer alapelve a kritikus helyek rangsorolása a különböző felmerülő kockázatok valószínűsége és a stratégiai hely kieséséből eredő társadalmi-gazdasági hatások szerint súlyozva. Számos jellemzőt vesznek figyelembe, ezek: az átlagos napi forgalom, a teherforgalmi hálózat sűrűsége, a lehet-

séges terelő utak kialakítása, a napi torlódásos időszak átlagos hossza, a szeizmikus érzékenység, valamint a műtárgyak (hidak, felüljárók, alagutak) fontossága és a csomópontok komplexitása. A kockázat valószínűsége természetesen nem határozható meg pontosan, ezért alkalmaznak rangsorolást. A rangsor megállapításához a kockázat valószínűségét szorozzák meg a káros hatás mértékével, figyelembe véve az úgynevezett riasztási szintet is, amely a szükséges beavatkozás időtartamától függ. Egy adott helyszín fontosságát a relatív prioritási index mutatja meg. 24 különböző, a közúti közlekedésre ható kockázatot értékelnek, melyek bekövetkezési valószínűsége függ a földrajzi elhelyezkedéstől. A kockázatok között különböző balesetek, természeti csapások, vezetékszakadások és hasonló események szerepelnek. A stratégiai fontosságú helyeken a kockázatok együttesen jelentkeznek, és a káros hatások jelentősége nagy. A módszert sikeresen alkalmazták Kanadában a Montreal-sziget autópálya hálózatának vizsgálatára, ahol 48 stratégiai helyet tártak fel.

G. A.

A forgalomnövekedés és az EU csatlakozás hatása a gyorsforgalmi úthálózat fejlesztésési programjában

Dr. Keleti Imre¹

1. A gyorsforgalmi úthálózat fejlesztési programja

A kormány a 2044/2003 (III. 14.) sz. határozatában a gyorsforgalmi úthálózatot a 2002 végén megvolt 625 km-ről 2015-re 2 580 km-re javasolja kiépíteni.

A 2003–2006-os időszakban az Európa Terv keretében a kormány olyan mértékű fejlesztést irányzott elő, amelynek eredményeként a jelenlegi 6,7 km/1000 km² sűrűségű hálózat kb. 11 km/1000 km² sűrűségűvé fejlődhet, azaz elérheti a mai 15 EU-tagállam ilyen paraméterének mintegy kétharmadát.

2. Az EU-hoz csatlakozás támasztotta igények

Magyarországon az európai integráció előrehaladtával a közlekedési munkamegosztásban az EU jelenlegi gyakorlatának a meghonosodása várható. A személyközlekedés ~90%-a, az áruszállítás ~70%-a bonyolódik majd le közúton, szemben az ezredfordulós 86%-os, illetve 50%-os értékekkel.

Az Európai Unióhoz való csatlakozás következményeként az országos közúthálózat szolgáltatási színvonalával szemben támasztott igények terén különös gondot kell fordítani arra, hogy a hálózat nehéz forgalommal intenzíven terhelt részei a vállalt határidőre megfeleljenek az EU 96/53/ EK számú irányelvben² foglalt kritériumoknak. Fontos, hogy a közúthálózat szolgáltatási szintje a továbbiakban lépést tudjon tartani ezzel az igénnyel, és e kihívásra az életciklusuk alatt gazdaságosan üzemeltethető pályaszerkezetekkel lehessen válaszolni.

3. A válasz kidolgozása

A Nemzeti Autópálya Rt. a KTI Rt., a BME Út- és Híd-építési Tanszéke, valamint Hidak és Szerkezetek Tanszéke vezető munkatársaiból munkabizottságot hívott életre abból a célból, hogy

- tanulmányozzák az Állami Autópálya Kezelő Rt.-nek az eddig épült pályaszerkezetekkel kapcsolatos fenntartási és üzemeltetési tapasztalatait,
- adjanak javaslatot a gyorsforgalmi utakon alkalmazandó hosszú élettartamú, minimális fenntar-

tás igényű pályaszerkezetek változataira és illesszék a híd-felszerkezetek kialakítását ezekhez a javaslatokhoz.

A munkabizottság

- összefoglalta a gyorsforgalmi utakon Magyarországon a pályaszerkezetekkel kapcsolatban eddig szerzett üzemeltetői tapasztalatokat;
- elemezte e pályaszerkezetek jellemző hibáit, azok okait;
- áttekintette a témához kapcsolódó közúti műszaki szabályozást, feltárta a szabályozásban fellelhető korszerűtlenségeket;
- forgalmi vizsgálattal megállapította a 2015-ig tervezett gyorsforgalmi úthálózat várható nehézforgalmi terhelését;
- értékelte a rendkívül nagy nehézforgalommal terhelt utak pályaszerkezet építésének nemzetközi, főként európai gyakorlatát, és összegezte az ilyen terhelésnek megfelelő pályaszerkezetek kialakítására készült hazai kísérleti útszakaszok eredményeit;
- a hazai gyorsforgalmi utak körülményeire adaptálta az útpályaszerkezetek életciklus elemzésének módszerét;
- pályaszerkezet változatokat dolgozott ki, és azok életciklus költségeinek alapvető szem előtt tartásával javaslatot tett a 2006-ig megvalósuló gyorsforgalmi utakon a tervezési élettartam alatt várható nehézforgalomnak és a klimatikus viszonyoknak egyaránt megfelelő pályaszerkezet megoldásokra;
- javaslatot tett a vonatkozó útügyi műszaki előírások korszerűsítésére mind az útpályaszerkezetek, mind a híd-felszerkezetek terén és kidolgozta azokat a *Közúti Alkalmassági Tanúsítványokat* és *Műszaki Szállítási Feltételeket*, amelyek a műszaki előírások korszerűsítését megalapozzák.

A munkabizottság munkáját az AÁK Rt., az ÁKMI Kht., az UNITEF Rt. és a Reformút Kft. felkért szakemberei opponálták. Az oppozíciók alapján véglegesített javaslatokat az NA Rt. témakollégiuma fogadta el azzal, hogy a javaslatok véglegesítésére a 44-es főút Békéscsaba és Gyula között épülő 2x2 forgalmi sávra bővülő szakaszán – amely majd az M44-es része lesz – ez év augusztusában és szeptember elején megépülő próbaszakaszok tapasztalatait is felhasználva kerül sor.

Az NA Rt. minderről tájékoztatta a Közúti Közlekedési Főosztályt és megkapta az engedélyt a próbaszakaszok építésére. További feladat a szükséges *Közúti Alkalmassági Tanúsítványok*, valamint a *Műszaki Szállítási Feltételek* kidolgoztatása mind a pá-

¹ Okleveles építőmérnök, okleveles gazdasági mérnök, egyetemi doktor, ügyvezető igazgató, ORKA Mérnöki Tanácsadó Kft.

² Ez az irányelv 11,5 t-ás egyes- és 18 t-ás terhelésű kettőtengelyeket engedélyez az összesen 44 t gördülő súlyú tehergépjárműveken, szemben a hatályos magyar előírás 10, 16, 40 t-ás értékeivel. Az irányelvben foglaltak teljesítésére a csatlakozást előkészítő tárgyalások során 2008-ig kaptunk halasztást.

lyaszerkezetekre, mind az ezekhez kapcsolódó, azokkal egy rendszert képező felüljáró felszerkezetekre. A főosztály e dokumentumok jóváhagyását az ÁKMI feladatává tette.

A következőkben a bizottsági munka és a szabályzatok kidolgozásának NA Rt. által megbízott konzulenseként

- a gyorsforgalmi utakon eddig alkalmazott pályaszerkezetek hibáiból levonható tanulságokra;
- a gyorsforgalmi hálózat nehézforgalmának hosszú távon várható alakulásából levont következtésekről;
- a mindezek alapján kialakított pályaszerkezetek tervezési gondolatmenetéről;
- a javaslatba foglalt megoldásokról

adok összefoglaló áttekintést azzal, hogy a részleteket a munkabizottság vezető munkatársai taglalják majd.

4. Az eddig épült pályaszerkezetek hibái, tanulságok

Az országos közúthálózaton (és a helyi utakon is) immár két évtizede olyan hibák is mutatkoznak, amelyek a pályaszerkezetekben alkalmazott anyagoknak a forgalom és az időjárás együttes igénybevételével szembeni elégtelen ellenállására, az alkalmazott pályaszerkezet típusra és a nem kellően körültekintő méretezésre vezethetők vissza. Néhány példa az országos közúthálózat főhálózatán e témakörben tapasztaltakról:

- Centiméter rendű táblaelfmozdulások az M7 autópálya vasalás nélküli hézagokkal 1962 és 76 között épült betonburkolatán és korai kátyúsodás a légpórus nélküli betonból épült bal pályaszakasz első 34 km-én.
- Reflexiós repedések korai jelentkezése olyan félmerev pályaszerkezeteken, ahol a CKt alaprég felett 16-20 cm aszfalt réteg épült (az M1, M3, M5 autópályáknak az 1975 és 1989 között üzembe helyezett szakaszai), holott azok tervezése idején az volt a nemzetközileg elfogadott axióma, hogy 12 cm-nél vastagabb aszfaltrétegen már nem, vagy csak a pályaszerkezet szolgálati ideje végén tükröződik át az alatta lévő és táblákká törött hidraulikus kötésű alaprég repedésekepe.
- Az M1 Tatabánya és Győr közötti jobb pályája, ahol a garanciális időn belül szakaszos nyomvályúsodás alakult ki.
- Az M0 déli szektorán korai nyomvályúsodás. Ez a hiba a javítások után is megállíthatatlanul jelentkezik.
- A 2x1 forgalmi sávok kiépítés miatt, de a kapaszkodó sávokon is csatornázott mozgásra kényszerített nehézforgalom sok főútszakaszon nagy hosszban nyomvályúkat okoz, e szakaszok közül egyre több emiatt már balesetveszélyesnek minősíthető.
- Termikus repedések jelentkeznek korán a ZMA típusú új kopórégeken, pl. az 1995-ben forgalomba helyezett M1 győri elkerülő szakaszán.

- Reflexiós repedések jelennek meg a mikro-repszéssel, illetve a KRAFT módszerrel kezelt CKt alaprégű szerkezetekben (az M1, az M5, az M3 1995 után épült szakaszai).
- A garanciális időn belül pályaszerkezet repedések, háttöltés süllyedések keletkeztek az M3 Gyöngyös és Kál közötti szakaszán.
- A garanciális időn belül jelentős mértékű a süllyedés a 610-es út Deseda-patak völgyét keresztező töltésében, valamint a háttöltés süllyedés a 33-as út M3–3as főút közötti szakaszán.

Megnyugtató szakmai megoldás a hibákra eddig nem adatott. A jelenségekből a laikus szemlélő az utóbbi időben mindeközben egyre inkább arra következtet, hogy a munkák rossz minőségben készülnek és a megrendelők e felett szemet hunynak. Különösen erősödik ez a vélemény akkor, ha a hibák elhárítása az utazási időt meghosszabbító forgalomkorlátozást von maga után.

A munkabizottság arra a megállapításra jutott, hogy az elmúlt 10-15 évben keletkezett hibák egyike sem vezethető vissza egy kizárólagos okra. Kialakulásukban az állami megrendelők nem kellően következetes igényei, a tényleges előkészítési idők rövidsége, az állam mint tulajdonos által vezérelt műszaki fejlesztés megszűnése és ebből következően az útépitési technológiák adaptációjának késedelme vagy elmaradása, a műszaki tervezés és szabályozás korszerűtlen szemlélete, a kivitelezők igényeinek a szabványokban való túlzott érvényesülése, a közbeszerzés rendezetlensége, végül, de nem utolsósorban a hálózat fejlesztésére és fenntartására szánt keretek kiszámíthatatlanul fluktuáló volta egyaránt szerepet játszott.

A munkabizottság úgy véli, hogy a közutat a benne lévő felüljárókkal együtt egységes szerkezetnek tekintő szemlélettel kell tervezni, különös figyelemmel a forgalmi, a klimatikus és a hidrológiai, valamint az üzemeltetési hatások okozta együttes igénybevételeknek megfelelő anyagok és szerkezeti megoldások egyenkapacitási elven alapuló alkalmazására. Fontos, hogy a megrendelő tervezési diszpozíciója egyértelmű legyen, a szabályzatok a mindenkor legjobb technológiai színvonalhoz igazodjanak, a minőségi előírások a létesítmények hosszú élettartamát, kis fenntartási igényét támogassák. A pályaszerkezetek ilyen elvű tervezésének a megvalósítása érdekében a munkabizottság által levont következtetések:

- (a) A megrendelőnek már a tanulmányterv vagy a megvalósíthatósági tanulmány szakaszában pontosan meg kell határoznia azokat az élettartami, fenntartási és üzemeltetési igényeket, amelyeket a tervezőnek szem előtt kell tartania.
- (b) A földművek tervezésére nagyobb gondot kell fordítani. Különösen fontos a pályaszerkezet alatti 1 m vastag rész, amelynek teherbírását az érvényes előírásokhoz képest növelni, a növelt teherbírást pedig konzerválni kell.
- (c) Nem épülhet kötőanyag nélküli teherviselő és teherelosztó szerepű alaprég a gyorsforgalmi utak pályaszerkezetébe.

Forgalmi terhelési kategória	Hálózat hossz [km]	ÁNF 2015-ben kereken [eJ/nap]		Nehézforgalom arány [%]		A forgalmi terhelési kategóriába eső gyorsforgalmi útszakaszok
		átlag	szélső értékek	átlag	szélső értékek	
E $F100=3\cdot10^{10^6}$	242	6	3-10	12	8-20	• M6 Bóly–Pécs • M25, • M30 Miskolc–oh. • M56 Boly–oh • M70 Letenye–oh
K $F100=10\text{--}30\cdot10^{10^6}$	1 790	14	10-30	15	4-26	• M2, • M3 Füzesabony–oh, • M4, M5; • M6 Dunaújváros–Bóly, • M7 Szabadbattyán–oh, • M8, M9, M10, M15; • M30 Emőd–Miskolc, • M31, M35, M43, M44; • M86
R $F100 \geq 30\cdot10^{10^6}$	504	30	15-50	19	8-22	• A teljes M0, és M1 • M3 Bp–Füzesabony, • M6 Bp–Dunaújváros, • M7 Bp–Szabadbattyán.
Összesen	2 536					

- (d) A kifogástalan teherbírási teljesítményű félmerev pályaszerkezeteknél a reflexiós repedések kialakulásának megakadályozására vagy legalább is korlátozására kell törekedni úgy, hogy azok a burkolati réteg (kopó- és kötőréteg együtt) szolgálati idejének végénél előbb tömegesen ne jelenjenek meg.
- (e) A nehézforgalom által nagymértékben igénybe vett pályaszakaszokon, különösen ott, ahol a forgalom sűrűsége a nehézjárműveket csatornázott mozgásra kényszeríti, merev pályaszerkezeteket kell alkalmazni.
- (f) A lehetséges merev pályaszerkezetek közül – figyelemmel az európai gyakorlatra és a hazai éghajlati sajátosságokra – a hézagaiban vasalt betonburkolattal, illetve a folyamatosan vasalt teherviselő betonlemezen nagy modulusú, modifikált bitumennek készülő aszfalt kopórétegű kompozit szerkezetet tanácsos alkalmazni.
- (g) A jelentős nehézforgalmú útszakaszokon, ha félmerev pályaszerkezetek építésére tesz javaslatot a tervező, akkor a pályaszerkezet aszfalttrétegei csak nagy modulusú, modifikált bitumennel készített keverékek lehetnek.
- (h) A tervezőnek a pályaszerkezet tervezése során az életciklus elemzéssel kell a megfelelő változatot kiválasztania, figyelemmel a pálya részét képező felüljárók burkolatának az illesztésére.

5. A forgalmi vizsgálat

5.1. A hálózat forgalmi terhelésének a mértéke

A pályaszerkezetek méretezése szempontjából a bizottság megvizsgálta a jelenlegi és a fejlesztés eredményeként 2015-re létrejövő 2 580 km-es hálózat

2 536 km-es döntő részének a forgalmát³. Ennek során meghatározták a forgalomba helyezés időpontjára, illetve egységesen a 2015. évre, a pályaszerkezet méretezéséhez szükséges ÁNF értékeket, az $E=115$ kN súlyú tengelyek áthaladásából számított $F100$ értékeket, valamint a nehézforgalom arányát. Ezen alapult a vonalak vagy azok szakaszainak a terhelési osztályba sorolása. Mivel az $F100$ értékek esetenként meghaladták a $30\cdot10^{10^6}$ mértéket, ami a jelenlegi szabályozás szerint a **K** (különösen nehéz) terhelési kategória felső határa, ezért a bizottság bevezette a **rendkívül nehéz**⁴ forgalmi terhelési kategóriát, amit **R**-nek nevezett el és $F100$ értékének alsó határát $\geq 30\cdot10^{10^6}$ mértékben állapította meg. Az eredményeket az 1. táblázat és az 1. ábra foglalja össze.

Az eredmények azt mutatják, hogy

- a mértékadónak tekintett 2015-ös évben a hálózat zöme (70-71%) a különösen nehéz (**K**, $F100 = 10\text{--}30\cdot10^{10^6}$), az idővel csökkenő hányada (20→10%) a nagyon nehéz (**E**, $F100 = 3\cdot10^{10^6}$) és növekvő hányada (9→20%)-a a rendkívül nehéz (**R**, $F100 \geq 30\cdot10^{10^6}$) forgalmi terhelési osztályba kerül (2. ábra);
- a 2003–2006. év között forgalomba helyezni tervezett szakaszokon a **K** terhelési osztály a domináns (3. ábra);
- a nehézforgalom koncentrációja a hálózaton kisebb, mint a tervezési időszak kezdetén a hálózat bővüléséből és szerkezetének javulásából következően (4. ábra).

³ Nem terjedt ki az elemzés a gyorsforgalmi utak hálózatába sorolt, az M3 és M35-ös autópályák kapcsán Nyíregyháza és Debrecen térségében megvalósuló főúti fejlesztésekre.

⁴ A rendkívül nehéz kategória (**R**) tervezési szabályzatban még nem szereplő osztályköz.



1. ábra: A 2044/2003 Korm. sz. határozat szerint 2015-ben üzemben lévő gyorsforgalmi úthálózat vonalainak forgalmi terhelési osztályai

5.2. A forgalom tulajdonságai

A helyesen tervezett és az eltérhető forgalomnagyság alatti forgalommal terhelt **E** terhelési osztályú gyorsforgalmi utakon a tapasztalatok szerint a forgalom folyamatos, és a nehézjárművek aránya a forgalomban nem vonja maga után azok csatornázott mozgását a burkolaton. A **K**, de különösen az **R** terhelésű utakon, ahol a nehézjárművek aránya a teljes forgalom 20%-a körüli, már elkerülhetetlenül kialakulnak nehézjármű konvojok, és ezek még 2x3 forgalmisávós keresztmetszeti kialakítás esetén is csak a leállósáv melletti haladó sávban mozognak. Ez jól látható a jelenlegi hálózat egyetlen 2x3 forgalmisávós szakaszán (M1-M7) és a 3-as és 5-ös városi főforgalmi utakon.

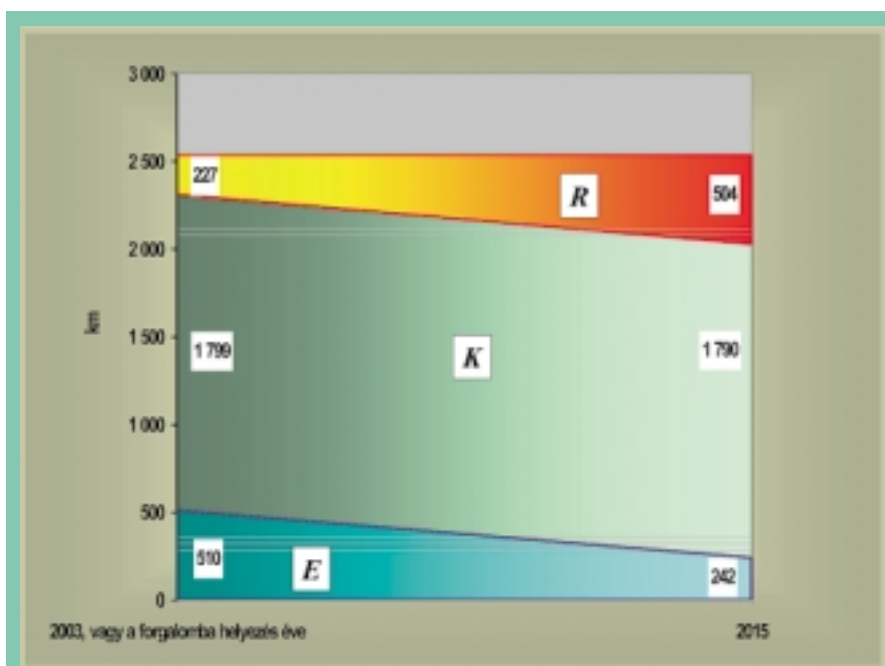
közötti szakaszon, valamint a sugárirányú autópályák M0 közeli szakaszain, különösen az M1, M3, M6, M7 vonalakon.

5.3. Az útpályaszerkezetek kialakításának szempontjai

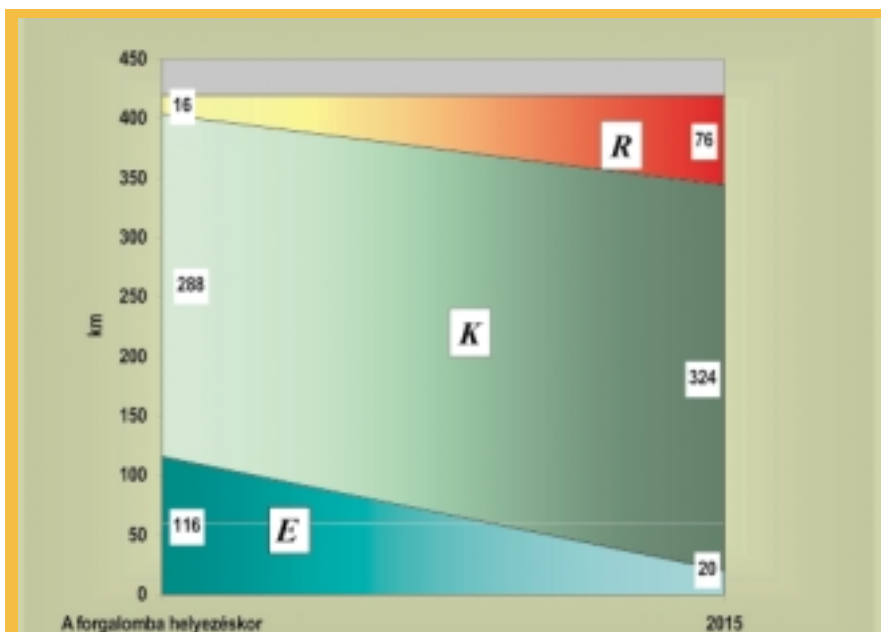
A forgalom nagysága és összetétele, a forgalmi áramlat dinamikája, azon belül a csatornázott forgalomra kényszerülő nehézjárművek mozgása, a pálya üzemeltetési és fenntartási műveleteinek lebonyolítása és azoknak a forgalomra gyakorolt hatása azok a tényezők, amelyeket a pályaszerkezet megtervezésekor különös gonddal kell mérlegelni. A következő szempontok 2x2 forgalmi sávós szakaszokra vonatkoznak.

Ezekben belül is külön esetet jelentenek a kapaszkodósávós szakaszok. Azokon a vonalakon, ahol bizonyos ideig kapacitási szempontokból a 2x1 forgalmi sávós kiépítés elegendő, a nehézforgalmi arány ismeretében kell a lehetséges változatokat értékelni.

5.3.1. Az E terhelésű vonalakon általában nem várható a nehézjárművek tömeges forgalma és ebből következő csatornázott, sűrű konvojban való mozgása. Pályaszerkezetként félmerev pályaszerkezet javasolható az ÚT 2-1.002. előírás szerint. A szerkezetnek olyannak kell lennie, amelyen a reflexiós repedések a kopóréteg élettartama vége előtt nem jelennek meg, az alkalmazott aszfaltanyagok nem hajlamosak a maradó alakváltozásokra és kellő rugalmasságúak a



2. ábra: A 2015-re tervezett gyorsforgalmi úthálózat forgalmi terhelési osztályainak változása



3. ábra: A 2003-2006 között forgalomba helyezni tervezett gyorsforgalmi utak forgalmi terhelési osztályainak változása

téli hőfeszültségek elviselésére. Általános esetben a modifikált bitumenek használatát a kopóréteg építésére lehet korlátozni. A burkolat felszíne és a pályafelület olyan egységes kialakítású és keresztmetszeti méretű, hogy az eseti vagy rekonstrukciók miatti rövidebb-hosszabb idejű forgalomterelések gond nélkül megoldhatók.

5.3.2. A K forgalmi terhelésű vonalakon, különösen a terhelés felső tartományában ($F_{100} > 15 < 30 \times 10^6$), a nehézjárművek mozgása konvojszerűen csatornázottá válik. Az alkalmazott pályaszerkezet félmerev kialakítású lehet, ismételten az ÚT 2-1.002 előírás szerkesztési elvei figyelembevételével, de már csak nagy modulusú aszfaltkeverékek használatával. Ezek az anya-

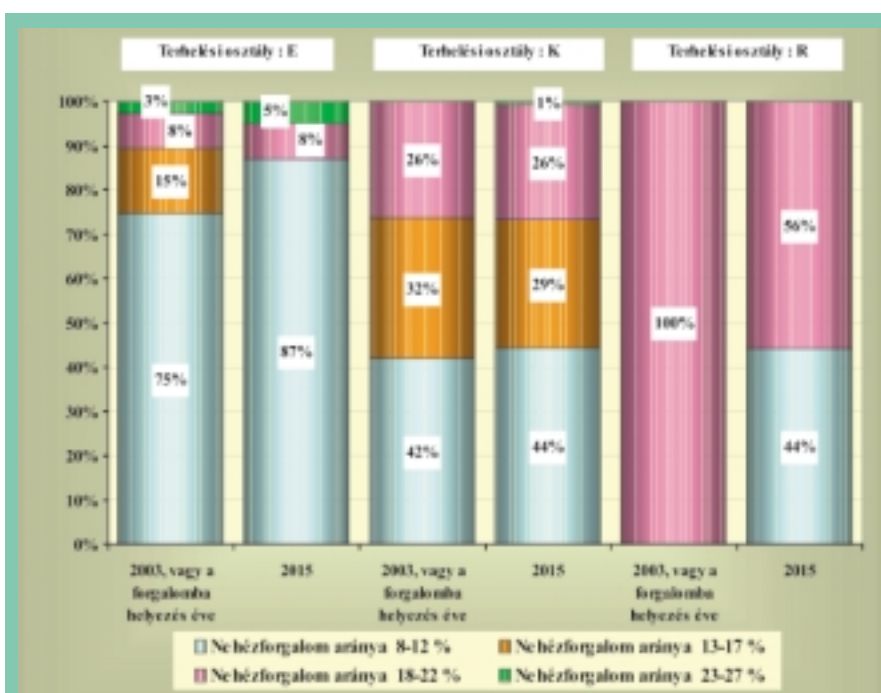
amely mozgás akár egyidejűleg két forgalmisávot is igénybe vehet, és olyan mozgási dinamikájú is lehet, amely a burkolatra extra nyíró és csúsztató igénybevételekkel is hat. E forgalmi terhelési kategória alsó határa a jelenleg érvényes ÚT 2-1.002. jelű aszfaltpálya-szerkezet méretezési előírás tervezési forgalmának felső határától kezdődik. Ezért az ilyen kategóriába eső utak pályaszerkezetét külön eljárás keretében, külföldön elfogadott méretezési eljárásokkal is ellenőrizve kell megtervezni. Különös gondot tanácsos fordítani az összes tényező mérlegelésére, hogy

- repedésre és deformációra nem hajlamos,
- hosszú élettartamú,
- alacsony fenntartásigényű,
- könnyen és olcsón üzemeltethető

pályaszerkezetet tervezhessünk, annál is inkább, mert a szóban forgó forgalomnagyságok már nem tűnnek a pályán állandósuló fenntartási, illetve sűrűn előforduló rekonstrukciós műveleteket.

A nemzetközi gyakorlat szerint az ilyen forgalmi és útkezelői igényeknek kontinentális éghajlaton a vasalt kereszt- és hosszézagú betonburkolatok és a kompozit pályaszerkezetek felelnek meg. Ez utóbbiak a folyamatosan vasalt betonburkolat tartós teherbírását ötözik az aszfalt kopóréteg előnyös utazáskényelmi, fenntartási és üzemeltetési tulajdonságaival. Óceáni éghajlaton a folyamatosan vasalt betonburkolatok, illetve a nagy modulusú aszfaltkeverékeket alkalmazó rugalmas vagy félmerev pályaszerkezetek is jól teljesítenek.

Az **R** forgalmi terhelési osztály



4. ábra: A nehézforgalom koncentrációjának változása

összes következménye, beleértve a forgalom specifikus és externális hatásait is, az M0 déli szektorában már megvalósul, keleti szektorában, valamint az M1-en, az M3 és M6 fővárostól mért 70-100 km-es távolságra eső szakaszain pedig meg fog valósulni. Ezért ezeken a szakaszokon kell az említett pályaszerkezeti megoldások közül a legjobban megfelelőt alkalmazni az építés és a majdani rekonstrukció során. Ezt már csak azért is meg kell tenni, mert az M0 működő szakaszán szerzett kellemetlen és drága tapasztalatok már bebizonyították, hogy e szakasz problémáját a – szabályzatokkal ugyan alátámasztott, de e téren kudarcot vallott – jelenlegi pályaszerkezet tervezési és építési gyakorlatunkkal nem tudjuk megoldani.

6. Méretezési gondolatmenet

6.1. A földmű

A pályaszerkezeti javaslatok kialakításakor a bizottság különös gondot fordított a pályaszerkezet alatt elhelyezkedő és az egyenletes alátámasztást biztosító 1 m vastag földműréteg kialakítására és teherbírási paramétereinek a meghatározására.

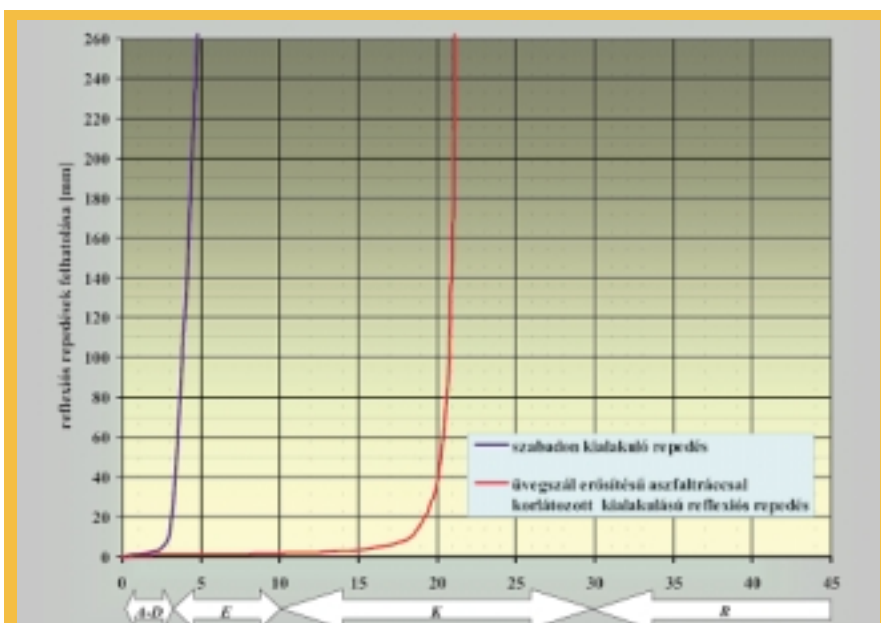
A szabályzatokkal alátámasztott mai gyakorlat a földmű felső 50 cm-ét tartja kitüntetett fontosságúnak, és e réteg felszínére – szükség szerint szemcsés javítóréteg alkalmazásával – $E_2 \geq 50 \text{ MN/m}^2$ teherbírást ír elő a pályaszerkezet építési kritériumaként. Nem rendelkezik e teherbírás konzerválásáról, állandónak feltételezve azt. E szemlélet és tervezői gyakorlat legutóbb az M3 Gyöngyös–Füzesabony szakaszán vallott kudarcot.

Ezt elkerülendő az **E**, **K**, **R** forgalmi terhelési kategóriákban a 115 kN-os egyes tengely vagy a 180 kN-os ikertengely terhelésű járművek támasztotta igénybevételére méretezett pályaszerkezeteket a bizottság a pályaszerkezet típusától függetlenül olyan földműre javasolta építeni, amelynek kitüntetett 100 cm vastag felső rétege jól graduált, jól tömöríthető szemcsés talajból készül, tömörsége $\text{Trg} \geq 95\%$, teherbírása $E_2 \geq 80 \text{ MN/m}^2$. Ezt a teherbírást az 1 m-es földműréteg felső 15 cm-ének helyszíni cementstabilizációjával (esetleg ilyen vastag CTt réteg felhordásával) lehet elérni és szükséges konzerválni.

6.2. Az alaprétegek

Alapréteggként merev pályaszerkezeteknél és a **K** osztályig a félmerev pályaszerkezet esetén CKt, az **R** osztályú félmerev szerkezetnél C12 jelű betonból készített réteg a javaslat.

A merev és a kompozit pályaszerkezet-változatoknál a réteg nem kap hézagolást és nincs rajta repe-



5. ábra: A reflexiós repedések áttükröződésnek korlátozási lehetősége aszfalttalcsal

dést szabályozó beavatkozás, mivel a merev burkolati réteg érzéketlen az alaprétegből kiinduló reflexiós repedésekre.

Félmerev szerkezeteknél a KRAFT eljárással 2,5 m-es távolságban hézagolt Ckt alaprétegek felett az aszfalttalcsal felszínén a reflexiós repedések kisebb mértékben, de megjelentek. Ezért az így hézagolva készülő hidraulikus kötésű alaprétegekre feszültségmegszakító SAM réteg elhelyezése indokolt, hogy a reflexiós repedések megjelenését a pályaszerkezet burkolatának szolgálati ideje végére, tehát akkorra toljuk ki, amikor a kopóréteg avagy a burkolati rétegek (kopóréteg és felső teherviselő réteg) felújítása már egyébként is esedékes. A javasolt megoldás (ami a 610-es út építésén 2002-ben már megvalósult) várható eredményének szemléltetésére bemutatjuk egy amerikai kutatásból⁵ származó információ hazai nehézforgalmi terhelésre adaptált változatát. (5. ábra)

6.3. A merev pályaszerkezetek

Három megoldást vizsgált a bizottság: a hézagaiban vasalt bazaltbeton burkolatot, a folyamatosan vasalt bazaltbeton burkolatot és a kompozit pályaszerkezetet.

A **hézagaiban vasalt betonburkolatban** – mint köztudott – a vasalás a táblák közötti teherátadást szolgálja.

A **folyamatosan vasalt betonburkolatban** – amelyet kereszt- és hosszirányú hézagvágással nem osztanak táblákra – a vasalás a repedések megnyílásának a korlátozását és nem a teherviselő képesség növelését szolgálja. A vasmenyisíget ennek az elvnek megfelelően kell tervezni a hazai klimatikus viszonyok figyelembevételével úgy, hogy a keresztirányú repedések távolsága 1,5 m-nél ne legyen na-

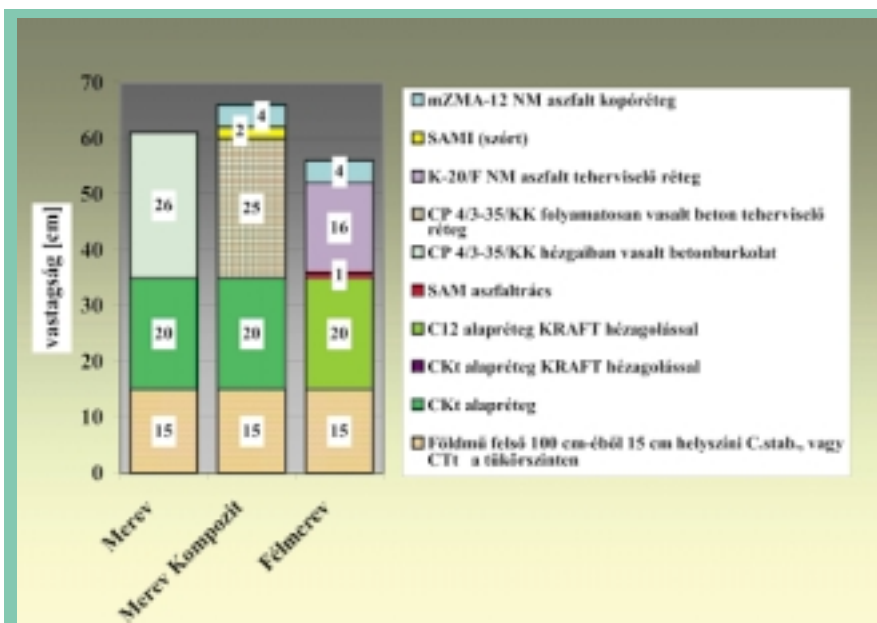
⁵ Petromat Use Over Asphalt Concrete. Case History # 10 AMOCO. 1997.

gyobb, és a repedések megnyílásának mértéke csak $\leq 0,2$ mm lehessen. Az ilyen pályák hosszirányú hézagait a betonozó gép által behúzott, bennmaradó keresztmetset-csökkentő műanyagszalag jelöli ki.

Az ugyancsak merev **kompozit pályaszerkezetben** a teherviselő réteg a folyamatosan vasalt betonlemez. Szerkesztési és építési elvei megegyeznek a folyamatosan vasalt betonburkolatével. Ezen a teherviselő lemezen a burkolati réteg szerepét egy 4 cm vastag mZMA-12 típusú nagy modulusú aszfalt kopóréteg látja el. Azért, hogy a termikus repedések ezen a kopórétegen annak élettartama alatt ne, vagy csak az élettartam végén jelenjenek meg, a teherviselő betonlemezen modifikált bitumennel vagy modifikált bitumenemulzióval készülő szórt SAMI réteg alkalmazása szükséges. Ha ez a SAMI réteg modifikált bitumenemulzióval leragasztott aszfaltrács, akkor az aszfalt kopóréteg vastagsága 5 cm.

6.4. A félmerev pályaszerkezetek aszfaltrétegei

A **K** és az **R** osztályú félmerev pályaszerkezet-változatok burkolati rétege 14+4 és 16+4 cm vastag K-m20/F és mZMA-12 típusú nagy modulusú aszfaltból készül. Ezeket a keverékeket a tranzit nehézforgalom által különösen terhelt 7538-as számú úton 1999-ben kipróbálták. Az azóta eltelt három év kedvező tapasztalata alapján bátran ajánlhatta azokat a bizottság. A SHELL laboratóriumok és a nottinghami egyetem által kifejlesztett méretezési módszerrel ellenőrzött két változatban a nagy modulusú (NM) aszfaltminőség lehetővé teszi a jelenleg érvényes méretezési utasítás szerint a **K** terhelésre előírt, illetve számítás szerint a hagyományos aszfaltkeverékek esetén a teherviselő aszfaltréteg vastagságokat 2-2 cm-rel csökkenteni.



6. ábra: A vizsgált és értékelt R osztályú pályaszerkezet alapváltozatok

7. Az R forgalmi terhelésű pályaszerkezetek megvizsgált és értékelt alaptípusai

A bizottság vizsgálatait a bemutatott szerkesztési elvek alapján kialakított

- nagy modulusú aszfaltokat használó félmerev,
- hézagaiban vasalt betonburkolatot alkalmazó merev és
- folyamatosan vasalt teherviselő lemezű, aszfalt kopórétegű, ugyancsak merev

pályaszerkezetekre összpontosította. Ezeknek az **R** osztályú alapváltozatait a 6. ábra szemlélteti.

A vizsgálatok kiterjedtek az életciklus költségeinek a meghatározására (az építés, a fenntartás, valamint a fenntartási és üzemeltetési műveletekből a közutat igénybevevők úthasználói költségei jelenértékre diszkontálva). Elemezte a vizsgálat a környezeti, a járműdinamikai és a forgalombiztonsági hatásokat. Mindezek alapján SWOT analízist is használva tett javaslatot a bizottság a Nemzeti Autópálya Rt.-nek az alkalmazandó pályaszerkezetekre, az azokhoz tartozó műszaki szállítási feltételek kidolgozására, és ha a próbaszakaszok megfelelnek, azok véglegesítésére.

Hosszú távon gazdaságos pályaszerkezet-változatokra adott javaslat a hazai rendkívül nehéz forgalmi terhelésű autópályákra

Dr. Gáspár László¹

1. Előzmények

A hazai gyorsforgalmi úthálózatnak (autópályáknak, autótutaknak) a felgyorsuló kiépítése még az eddigieknél is fokozottabb mértékben irányítja rá a figyelmet a hosszú távon is megfelelő és gazdaságos útpályaszerkezet-változatok kiválasztására. Különös kihívás a nagy tengelyterhelésű járművek gyakori gyorsítása és lassítása miatt erősen igénybe vett rendkívül nagy nehézforgalmú szakaszok pályaszerkezetének a megtervezése.

Az M0-s autótut nagy nehézforgalmú szakaszain az elmúlt évtizedben – az ismételt burkolat-felújítások ellenére – újra meg újra mély keréknyomvályúk keletkeztek, pedig a tervezők olyan aszfalttrétegek építését irányozták elő, amelyek a hazai ismeretek szerint az alakváltozásnak leginkább ellenálltak.

2. Munkabizottság alakítása

Nyilvánvalóvá vált, hogy az M0-s autótuton a rendkívül nagy (intenzív) nehézforgalomnak megfelelő burkolat építését a hazai aszfalttechnológiák hosszú távon hatékonyan (tartósan) nem teszik lehetővé. Ugyanakkor az említett autótut mintegy 29 km-es hosszúságú szakaszának autópályává bővítése, illetve – már első lépésben – a létesítmény továbbépítése autópályának, a legközelebbi jövő feladatai közé tartozik². A forgalmi előrebecslések szerint pedig a Budapest körül fokozatosan kiépülő körgyűrű egyre több tehergépjárműnek teszi lehetővé a főváros kikerülését. Az újonnan épülő M0-s szakaszokon ezért mind nagyobb és nagyobb nehéz forgalmi terhelésre lehet számítani.

Mindezek figyelembevételével a hazai gyorsforgalmi utak beruházója a Nemzeti Autópálya Rt. szakmai munkabizottság (a továbbiakban: munkabizottság) összehívása mellett döntött. A munkabizottságot a Közlekedéstudományi Intézet Rt. (KTI Rt.) vezette. A munkában a Budapesti Műszaki Egyetem Út- és Vasútépítési, valamint Hidak és Szerkezetek tanszéke szakemberei is jelentős részt vállaltak. Emellett még hét további, országosan elismert szakértő is bekapcsolódott a tanulmány készítésébe, illetve annak bírálatába. A munka konzulense dr. Keleti Imre (ORKA Kft.) volt.

A munkabizottság feladata elsősorban az volt, hogy a kormány hosszú távú gyorsforgalmi úthálózat-fejlesztési tervében szereplő szakaszok közül kiválassza

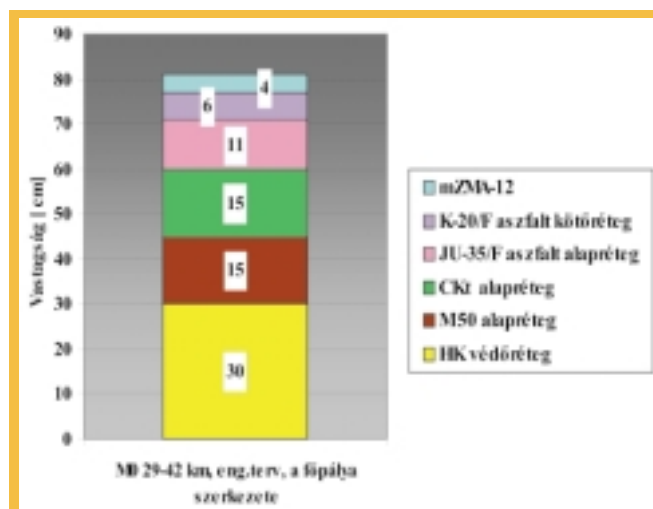
azokat, amelyeket tervezési élettartamuk alatt rendkívül nagy nehézforgalom vesz majd igénybe, és kidolgozza azok hosszú távon gazdaságos pályaszerkezet-változatait, különös tekintettel az M0-s gyűrű újonnan autópályaként épülő keleti és északi szektoraira, valamint autópályává fejlesztendő déli szektorára.

3. Az eredeti és a vizsgálatra javasolt pályaszerkezet-változatok

Az M0-s autópályának az M5-ös autópálya és a 4. út közötti szakaszára a munkabizottsági tevékenység idejére már elkészült engedélyezési tervek a következő pályaszerkezeti rétegrendet tartalmazták:

- 4 cm mZMA-12 jelű kopóréteg
- 6 cm K-20/F jelű kötőréteg
- 11 cm JU-35/F jelű aszfalt alaprég
- 15 cm CK₁ jelű cementstabilizációs alaprég
- 15 cm M50 jelű mechanikai stabilizációs alsó alaprég

A földmű felső 30 cm-es vastagságú részét homokos kavics anyagú javítórétegből tervezték megépíteni (1. ábra).



1. ábra: Az M0 29-42 km szakaszának az engedélyezési terv szerint pályaszerkezete

A munkabizottság megállapította, hogy az egyes európai országok az itt vizsgáltatott hasonló, rendkívül nagy nehéz forgalmi terhelésű autópálya-építési kihívásra más-más választ adtak. A franciák a nagy modulusú aszfaltkeverékeket részesítik előnyben. Az Egyesült Királyság és Olaszország a kompozit pályaszerkezeteket tekinti megoldásnak. Belgium szerint ilyen esetekben a legmegfelelőbb a folytonosan vasalt betonburkolat, míg az osztrákok a hézagaiban vasalt („hagyományos”) betonburkolatot alkalmaznak.

¹ Tudományos igazgató (KTI Rt.), egyetemi tanár (Széchenyi István Egyetem, Győr)

² Lásd: a 2044/2003 (14.) sz. kormányhatározatot

A hollandok a nagy modulusú teherhordó aszfaltrétegen a zajcsökkentő, vízáteresztő kopórétegek mellett tették le a voksukat. A szakembercsoport mindhárom fő európai tendenciát vizsgálat alá vette.

A munkabizottság a következő variánsokat hasonlította össze (2. ábra). Mindegyik variánsnál a teherbírás megőrzése érdekében a földmű felső 15 cm-es vastagságú részét helyszíni cementstabilizációval tervezték.

a.) Félig merev pályaszerkezet

a.1.) Félig merev I.

- 4 cm mZMA-12/NM jelű nagy modulusú, módifkált bitumenes, zúzalékvázás masztix-aszfalt kopóréteg,
- 2x7 cm mK-20/F-NM jelű nagy modulusú, módifkált bitumenes aszfaltbeton teherhordó réteg,
- 2 cm repedéskorlátozó feszültségelosztó (SAM) réteg,
- 20 cm C12 jelű soványbeton alaprég (KRAFT-hézagolással).

Összesen: 40 cm

a.2.) Félig merev II.

- 4 cm mZMA-12/NM jelű nagy modulusú, módifkált bitumenes, zúzalékvázás masztix-aszfalt kopóréteg,
- 2x8 cm mK-20/F-NM jelű nagy modulusú, módifkált bitumenes, aszfaltbeton teherhordó réteg,
- 2 cm repedéskorlátozó feszültségelosztó (SAM) réteg,
- 20 cm C12 jelű soványbeton alaprég (KRAFT-hézagolással).

Összesen: 42 cm

b.) Merev pályaszerkezet

b.1.) Merev I.

- 25 cm CPb 4/3 jelű hézagolt betonburkolat,
- 20 cm CK₁ jelű cementstabilizációs alaprég.

Összesen: 45 cm

b.2.) Merev II.

- 25 cm FvCPb 4/3 jelű folytonosan vasalt betonburkolat,
- 20 cm CK₁ jelű cementstabilizációs alaprég.

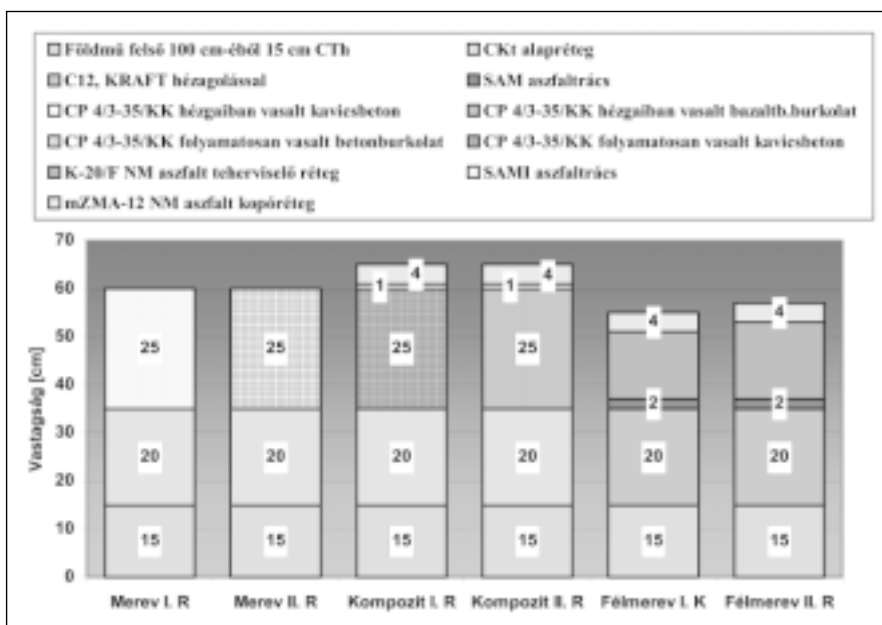
Összesen: 45 cm

c.) Kompozit pályaszerkezet

c.1) Kompozit I.

- 4 cm mZMA-12-NM jelű nagy modulusú, módifkált bitumenes, zúzalékvázás masztix-aszfalt kopóréteg,
- 1 cm repedéskorlátozó, feszültségelosztó (SAMI) réteg,
- 25 cm FvCPk jelű folytonosan vasalt kavicsbeton burkolat,
- 20 cm CK₁ jelű cementstabilizációs alaprég.

Összesen: 50 cm



2. ábra: Az összehasonlított pályaszerkezetek

c.2.) Kompozit II.

- 4 cm mZMA-12 NM jelű nagy modulusú, módifkált, bitumenes, zúzalékvázás masztix-aszfalt kopóréteg,
- 1 cm repedéskorlátozó, feszültségelosztó (SAMI) réteg,
- 25 cm CPk 4/3 jelű hézagolt kavicsbeton burkolat,
- 20 cm CK₁ jelű cementstabilizációs alaprég.

Összesen: 50 cm

4. Az összehasonlítás módszertana

A félig merev, a merev és a kompozit pályaszerkezet-változatokat a munkabizottság a következő szempontok alapján vizsgálta:

- a pályaszerkezet-variánssal kapcsolatos külföldi tapasztalatok, kutatási és vizsgálati eredmények, valamint szabályozások áttekintése,
- a témában készített hazai kísérleti szakaszok és azok viselkedésének a bemutatása,
- a pályaszerkezet-változatok földművével szemben támasztott követelmények, illetve a követelmények eléréséhez szükséges technológiai lehetőségek felmérése,
- az egyes rétegek technológiai és méretezési kérdéseinek az áttekintése,
- a pályaszerkezeti változatok egész élettartam alatti költségeinek a felmérése,
- a változatok forgalombiztonsági, környezetvédelmi és járműdinamikai jellemzőinek a feltárása.

Valamennyi vizsgált autópálya-szakaszhoz a legmegfelelőbb pályaszerkezeti változatot a felsorolt szempontok szerinti komplex mérlegeléssel választották ki.

5. Az összehasonlítás és a döntési javaslat

Az ÚT 2-1.002. számú, az aszfalt-pályaszerkezetek méretezésével foglalkozó ügyi műszaki előírásban szereplő legmagasabb, **K** jelű forgalmi kategória felső

A témakollégium által alkalmasnak ítélt **R** osztályú pályaszerkezet változatok

A költségek összetevői és arányai		A munkacsoport által vizsgált megoldások					Az M0-s 29–42 km sz.-ra tervezett megoldás	
		Terhelési osztály						
		<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>K</i>	<i>R</i>		<i>K</i>
		(a) Merev I.	(b) Merev II.	(c) Kompozit I.	(d) Kompozit II.	(e) Félmerev II.		Kontrol, félmerev
		Költségek 2003. április bázisárakon						
Építési költség-arány	a félmerev II <i>R</i> pályaszerkezethez mérve	0,76	0,83	1,00	0,93	1,00	0,86	
	a kontrol jelű, <i>K</i> pályaszerkezethez mérve	0,79	0,92	1,21	1,09	1,20	1,00	
Az élettartam költségaránya		0,75	0,88	0,94	1,03	1,00		

határát a 3×10^7 db TF100 (100 kN-os) egységtengely áthaladása képezi. A bizottság szakértőinek a forgalom-előrebecslési eredményei szerint az M0-s autópálya hamarosan épülő szakaszai, ezenkívül az M1-es autópálya Budapest–Győr, az M3-as autópálya Budapest–Füzesabony, a közeljövőben készülő M6-os autópálya Budapest–Dunaújváros, valamint az M7-es autópálya Budapest–Szabadbattyán szakaszán a következő 15 évre előrebecsült nehézforgalom az említett **K** terhelési osztályt meghaladja. A szakmai munkabizottság ezért bevezette az **R** (rendkívüli) forgalmi terhelési osztályt.

Az életciklus költségek összehasonlításakor a 35 éves időszakra felmerülő építési, fenntartási és úthasználati költségeknek az időszak kezdő évére diszkontált értékeit összegeztük azzal, hogy az üzemeltetési költségeket minden változatnál azonosnak tételeztük fel. Az építési költségek az M0-s keleti szektorára kialakított organizáción alapulnak.

Az egyes pályaszerkezet-változatok egész élettartam alatti költségeinek meghatározása után az **R** osztályban a következő értékarányok adódtak: Merve I.; Merve II.; Kompozit I.; Félmerev II.; Kompozit II. = 0,75; 0,88; 0,94; 1,00; 1,03. A legkisebb építési és összes költségűnek tehát a „hézagaiban vasalt betonburkolat” adódott (1. táblázat).

A forgalombiztonsági összehasonlítás szerint a hazai betonburkolatú autópályán (M7-es) valamivel több és súlyosabb baleset fordult elő, mint a félig merev (aszfaltburkolatú) gyorsforgalmi hálózatrészen. Ezek a balesetek nem voltak összefüggésbe hozhatók a burkolatok anyagával.

A környezetvédelmi összehasonlítás azt az eredményt hozta, hogy a betonburkolaton (M7-es) a gördülési zajszint 2-4 dB(A) értékkel meghaladja az aszfaltburkolatú pályaszerkezeti változatokon regisztrált értékeket. Ez alapvetően a vasalás nélküli keresztgézigoknál képződött cm rendű lépcsőkre vezethető

vissza. A gépjárművek károsanyag-kibocsátása (emissziója) tekintetében az aszfalt- és a betonburkolat között nincs különbség. A betonburkolatok kisebb talaj- és vízszennyezési kockázatot jelentenek, mint az aszfaltburkolatok.

Járműdinamikai szempontból az aszfaltburkolatok annyival előnyösebbek, amennyivel felületi csúszás-ellenállásuk általában kedvezőbb a másik típusnál. Ugyanakkor a csupán aszfaltburkolaton megjelenő nyomvályú járműdinamikai és közlekedésbiztonsági hátrányokat jelent.

A tárgyban megtartott témakollégium részletesen tárgyalta azt a kérdést, hogy betonburkolatú változat építéskor az azokkal egységes rendszert képező felüljárók milyen burkolattal készüljenek. Külföldi tapasztalatok szerint a legmegfelelőbb megoldás az, ha a betonburkolatot folyamatosan átvezetik a hídon, amikor is azok felszerkezete egyben útpályaszerkezetként is viselkedik. A bizottság javasolta ennek megvalósításához a szükséges alkalmazási engedélyek és szállítási feltételek kidolgoztatását.

Az előnyök és a hátrányok gondos mérlegelése után a témakollégium arra az álláspontra helyezkedett, hogy a megbízó Nemzeti Autópálya Rt. az M0-s autópálya ez év őszén esedékes kivitelezési tenderébe a merev pályaszerkezet, nevezetesen a hézagolt betonburkolatú változatot írja ki.

Tekintettel azonban arra, hogy a jövőben más gyorsforgalmi útszakaszok építéskor a többi változat is szóba jöhet, azért arról is döntés született, hogy ez év augusztusában és szeptemberében a 44. út Békéscsaba és Gyula közötti szakaszán, egyenként 350-400 m-es hosszúságban mindhárom változatot próbaszakaszokként megépítik. Az ott szerzett tapasztalatokat majd az **R** osztályú pályaszerkezetek *Közúti Alkalmassági Tanúsítványai* és *Műszaki Szállítási Feltételei* véglegesítéséhez veszik figyelembe.

A rendkívül nehéz forgalmi terhelésű útszakaszok hosszú életciklusú pályaszerkezeteihez illeszkedő hídfelszerkezeti megoldások

Dr. habil. Farkas György¹ – Dr. Huszár Zsolt² – Kovács Tamás³ – Dr. habil Szalai Kálmán⁴

1. Bevezetés

A 15 éves távlatra prognosztizált forgalomfejlődés szerint a gyorsforgalmi úthálózat egy részén a *rendkívül nehéz „R”* forgalmi terhelési osztály ($TF_{100} > 30 \times 10^6$) lesz jellemző. A gyorsforgalmi utakból és főutakból álló főhálózat *nagyon nehéz „E”* ($TF_{100} = 3 \div 10 \times 10^6$), *különösen nehéz „K”* ($TF_{100} = 10 \div 30 \times 10^6$) és *rendkívül nehéz „R”* forgalmi terhelési osztályba tartozó szakaszain a csatornázottan mozgó nehézgépjárművek az érvényes szabályzatokban rögzített módon eddig tervezett és épített hajlékony, valamint félmerev útpályaszerkezetek aszfalttrétegeiben plasztikus deformációkat (nyomvályúkat) okoznak. E jelenség megszüntetésének, és az okozott útfenntartási és közlekedésüzemi többletköltségek csökkentésének igénye, valamint az „R” forgalmi terhelési kategóriájú utak várható elterjedése egyaránt indokolják a hézagaiban vasalt betonburkolattal készülő merev pályaszerkezet ismételt alkalmazását és az ugyancsak merev kompozit pályaszerkezet bevezetését a hazai útépitési gyakorlatba.

A megnövekedett forgalmi terhelés, valamint a fenn tartási költségek csökkentése iránti igény miatt, a hídfelszerkezeteknek az eddigi gyakorlat szerint tervezett és megépült szerkezeti megoldásoknál magasabb igényszintet kell kielégíteniük. Ez az elvárás mind a szerkezet kialakítására, mind a szerkezettel szemben támasztott erőtan és tartóssági követelményekre vonatkozik. Az átvezetett út pályaszerkezete készülhet merev kompozit rendszerben, nagy modulusú aszfalt kopóréteg alkalmazásával, vagy olyan merev rendszerben, amelynek burkolata nagy kopásállóságú beton, amely egyben a burkolat kopórétege is. Nemzetközi és hazai kutatási, valamint nemzetközi alkalmazási tapasztalatok alapján e követelményeknek a nagy szilárdságú és nagy teljesítőképességű betonból ($> C50/60$) készülő vasbeton vagy feszített vasbeton szerkezetekkel felelnek meg, melyek tervezésére a vonatkozó hatályos hazai szabályzati előírások teljes körűen nem terjednek ki. Ez egyben felveti az ilyen típusú hidak tervezési előírásainak a megújítását is. Az új hídtervezési szabályzatoknak – figyelembe véve az EU-ban ezen a területen folyó, nagy intenzitású fejlesztéseket is – a jelenleg kidolgozás alatt lévő közös európai szabványrendszerbe illeszkedő „Tartósszerkezeti Eurocode”-ok előírásain célszerű alapulniuk.

2. Nagy szilárdságú, nagy teljesítőképességű betonok

2.1. A betongyártás fejlődése

Az utóbbi években végzett sikeres nemzetközi és hazai kutatásoknak köszönhetően a beton összetételének kis változtatásával jelentősen befolyásolhatók az anyag tulajdonságai. Első lépésként a betonhoz szilikaport adagolva létrejött a nagy szilárdságú beton („*High strength concrete*” – HSC). Ezt követően felismerték, hogy nagyobb tömörség érhető el megfelelő mérettartományú adalékanyag-szemcsék kombinációjával és a keverési vízmennyiség jelentős csökkentésével. E folyamat eredményeként alakultak ki a bedolgozhatóságot alacsony vízmennyiség esetén is lehetővé tevő szuper-plasztifikátorok. Később előállították a szálerősítésű, majd az öntömörödő betont, melyekkel kapcsolatban a szerkezetépítés speciális területein rendkívül jó alkalmazási tapasztalatok állnak rendelkezésre. A legújabb irányzat szerint a beton adott igényeknek megfelelő, kedvező tulajdonságainak a kifejlesztését tekintik a fő célnak. Így fokozatosan létrejött az ún. nagy teljesítőképességű beton („*High performance concrete*” – HPC), és újabban az előre meghatározott tulajdonságú beton is.

2.2. A nagy teljesítőképességű betonok használatának az előnyei

Több tudományos kutatási program [1], [2], [3], [4], kémiai vizsgálat [5], kísérletek és betonszerkezetek helyszíni vizsgálatai bebizonyították, hogy a betonacél korrozójának elsődleges oka a környező beton nem megfelelő tömörsége. Ez egyben alacsony mértékű só- és fagyállóságot, nem megfelelő vízzárósági tulajdonságokat is okoz. Tömörebb betonstruktúra a készítéskor alkalmazott betontechnológiai eszköztár jelentős modernizálásával [6] valósítható meg. A legtöbb esetben a tömörebb betonstruktúra egyben nagyobb szilárdságot is eredményez, melynek további statikai előnyei vannak (az önsúly csökken, a feszítés hatékonysága növelhető), és ez gazdasági haszonnal is jár (a felhasznált nyersanyag-mennyiség csökken). Az e területen folytatott nemzetközi és hazai kutatások egybehangzó eredményei alapján megállapítható, hogy:

- Nagy szilárdságú betonból ($\geq C60/75$) tervezett szerkezetek esetén, a nagy szilárdsággal járó statikai előnyök kihasználásakor az építési költség kisebb, mint a normál szilárdságú betonból készített szerkezeteknél.
- A nagy szilárdságú beton tömörebb struktúrája miatt az ebből készített szerkezet tartóssága je-

¹ Egyetemi tanár, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

² Tudományos munkatárs, MTA Mérnöki Szerkezetek Kutatócsoport

³ Egyetemi tanársegéd, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

⁴ Egyetemi tanár, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

lentősen javul, ennek következtében jóval kisebb fenntartási költséget eredményez, mint az alacsonyabb szilárdságú betonból készített szerkezet.

2.3. Nagy szilárdságú beton [7], [8], [9]

Nagy szilárdságúnak nevezzük azokat a betonokat, amelyek hengeres próbatesten mért nyomószilárdsága az $f_c = 60\text{--}140\text{ N/mm}^2$ között van, és amelyek akár az építés helyszínén is előállíthatók. Az $f_c = 140\text{ N/mm}^2$ -nél nagyobb nyomószilárdság elérése – a cement és az adalékanyagok inhomogenitása miatt – már nagyon nehéz.

A nagy szilárdságú beton mindenekelőtt abban különbözik a hagyományos betontól, hogy szilikapor adalékot is tartalmaz, és víz-cement tényezője, hozzávetőlegesen 0,25-0,30 körüli érték. A keverék helyszíni kezelhetősége és bedolgozhatósága a kis víztartalom és a finom szemcsék nagy mennyisége miatt csak megfelelő plastifikátorokkal biztosítható.

A nagy szilárdságú beton ötkomponensű anyagi rendszer, melynek összetevői:

- cement,
- adalék, $d < 16\text{ mm}$,
- víz,
- finom adalékok (szilikapor, pernye),
- adalékszerke (plastifikátorok, késleltetők vagy gyorsítók stb.)

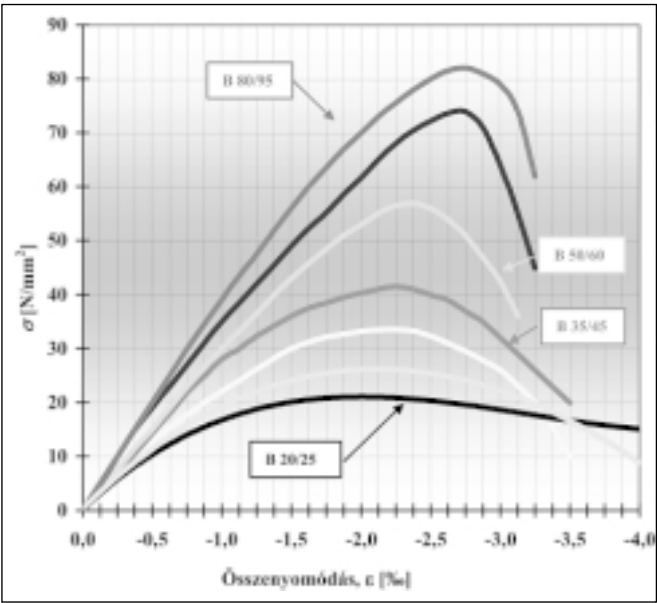
A nagy szilárdságú beton fontos anyaga a szilikapor, melynek fizikai és kémiai jellemzőit az 1. táblázatban adjuk meg. A táblázatban feltüntetjük a szilikapor helyett, vagy azzal keverten használatos pernye jellemzőit is.

A szilikapor szemcse nagysága rendkívül kicsi, mindössze 1/100-ad része a cement szemcseméretének. Emiatt kitöltő anyagként jellemezhető. (Az angol elnevezés, a szilikafüst azaz fume jobban megközelíti a valóságot.) A kis szemcsék jól kitöltik a cement szemcsék közötti hézagokat, így növelik a beton tömörségét. Ezenkívül reakcióképesek is, és elősegítik a cementpépben a nagyobb kristályok kialakulását, továbbá puccolánszerűen viselkednek. Az amorf szilikapor átalakítja a gyengébb CH kristályokat erősebb C-S-H gélle, ezáltal erősebb kötés jöhet létre. Emellett a kötőanyag rugalmassági modulusa nagymértékben megnő, megközelítve az adalékokét. Így a beton sokkal homogénabbá válik. A haránt irányú húzóerők is csökkennek, aminek eredményeképpen a nyomószilárdság nagymértékben megnő.

Az adalék szemcseméretének korlátozása – $d < 16\text{ mm}$ – ugyancsak fokozza a beton homogenitását, ami

a szilárdságra nézve szintén kedvező hatású. A méretkorlát további célja az úgynevezett alkáli-adalék reakció megakadályozása vagy legalábbis csökkentése. Az alkáli-adalék reakció azért kedvezőtlen, mert a keletkező termékek ciklikus vízfelvételre és vízleadásra képesek, miközben a környezetükre jelentős térfogatváltozási erőket fejtenek ki. A tapasztalatok szerint a $d < 16\text{ mm}$ szemcséknél a fenti reakció már nem okoz gondot.

A nagy szilárdságú betonban mikro-repedések csak nagyobb terhelési szinten következnek be, mint a szokásos normál szilárdságú betonokban, ezért a nyomódiagramban a lineáris rugalmassági szakasz hosszabb, mint a hagyományos betonok esetében (1. ábra). A beton szilárdságának a növelésével a nyomókísérle-



1. ábra: Különböző nyomószilárdságú betonok σ - ϵ diagramjainak összehasonlítása

tekben a σ - ϵ diagramok tetőpontja egyre nagyobb összenyomódásnál érhető el. A tetőponton túl a feszültségek meredeken csökkennek. Ennek következtében a nagy szilárdságú próbatesteken végzett nyomókísérletekben az elnyelt energiát kifejező görbe alatti területnek a tetőpont utáni része, a teljes befektetett energiához viszonyítva kisebb, mint a normál szilárdságú betonok esetén, vagyis az anyag némileg ridegebbé válik, de az ilyen betonból készített vasbeton és feszített vasbeton gerendák duktilitása már megfelelőnek mutatkozik. Ezt a ridegséget a szerkezet tervezésénél figyelembe kell venni. (Az ábrán a „B” jelzés a 150 mm élhosszúságú kocka karakterisztikus értékét jelenti.)

1. táblázat

A szilikapor jellemzői

Anyagok	Fizikai jellemzők		Kémiai jellemzők					
	fajlagos felület [m²/kg]	sűrűség [kg/m³]	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O N ₂ O
portlandcement	300-400	1 300	19,2	3,4	5,9	63,9	2,7	0,56
pernye	400-700	1 000	50,0	10,4	28,0	3,0	2,0	3,20
szilikapor	15 000-20 000	200-300	92,0	1,2	0,7	0,2	0,2	2,00

A nagy szilárdságú betonból készült szerkezetek előnyei a normál betonból készűttekkel szemben:

- nagy szilárdság,
- kevesebb cement és adalékanyag felhasználás,
- kevesebb feszítőkábel szükséglet,
- kisebb súly,
- rövidebb építési idő,
- tartósság,
- kisebb fenntartási költségek.

2.4. A nagy teljesítőképességű beton [10]

A nagy szilárdságú beton továbbfejlesztésével egyidejűleg jött létre a nagy teljesítőképességű beton, melynek a nagy szilárdságon kívül számos más kedvező tulajdonsága is van. A két betonfajta között nincs határozott választóvonal.

A nagy teljesítőképességű betonnak egyesítenie kell a nagy teljesítőképességet az egyenletes anyagminőséggel, és az alábbi speciális követelményeknek kell megfelelnie:

- jó bedolgozhatóság és tömöríthetőség szétosztályozódás nélkül,
- térfogat-állandóság,
- korai szilárdulás,
- időálló mechanikai tulajdonságok mostoha környezetben is,
- (vízzáróság, só-, fagy- és kopásállóság).

A nagy teljesítőképességű beton folyadékokkal és gázokkal szembeni kis áteresztőképessége az időállóságot növeli. A szerkezet anyagai eleve jobban ellenállnak a külső agresszív környezetnek, pl. a fagyás-csökkenítő sók hatásainak.

3. Betontechnológiai háttér

A nagy szilárdságú és nagy teljesítőképességű betonok előállításához az eddig alkalmazott normál szilárdságú betonokhoz kifejlesztett betontechnológiai előírások minőségi megújítását, modernizációját igényli [14]. Ennek összetevői a következők:

3.1. Betontechnológiai terv

A tervezési előírásokban rögzíteni kell, hogy a betongyártáshoz betontechnológiai tervet kell készíteni. A betontechnológiai tervet csak olyan betontechnológusi szakképesítéssel rendelkező okleveles építőmérnök készítheti, aki legalább öt évet foglalkozott betontechnológiai előírások készítésével, és ebben megfelelő referenciákkal (megvalósult műtárgy) rendelkezik.

A betontechnológiai tervben meg kell adni:

- a betonkeverék keverési arányát (tömegre és térfogatra egyaránt), az alkotóanyagok fajtáját és követelményeit,
- az alkotóanyagok adagolásának pontossági követelményeit, a keverés módját (keverési sorrend) és időtartamát, a szállítási módját és időtartamát (a betonkeverék eltarthatóságát a környezeti körülményektől függően),
- a próbakeverés során mérendő jellemzőket,
- ha transzportbetont használnak, akkor az átadás-átvételi feltételeket, a betonkeverék elhelyezése-

nek és tömörítésének a módszerét, a betömörített friss beton megengedett, illetve előírt légtartalmát (bevitt légbuborék, tömörítési hiány), illetve testsűrűségének előírt értékét,

- az utókezelés módját és időtartamát,
- a gyártásközi (belső) ellenőrzés és a felülvizsgálati (külső) ellenőrzés módját és gyakoriságát.

A próbakeverés eredményét – legkésőbb a kivitelezés megkezdéséig – csatolni kell a betontechnológiai tervhez.

3.2. A vízmennyiség és a diffúziós együttható

A beton víz- és általában elektrolit-ion-áteresztő képességétől függ az, hogy a korróziós folyamat milyen sebességgel következik be. Megállapították, hogy az oxigénmolekulák és a kloridionok effektív diffúziós együtthatója a víz-cement tényező függvénye. A víz-cement tényező értékének csökkenésével rohamosan csökken a diffúziós együttható. Alacsony víz-cement tényező ($v/c = 0,25-0,30$) mellett az oxigénion egy nagyságrenddel lassabban, míg a kloridion két nagyságrendnél is lassabban diffundál, mint átlagos víz-cement tényező ($v/c \geq 0,5$) esetén.

A víz-cement tényező csökkenésével a tömörebb betonstruktúra következtében fokozódik az acélbetétek passzivitása is. A vizsgálati eredmények alátámasztják, hogy a vasbetonban a korrózió mechanizmusának a kialakulásához és tartóssá válásához a víz- és oxigénmolekuláknak elegendő mennyiségben kell jelen lenniük ahhoz, hogy a vas oxidációjakor felszabaduló elektronok mozgásba jöjjenek, és így a korrózió folyamatossá váljon.

3.3. A vízmennyiség és a pórusok

A beton szilárdságának a kialakulásához, illetve a cement kémiai kötéséhez szükséges víz-cement tényező $v/c = 0,20-0,23$. Az ennél több víz pórusképző, és később eltávozik a betonból, létrehozva ezáltal a zsugorodás és kúszás jelenségét. A szabad víz helyfoglalása nyílt pórusrendszert képez. Ennek következtében nagy lesz a beton víz-, illetve ionáteresztő képessége (permeabilitása). A megszilárdult betonban általában 10-20% „főlös” kalcium-hidroxid marad vissza, és ez a pórusokban jelenik meg. Ez a főlös kalcium-hidroxid lesz a beton „rákfeneje”, mert a kívülről behatoló víz könnyen kimossa, illetve a levegő szén-dioxidjával átalakul kalcium-karbonáttá, és ezáltal csökken a beton lúgossága [11]. A fentiek alapján nagy szilárdságú, nagy teljesítőképességű betonok készítésekor a víz-cement tényező – képlékenyítő, illetve folyósító szer alkalmazásával – ne legyen több

- 0,35 értéknél C50/60-nál alacsonyabb szilárdsági jelű beton esetén,
- 0,30 értéknél C50/60 és ennél nagyobb szilárdsági jelű beton esetén.

3.4. A pórusok és a mikro-szilikát

A főlös víz helyfoglalásának következtében nyílt pórusrendszer jön létre. A pórusok mennyiségétől és minő-

ségétől függően nagy vagy kicsi a beton víz- vagy átalában ionáteresztő képessége.

Mikroszilikát adagolás esetén a szemcseátmérő mikrométer nagyságrendjéből adódik, hogy azok csapágygolyó módjára elősegítik az érdes felületű beton-adalékok elmozdulását, és ezzel a beton tömörödését. További előny, hogy a mikro-szilikát szemcsék gyakorlatilag teljes keresztmetszetükben átgélesednek, könnyen behatolnak a pórusokba, és ott a kalcium-hidroxiddal ugyanúgy kalcium-szilikát-hidrátot (CSH) képeznek, mint a cement cementáló tulajdonságú komponensei. A mikro-szilikát hatására így csökken a beton kalcium-hidroxid tartalma is. A mikro-szilikát szemcsék könnyen adnak le és vesznek fel vizet, és így „vízpuffer” szerepet töltenek be a beton kialakulásakor. További előnye a mikro-szilikátnak, hogy általa erősebb kötések létesülhetnek, mint a hagyományos betonban. A mikroszilikát-gél tökéletesebben tudja bevonni a durva adalékszempcsék felületét, mint a „cementgél”, ezért kölcsönhatása is erősebb lesz az adalékokkal. E hatások együttesen tömör betont és nagy szilárdságot eredményeznek [12]. A fentiek miatt a cementtartalom 5-9%-ának megfelelő mennyiségű, igazolt jellemzőkkel rendelkező szilikapor (kovasavliszt, mikro-szilikát, „silica fume” (SF)) alkalmazása szükséges, mészköliszt alkalmazása nem megengedett.

3.5. Az adalékanyag

Az ismételt átnedvesedésnek, megfagyásnak és olvasztó sózásnak – akár közvetve is – kitett szerkezeti betonok előírt élettartamának az elérése érdekében csak tiszta, mosott, fagyálló adalékanyag alkalmazható. Az adalékanyagra vonatkozó további követelmények a következők.

- A betonkeverék összetevőit a megfelelő fajlagos felület figyelembevételével kell megválasztani.
- Mosott adalékanyagot kell alkalmazni azért, hogy a betonkeverék legyen mentes a káros, lágy, víztároló iszaptól és agyagtól.
- Az eddigi gyakorlatban alkalmazott MSZ szerinti A-B görbék közötti, érintőlegesen az A görbéhez simuló – elegendő lisztfinom szemcsét tartalmazó – szemeloszlású adalékanyagot kell használni.

- Az adalékanyag legyen homogén, a szemcsék alakja a bedolgozást elősegítő gömbölyded alakú, továbbá rejtett repedés és az alkáli-adalék reakció veszélyének csökkentése érdekében a legnagyobb szemnagyság ne haladja meg a 16 mm-t.

3.6. A beton keverése, bedolgozása és utókezelése

Csupán a kémiai kötéshez szükséges vízmennyiség adagolása miatt a bedolgozáshoz képlékenyítő szert kell alkalmazni. A beton kiszáradását – locsolás vagy permetezés helyett – fólia- vagy filctakarással kell meggátolni.

4. Hazai kutatások

A BME Hidak és Szerkezetek (korábban Vasbetonszerkezetek) Tanszékén egy évtizede folynak kutatások (OTKA) a nagy szilárdságú és nagy teljesítőképességű betonokkal kapcsolatban. Jelenleg az ÁKMI (2002–2003. évi) megbízásából folyamatban van egy új kutatási program, melynek célja a nagy szilárdságú és nagy teljesítőképességű betonok hazai hídépítési alkalmazásának az elősegítése, s ezzel együtt a hazai vállalatok EU-szintű versenyképességének a növelése.

4.1. A kutatási program ismertetése

A kutatás feladata a tartós hídszerkezetekhez szükséges,

- megfelelő (min. C50/60) szilárdságú,
- külön szigetelést nem igénylő betonszerkezethez szükséges vízzáróságú,
- megfelelő fagy- és sóállóságú,
- az acélbetétek korrózióvédelmét biztosító,

ipari méretekben is gyártható betonkeverék összetételének a kidolgozása, majd az ilyen betonból készített hídgerendák törési vizsgálata.

Az előzetes terveknek megfelelően a **Ferrobeton Rt.** a 2. táblázat szerinti „A”, „B” és „C” (C50/60; C60/75; C70/85 tervezett szilárdsági jelű) betonkeveréket készített üzemi körülmények között (Juhász Péterné és csoportjának közreműködésével). A vizsgálatokat részben az üzem MEO laboratóriumában,

részben a BME Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszék laboratóriumában, illetve a Kemo-korr Kft. laboratóriumában végeztük el.

Az előzetes tervek bővítéseként a **BTC Kft.** Ferihegyi úti üzeme is bekapcsolódott a vizsgálatokba. A BTC üzemében a mészköliszt és a szilikapor hatásának a vizsgálatát Tóth Tibor betontechnológus szakmérnök közreműködésével végeztük. Az e program ke-

2. táblázat

A tervezett betonkeverékek főbb adatai

Tervezett szilárdság	Keverék jele	Cement (kg/m ³)	Víz/cement tényező	Adalékszer (%)	Mészköliszt (%)	Szilikapor
C50/60	„A”	440,6 CEM-I 52,5	0,284	Glénium 51 1,15	--	--
C60/75	„B”	409,4 CEM-I 52,5	0,282	Glénium 51 2,0	--	15
C70/85	„C”	450 CEM-I 52,5	0,264	Glénium 51 2,0	--	10
C60/75	„MK”	420 CEM-I 42,5	0,28	FM95 2,5	4,5	--
C60/75	„SZ1”	420 CEM-I 42,5	0,28	FM95 2,5	--	4,5
C60/75	„MKSZ”	420 CEM-I 42,5	0,28	FM95 2,5	4,5	3,0
C60/75	„SZ2”	420 CEM-I 42,5	0,28	FM95 2,5	--	7,5

retében gyártott betonkeverékek fontosabb adatai a 2. táblázat „MK”, „SZ1”, „MKSZ” és „SZ2” jelzésű sorokban találhatók.

A betonok kötőanyaga a **Ferrobeton Rt.** esetén CEM-I 52,5, a BTC Kft.-nél CEM I 42,5 típusú cement volt, az adalékanyag mosott, osztályozott, I. osztályú, $d_{\max} = 16$ mm és homokos kavics. Mindegyik keverékhez betonfolyósító adalékszer juttattunk.

Az elővizsgálatok alapján meghatározott betonkeverékekből

- anyagvizsgálati célra próbaelemek készültek,
- törési vizsgálat céljára feszített vasbeton hídgerendák készültek a **Ferrobeton Rt.** közreműködésével.

4.2. A vizsgálatok eddigi eredményei

A 2. táblázatban szereplő betonkeverékek mindegyikéből az egyes vizsgálatokhoz szükséges, szabványos próbatesteket készítettünk. A szilárdsági vizsgálatokhoz gyártott próbatesteket a vizsgálat időpontjáig 20 °C-os vízben, a többi próbatestet pedig a vonatkozó szabványoknak megfelelően tároltuk.

4.2.1. A szilárdsági vizsgálatok eredményei

A 150 mm élhosszúságú kockán végzett nyomószilárdsági és hasító-húzószilárdsági vizsgálatok eredményeit a 3. táblázatban foglaltuk össze. Ennek alapján a következő megállapítások tehetők:

- A hasító-húzószilárdság viszonylag nagyobb értékű mészkőliszt adagolásakor, mint anélkül (az f_c/f_t arány a legkisebb).
- A nagyobb szilárdsági osztályoknál a nyomószilárdság hatékony növelése szilikapor adagolásával oldható meg.

4.2.2. Az egyéb vizsgálatok eredményei

4.2.2.1. Fagyállósági vizsgálatok

A fagyállósági vizsgálatok eredményei szerint 50 fagyasztási ciklus után az A, B és C jelű keverékeknél a

tömegcsökkenés maximum 0,62%, a nyomószilárdság pedig nem csökkent. Az SZ1, MK, MKSZ és SZ2 jelű keverékeknél a tömegcsökkenés 1,83%-ra adódott, a szilárdságcsökkenés maximum 1,2% volt.

4.2.2.2. Vízjárósági vizsgálatok

A 6 bar nyomás alatt végzett vízjárósági vizsgálatok eredményei szerint az A, B és C jelű keverékeknél a vízbehatolás mélysége maximum 3 mm-re, az SZ1, MK, MKSZ és SZ2 jelű keverékeknél maximum 5 mm-re adódott.

4.2.2.3. Sóállósági vizsgálatok

A **KemoKorr Kft.** vizsgálati eredményei szerint a próbatest – annak nagy tömörsége miatt – nem ázik át, az acélbetét nem polarizálható.

4.2.3. A mészkőliszt és a szilikapor hatása a nyomószilárdságra

A mészkőliszt és a szilikapor nyomószilárdságra gyakorolt hatását a 2. ábra mutatja a 90 napos vizsgálati időtartományban. A vizsgálatot a BTC Kft. üzemi laboratóriumában Tóth Tibor szakmérnök irányításával végezték. A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy

- a mészkőliszt adagolással készített betonkeverékekből készült beton nyomószilárdsága kb. 25%-kal kisebb, mint a szilikaporról készülté;
- a szilikapor adagolásának növelésével a szilárdság is növekszik, azonban 10% fölötti mennyiség már nem gazdaságos.

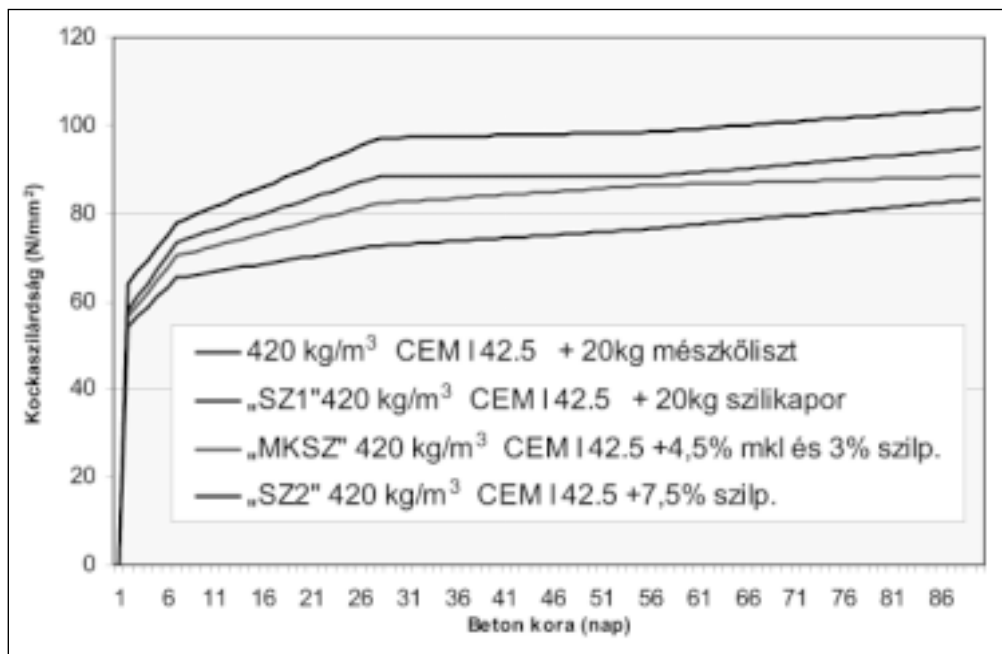
Nem kétséges, hogy kémiai szempontból a portlandcement (majd az ebből készített beton) leggyengébb láncszeme a kalcium-oxid, illetve vízfelvétel következtében a kalcium-hidroxid. Hosszú időbe telt ennek helyettesítése mikro-szilikáttal, amelyek megkötik ezt a fölös vagy szabad „meszet”, és így több, vagyis járulékos CSH keletkezik, melyek növelik a beton szilárdságát, tartósságát és teljesítményét. A mikro-szilikátok további előnye, hogy tömörítik a betont, csökkentik annak permeabilitását. Hangsúlyozni kell, hogy a különböző folyósító- és képlékenyítő szerek sokasága lehetővé teszi, hogy az ilyen betonok jól kezelhetők és bedolgozhatók legyenek, annak ellenére, hogy v/c tényezőjük kevesebb, mint fele a megszokottnak (a 0,5-0,6 értéknek).

A mészkőliszt – mint mikro-adalék – tömöríti a betont, elősegíti benne a durvább és az érdes felületű adalékszemek mozgását, homogenizálja a víz eloszlását, szabályozza (helyileg csökkenti) a víz mindenkor koncentrációját, azaz lassítja a cement hidratációját, a gél, majd a cementkő kialakulását. A mészkő-por magában a cementkőben is idegen, szilárd fázisként

3. táblázat

Nyomószilárdsági és hasító-húzószilárdsági vizsgálati eredmények

Próbakeverék	Nyomószilárdság, f_c 150/150, [N/mm ²]			Hasító-húzószilárdság, f_t $\phi 150/300$, [N/mm ²] 28 nap	$f_{c,28}/f_{t,28}$
	2 nap	7 nap	28 nap		
A jelű keverék szil.: 0% ml: 0%	59,64	66,52	75,23	6,19	12,2
B jelű keverék szil.: 15% ml: 0%	58,18	68,74	81,94	6,63	12,4
C jelű keverék szil.: 10% ml: 0%	60,96	77,88	82,52	7,42	11,1
MK jelű keverék szil.: 0% ml: 4,5%	55,34	60,27	72,60	6,99	10,4
SZ1 jelű keverék szil.: 4,5% ml: 0%	56,79	70,67	85,77	7,77	11,0
MKSZ jelű keverék szil.: 3,0% ml: 4,5%	53,38	64,07	81,73	6,50	12,6
SZ2 jelű keverék szil.: 7,5% ml: 0%	64,00	73,92	98,63	7,12	13,9



2. ábra: A nyomószilárdságok alakulása (Tóth Tibor)

viselkedik, ezért eleve csökkenti a térfogategységben kialakuló -O-Si-O-Ca-O-Si-O- kötések számát. Ez akkor lesz kritikus, amikor ez a csökkenés már jelentőssé válik. A beton tömegének legalább 70%-át kitevő, szilikátbázisú adalékok, a folyami homok és a kavicszemcsék határfelületén ez számottevő lehet, de ugyanígy a vasbetonban, az acélbetétek határfelületén is csökken a (fémvas) Fe-Fe-O-Si-O- kötések száma.

Mindezek miatt várható, hogy már a friss betonban is jelentkezik a meszkőlisztnek mint idegen fázisnak a gyengítő hatása. Hosszabb távon pedig, az idő múlásával a betonmátrixnak gyorsabb lesz az eróziója, mint a referenciabetoné, különösen akkor, ha a környezetből beszívódó pára, esetleg savas eső- és talajvíz mennyiségét nem csökkentjük, és netán még az útszázás következményeit sem tudjuk korlátozni vagy kiküszöbölni.

4.2.4. A kísérleti feszített vasbeton hídgerenda gyártása

Az előzetes vizsgálatok eredményei alapján elkészítettük a **Ferrobeton Rt.** telepén, kísérleti célra gyár-

4. táblázat

A C90/105 szilárdsági jelű betonból tervezett gerenda betonösszetétele

Az anyag megnevezése	Testsűrűség [kg/m³]	Mennyiség [kg]
1./ Cement: CEM 42,5	3 150	450
2./ Szilikapor (7,5%)		36
3./ Víz	1 000	104
4./ Adalékanyag D _{max} =16 mm, m ₀ = 6,24 OH 0/4 homok 33% OK 4/8 kavics 30% Zúzalék 8/16 37%	2 640	1 860
5./ Meszkőliszt (0%)	2 710	0
6./ Adalékszer: FM 95 (3%)	1 200	9,9
Frissbeton testsűrűség [kg/m³]		2 473

tott hídgerendák betonkeverékét. A C90/105 szilárdsági jelű betonból készült hídgerendához a 4. táblázatban megadott keveréket, a C50/60 szilárdsági jelű betonból készülőhöz pedig a 2. táblázat szerinti „A” jelű betonkeverék-összetételt használtuk.

A 4. táblázat szerinti összetételben a 8 mm feletti adalékanyag-frakciót zúzalékból biztosította az üzem, mivel az ilyen frakciójú helyszíni homokos kavics alkalmazása esetén – annak nagy porozitása miatt – jelentős víz-elvonás lépett fel. A fenti betonokból 2-2 db, 8,8 m

hosszú feszített vasbeton hídgerenda, és az előkísérletek szerinti szilárdsági és tartóssági vizsgálatokhoz szükséges számú próbatest készült.

A hídgerendák betonjából készült próbatesteken végzett nyomószilárdsági és hasító-húzószilárdsági vizsgálatok eredményeit az 5. és 6. táblázatban foglaltuk össze.

Deforméterrel mérve a C50/60 beton zsugorodása: 0,193 ‰, a C90/105 betoné pedig: 0,173 ‰.

5. táblázat

A C50/60 és a C90/105 szilárdsági jelű betonok nyomószilárdsági eredményei 150 mm élhosszúságú kockán mérve

Tervezett keverék	Nyomószilárdság, [N/mm²]		
	2 napos	7 napos	28 napos
C50/60			
átlagos érték	60,7	60,8	63,85
szórás	3,4	5,2	3,33
karakterisztikus érték	50,2	44,8	53,67
C90/105			
átlagos érték	72,6	85,7	112,38
szórás	3,05	5,86	6,80
karakterisztikus érték	62,7	65,80	101,20

6. táblázat

A C50/60 és a C90/105 szilárdsági jelű betonok hasító-húzószilárdsági eredményei $\phi 150/300$ mm méretű hengeren mérve

Tervezett keverék	28 napos hasító-húzószilárdság [N/mm²]
C50/60	
átlagos érték	4,92
szórás	0,46
karakterisztikus érték	4,57
C90/105	
átlagos érték	6,28
szórás	0,74
karakterisztikus érték	4,60

A gerendák törési vizsgálatai a várt eredményeket szolgáltatták, azoktól jelentős eltérés egyik irányban sem adódott.

5. Minősítési szempontok

A nagy szilárdságú, nagy teljesítőképességű betonból készült hídszerkezetek tervezésekor a 7. táblázat szerinti betonszilárdsági osztályokat célszerű alkalmazni. A 7. táblázat egyben tartalmazza a nyomószilárdságok karakterisztikus értékeit is a próbatestek típusától és a tárolás módjától függően.

A betonok minősítését a 8. táblázat szerinti három feltétel alapján kell végezni.

Ha a legutolsó 15 eredmény szórása (s_{15}) kielégíti a

$$0,63\sigma \leq s_{15} \leq 1,37\sigma \quad (3. \text{ feltétel})$$

feltételt, akkor a kezdeti időszakra érvényes szórását a következő időszakban továbbra is lehet a megfelelő-ség ellenőrzésére alkalmazni. Ha az s_{15} értéke az előbbi határokon kívül esik, akkor a σ -t új becsléssel kell megállapítani a rendelkezésre álló utolsó 35 vizsgálati eredményből. Ha a gyártó nem tudja szórásának értékét bizonyítani, akkor legalább $\sigma = 5 \text{ N/mm}^2$ értéket kell figyelembe vennie.

6. Tervezési szempontok

A nagy szilárdságú, nagy teljesítőképességű betonokból készült szerkezetek erőtan tervezését az eddigi elvek alapján kell végezni. Jórészt a magasabb betonszilárdsági osztályok alkalmazásából, valamint a szigorúbb tartóssági és minőség-ellenőrzési követelményekből adódóan a következőket kell figyelembe venni [13]:

- A megnövekedett forgalmi igények miatt a terhek és hatások értékeit a vonatkozó Eurocode-ok alapján kell felvenni.
- A tartóssági és részben a használhatósági követelményeket a környezeti osztály szerinti osztályba sorolás szabja meg.
- A gyártás során alkalmazott minőségellenőrzés színvonalától és a szilárdságok szórásától függően az anyagra vonatkozó biztonsági tényezők csökkenthetők.
- A magasabb szilárdsági osztályokban figyelembe kell venni a beton ridegebb viselkedését.
- Ahol különböző időpontban készült szerkezeti részek dolgoznak együtt, ott a feszültségek összegzése válik szükségessé. Ezt a megengedett feszültséges eljárással a megszokott módon lehet követni.

7. Műszaki előírások

A nagy szilárdságú beton erőtan tervezési előírásaival, a tartóssággal és a minőségellenőrzéssel kapcsolatos szabványokat meg kell újítani, ezek hiányában újakat kell készíteni. A tartósság kapcsán szigorúbb szerkesztési szabályokat és minimális betonszilárdsági osztályokat kell előírni, továbbá tartószerkezeti elemenként minimális vízzárósági és fagyállósági követelményeket kell rögzíteni. A jelenleg készülő Eurocode szabványsorozat vonatkozó kötetei általában tartalmazzák a fenti elveket, és részben emiatt magasabb biztonsági szinten állnak, mint a jelenlegi magyar szabványok. Alkalmazásuk az Európai Unió tagországaként kötelező lesz, a hazai adaptációra rendelkezésre álló idő korlátozott. Ezért fontos, hogy a

7. táblázat

A beton nyomószilárdsági osztályai a próbatest típusa és tárolási módja szerint

Nyomószilárdsági osztály	A hengerszilárdság karakterisztikus értéke vizes tárolás esetén $\phi 150/300 \text{ mm}$ hengeren mérve $[\text{N/mm}^2]$	A kockaszilárdság karakterisztikus értéke	
		vizes tárolás esetén	vegyes tárolás esetén
		150×150 mm élhosszúságú kockán mérve $[\text{N/mm}^2]$	
C30/37	30	37	40
C35/45	35	45	49
C40/50	40	50	54
C45/55	45	55	60
C50/60	50	60	65
C55/67	55	67	73
C60/75	60	75	82
C70/85	70	85	92
C80/95	80	95	103
C90/105	90	105	114

8. táblázat

Minősítési feltételek a nyomószilárdságra

Gyártás	A nyomószilárdság vizsgálati eredményeinek „n” száma a csoportban	1. feltétel „n” eredmény átlaga, f_{cm} $[\text{N/mm}^2]$	2. feltétel Bármely egyedi vizsgálati eredmény, f_{ci} $[\text{N/mm}^2]$
Kezdeti	3	$f_{cm} \geq f_{ck} + 4$	$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$
Folyamatos	15	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 s^? b$	$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$

megrendelők haladéktalanul követeljük meg a tervezőktől az Eurocode szabványok alkalmazását.

A Nemzeti Autópálya Rt. közép-távú autópálya-fejlesztési terveinek koncepciójába illesztett betonburkolatú vagy kompozit rendszerű merev útpályaszerkezetek hidakon való átvezetése érdekében megrendelt „Hézagában vasalt betonburkolatú merev útpályaszerkezet, illetve kompozit útpályaszerkezet nagy modulusú aszfalt kopórétegének átvezetésére alkalmas hídfelszerkezetek építéséhez” című *alkalmazási engedély* tervezetét a BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke készítette a szakmában érdekelt jelentős kutató és tervező egységek bevonásával. Az ehhez tartozó *Műszaki Szállítási Feltételek* a nemzetközi és a hazai kutatási eredmények alapján egyaránt tartalmazzák a nagy szilárdságú, nagy teljesítőképességű vasbeton és feszített vasbeton híd-szerkezetekre vonatkozó méretezési, tartóssági és minőségi követelményeket.

8. Összefoglalás

Az a véleményünk, hogy a hídépítő-ipar számára jelenleg a C70/85-C80/95 szilárdsági osztályú betonok alkalmazása látszik célszerűnek és gazdaságosnak. A kísérletek bebizonyították, hogy az említett szilárdsági osztályú betonok pusztán betontechnológiai eszközökkel és többlet finomszemcse adagolással elkészíthetők. Központi jelentősége a víz-cement tényező 0,3-nál alacsonyabb szintre csökkentésének és az adalékszerkezet alkalmazásának van. A szerkezetek készítése során kiemelt szerepet kell kapjon a minőségellenőrzés.

A megfelelő minőségben elkészített, fenti szilárdsági osztályú betonok a hidakkal szembeni tartóssági igényeket minden további, utólagos felületkezelés és bevonat alkalmazása nélkül kielégítik. A tartóssági tulajdonságok méréséhez jelenleg alkalmazott módszerek tökéletesítése is szükséges.

A gazdaságosságot az élettartam költségek alapján kell értékelni, és a tervezett szerkezetet ennek alapján kell megítélni. E témakörben alapvető jelentőségű kérdés, hogy a tartósság érdekében szükséges magas betonszilárdság a szerkezet erőtani tervezése során ki is legyen használva (pl. feszítés alkalmazásával). Ez esetben a beton készítésének a (jelenlegi gyakorlathoz viszonyított) többletköltsége ellenére a teljes betonmennyiség csökkenése, valamint a tartósság fokozódása, ezáltal az élettartam alatti ráfordítások jelentős csökkenése révén versenyképes szerkezet adódik. Ugyanakkor szükséges megemlíteni, hogy a betonanyag előállításának nagyobb költségei miatt a nagy szilárdságú betonból készült szerkezetek építése szükségszerűen együtt kell hogy járjon az építési részfolyamatok költség-arányainak a módosulásával.

Az ÁKMI megbízásából a BME Hidak és Szerkezetek Tanszékén jelenleg folyamatban lévő kutatások már meglévő és várható eredményei alapján remény van arra, hogy a magasabb betonszilárdsági osztályok elterjedése a hazai hídépítésben közreműködő vállalatok termelési folyamatában minőségi változást eredményez, s a közeljövőben lehetőség lesz nagy feszítávolságú feszített vasbeton (Duna-, Tisza-) hidak építésére is.

A fenti kutatás az MTA Mérnöki Szerkezetek Kutatócsoport közreműködésével készült.

Irodalom

- [1] H. Stamenkovic: *Causes, Mechanisms and Control of Surface Voids*, Concrete, July, 1973, pp. 45–48.
- [2] H. Stamenkovic: *High Strength and Water Impermeability of Concrete as a Function of Surface Area of Aggregate*, *Materiaux et Constructions*, No. 14., 1970.
- [3] *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*, ACI Committee 211., *ACI Material Journal*, May–July, 1993.
- [4] Z. Bayasi – J. Zhou: *Properties of Silica Fume Concrete and Mortar*, *ACI Material Journal*, July–August, 1993.
- [5] Szalay T.: *A vasbetonszerkezetek időállóságának kulcsa a betonstruktúra minősége*, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002., pp. 161–176.
- [6] Szalai K.: *A betontechnológia forradalma – A nagy szilárdságú beton*, Közlekedésépítés- és Mélyépítéstudományi Szemle, XLV. 3. pp. 105–107.
- [7] König, G.: *High Performance Concrete in Hybrid Structures*. In 6th Int. Symp. On High Strength/High Performance Concrete, 92–102 pp.
- [8] Walraven, J.C.: *From High Strength, through High Performance, to Define Performance Concrete*, In 6th Int. Symp. On High Strength/High Performance Concrete, 77–89 pp.
- [9] Farkas Gy. – Szalai K.: *Betontechnológia, az időálló vasbetonszerkezetek kulcsa*. OTKA: T-7604
- [10] Yehia, S., Tuan, C., Ferdon, D., Chen, B.: *Conductive Concrete Overlay for Bridge Deck Deicing: Mixture Proportioning, Optimization, and Properties*. *ACI Materials Journal* March–April 2000.
- [11] Szalay T.: *A vasbetonszerkezetek időállóságának kulcsa a betonstruktúra minősége*, OTKA TO 32-055 sz. kutatási feladat keretében készült tanulmány. BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei 2002.
- [12] McCurrich, L.H., Decter, M.H.: *Refurbishment of structures using new-generation flowing micro-concrete* (Paper presented at Concrete '95 Concrete Institute of Australia/FIP Int. Conf., Brisbane, Australia, September 1995)
- [13] Farkas Gy.: *A nagy szilárdságú betonok alkalmazása a szerkezetépítésben*. Közlekedésépítés- és Mélyépítéstudományi Szemle 1995. március XLV. évf. 108–112. old.
- [14] Farkas, Gy. – Szalai, K. – Kovács, T.: *The super-concrete and its application in the Hungarian bridge construction industry*, International conference on “High performance materials in bridges and buildings”, Aston Keauhou Beach Resort, Kailua-Kona, Hawaii, July 29–August 3, 2001.

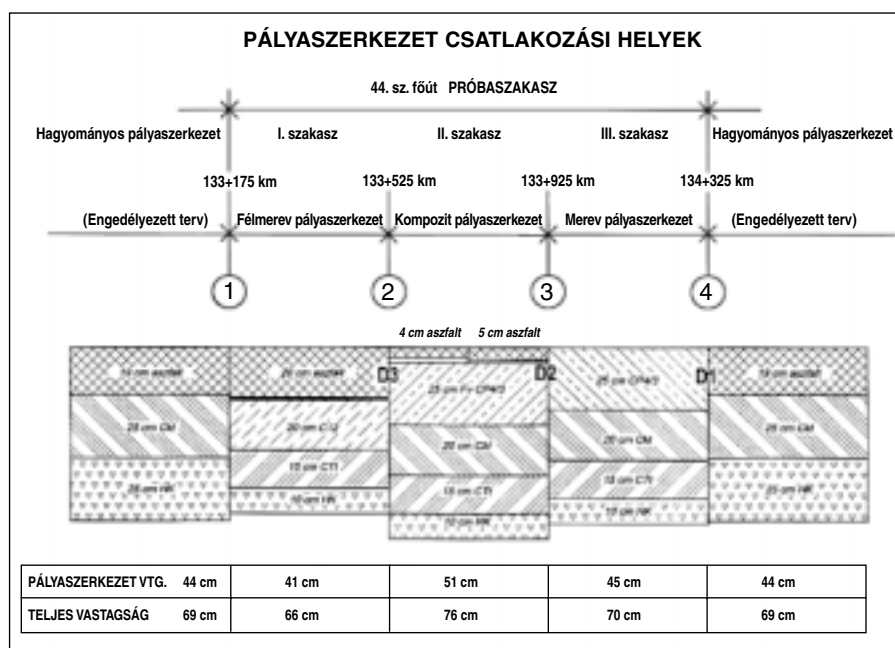
A 44-es főút Békéscsaba és Gyula közötti próbaszakaszok építésének előkészítése

Gáspár Csongor¹

1. A próbaszakaszok pályaszerkezetei

A próbaszakaszok a 44-es főút Békéscsaba és Gyula közötti szakaszán épülnek a következő pályaszerkezetekkel (1. ábra).

- 1.1. Félmerev, 350 m hosszban, KRAFT hézagolású C12 soványbeton alapon fekvő repedésáthidaló SAM réteggel, nagy modulusú aszfalt teherviselő alap + kötőréteggel és nagy modulusú masztixaszfalt kopóréteggel.



1. ábra: A próbaszakaszok és pályaszerkezeteik

- 1.2. Merev kompozit, 400 m hosszban, CKt alaprétgen fekvő, folytonos vasalású betonlemezen fekvő repedésáthidaló 200 m-en szórt, 200 m-en aszfaltrácsból készített SAMI réteggel és nagy modulusú masztixaszfalt kopóréteggel.

- 1.3. Merev, 400 m hosszban CKt alaprétgen fekvő, hézagaiban vasalt betonburkolat.

A három próbaszakaszt már a tervezéstől figyelemmel kísértük, és bele tudtunk folyni az előkészítési munkákba. A tervezési fázisban kellett megoldanunk különleges részleteket és eseteket. Ki kellett dolgoznunk az egyes próbaszakaszok egymással és a hagyományos pályaszerkezetekkel való csatlakozási helyeit. A három próbaszakasz csatlakozási szelvényei az 1. ábrán láthatók.

Részt vettünk a műszakilag megalapozott szigorú *Műszaki Szállítási Feltételek* összeállításában, tehát a kidolgozáskor a kivitelező álláspontját is figyelembe vettük.

2. A kompozit pályaszerkezet teherviselő betonlemezének vasalása

A terv és a *Műszaki Szállítási Feltételek* (továbbiakban MSZF) csak cm-enkénti osztásban írja elő kompozit pályaszerkezet folytonos vasalású teherviselő betonlemezének hossz- és keresztvasalás kiosztását, a vasak darabszámát és pontos rajzi helyét pedig egyáltalán nem. El kellett tehát készítenünk a vasalási terveket, valamint a hossz- és keresztvasak rajzi elrendezését a szükséges számításokkal együtt.

3. Alkalmasság vizsgálatok, technológiai utasítások

Alaprétegek. A földmű teherbírását konzerváló CTt, valamint a CKt és a C12 alaprét keverékek előkészítő alkalmassági vizsgálata és keverék-összetétele az érvényben lévő szabványok és műszaki leírások szerint készültek.

A nagy modulusú aszfaltkeverékek alkalmassági vizsgálatainál

a megfelelő legjobb minőségű ásványi váz megkérése volt a döntő szempont. Az alkalmassági vizsgálatok megkezdése előtt ki kellett választani a legmegfelelőbb ásványi anyagokat a teherviselő réteghez és a kopóréteghez. Az új MSZF szerint a szemeloszlási határgörbék szűkebbek, az aszfalt vizsgálatok (szabadhézag, nyomvályú érték) szigorúbbak. Általában az **R** (rendkívül nehéz) forgalomra a MSZF szerint a félmerev pályaszerkezetű és a kompozit pályaszerkezet kopóréteg keverék-összetétele, bitumen típusa, szabadhézaga nem egyforma, de jelen esetben a kis mennyiségre és a 44-es főúti **E-K** forgalmára tekintettel erre a munkára jóváhagyták a 4 tf%-os szabadhézagot.

A hézagaiban vasalt betonburkolat betonkeverékének próbakeverésekor az alkalmassági vizsgálat lefolytatásához fel kellett készülni a nagyobb számú próbatestek készítésére (gerenda próbatestekre) és a légpórusos beton vizsgálatára. Előzetesen a betonösszetétel megtervezése után próbakeverést végzett

¹ Okl. üzemmérnök, fotechnológus, Betonút Rt.

a FRISSBETON a KTI Rt. és a Betonút Rt. közreműködésével, hogy meggyőződjünk az összetétel helyességéről. A beton a normál betonoktól eltérően 3 féle útépítésben használatos zúzottkővet és 3 féle adalékszer tartalmazott. Ezzel kellett a beton konzisztenciáját és v/c tényezőjét összehangolni. A probléma a próbakeverésnél a zúzottkövek 1 órás vízfelvétele, ami hat a beton eltarthatóságára, és ezt mindenképpen figyelembe kell venni. A beton-recept elkészítéséhez és a v/c tényező számításához a hatékony víztartalommal kell számolni.

Repedéskorlátozás. A nagy modulusú aszfaltokat alkalmazó félmerev pályaszerkezet C12 alaprétégre üvegszál-erősítésű aszfaltrács SAM réteg készül a reflexiós repedések felhatolásának korlátozására. A kompozit pályaszerkezet folyamatosan vasalt teherviselő betonlemezére kerülő SAMI – aminek célja a reflexiós repedések kialakulásának megakadályozása a kopórétegben – a szakasz felén modifikált bitumenemulzióval készülő kétrétegű felületi bevonás, míg másik felén modifikált bitumenemulzióba ragasztott üvegszál-aszfaltrács. Ezeknek a rétegeknek az alkalmassági vizsgálatait és fektetési technológiáját a gyártó, illetve a beépítő alvállalkozó szakcégek készítették el. Ezek a szakcégek vállalták a SAMI és a SAM rétegek teljes mértékű kivitelezését és szakmai felügyeletét.

Technológiai utasítások. A *Műszaki Szállítási Feltetelek* tervezetének (MSZFT) a birtokában elkészítettük az egyes rétegek (CTt, CKt, C12), a nagy modulusú aszfaltok (mK-20/F-NM és mZMA-12-NM), a folytonos vasalású betonlemez (Fv CP 4/3-35/KK) és a hézagolt betonburkolat (CP 4/3-35/KK) beépítési technológiai utasításait és a teljes szakaszra vonatkozó mintavételi és minősítési tervet.

4. Az építés sajátosságai

Az alépítményi munkák CTt – CKt – C12 sorrendben folyamatosan épültek. A műszaki ütemterv szerint az egyes szakaszok építése az alábbiak szerint folyik.

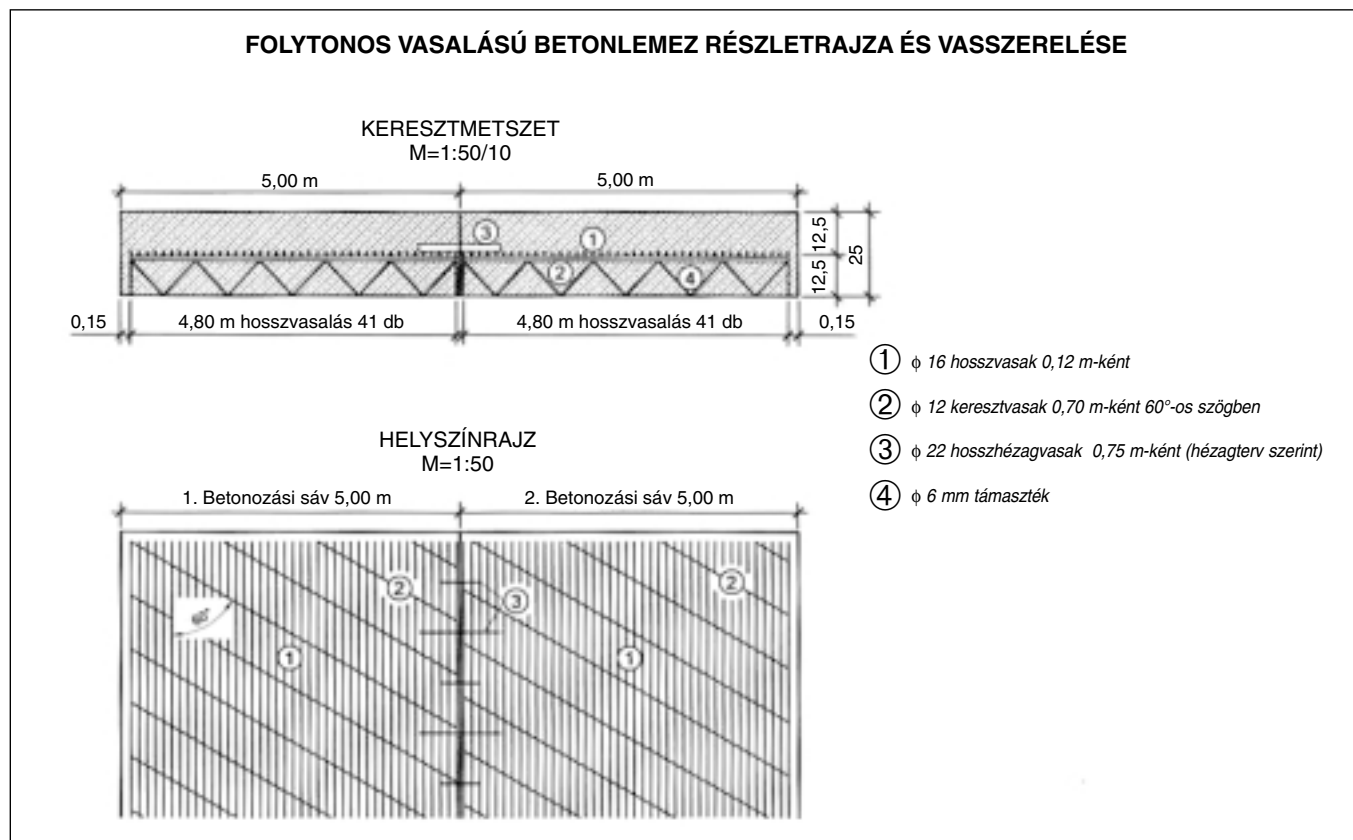
4.1. A földmű felső rétege és az alaprétegek

Újdonság a földmű felső 1 m rétege, amely minimum 95%-os tömörségű, és a tetejét úgy kell konzerválni, hogy az elérje legalább az $E_2 \geq 80 \text{ N/mm}^2$ teherbíróképességet.

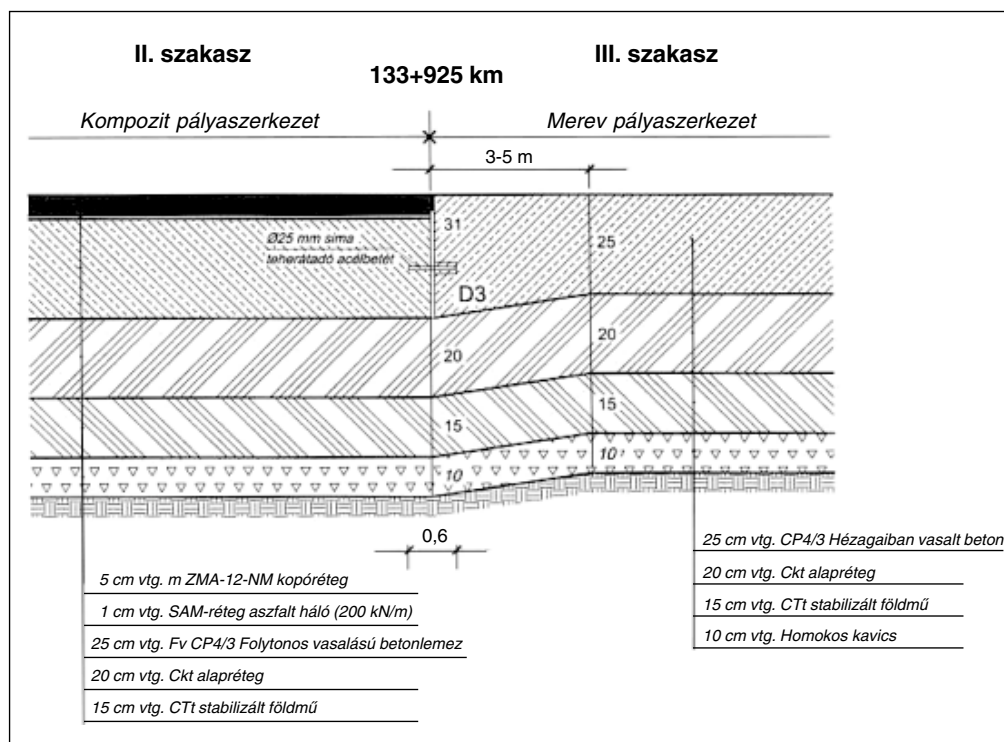
A CTt réteg – mint a földmű felső 1 m javító rétege – építését mind a három próbaszakaszon fokozott figyelemmel kísértük. A CTt anyagot a vonalon felállított folyton-keverővel helyi anyagból állították elő. A 15 cm vastag CTt réteg két sávban finiserrel, kétoldali szintvezérléssel és kombi hengerrel való tömörítéssel épült mind a három szakaszon.

A CKt réteg a kompozit és a merev pályaszerkezetű szakaszon épült. A CKt anyagot a CTt-nél már említett keverővel állítottuk elő helyi anyag és ártándi homokos kavics felhasználásával. A 20 cm vastagságú CKt réteg két sávban aznapi visszazárással, finiserrel, kétoldali szintvezérléssel és kombi hengerrel való tömörítéssel épült meg.

A félmerev pályaszerkezet alaprétégeként készülő C12 építésének az utóbbi időkben nincs nagy tapasztalata, mert eddig csak városi utakon, kerékpárutakon és térburkolatokon tervezték be elsősorban aszfaltmegtakarítás céljából. A szóban forgó betonkeveréket a Békéscsabán lévő szakaszos üzemű keverővel állították elő. A 20 cm vastagságú félmerev szakaszon a beépítésnél sikerült megoldani a finiser hatékony



2. ábra: A kompozit pályaszerkezet teherviselő betonlemezének vasalási tervrészlete



3. ábra: A kompozit és a betonburkolatú merev pályaszerkezetek csatlakozása

tömörítését úgy, hogy a betonkeverék konzisztenciáját kissé megváltoztatták és beállították a vibrációt és az éldöngölőt. A testsűrűség izotópos mérésével lehetett ellenőrizni a beállítások helyességét. A csatlakozásokat és szintjavításokat vibrolappal vagy kézi vezetésű vibrohengerrel tömörítettük.

A C12 réteg feszültségmentesítése elő volt írva az MSZF-ben 2,5 m-enkénti KRAFT hézagolással. A hézagolást friss beépítés után automata hézagoló géppel (KRAFT gép) kell végezni. A próbaszakaszon KRAFT gép hiányában gyémántkorongos hézagvágást alkalmaztunk. A hézagvágást a jobb teherátadás érdekében 1:6-os ferdeséggel készítettük a két beépítési sávon keresztül.

Az így hézagolt alaprétegre repedésáthidalóként SAM réteg került a félmerev szakaszra. A GRADEX Kft. vállalta a GR-G100-as üvegszál aszfaltháló beszerzését és 1,5 kg/m² 70%-os modifikált bitumenes emulzióba fektetését. Az építés ideje alatt a GRADEX Kft. szakmai felügyeletet tartott a helyszínen. A hálótérítést össze kellett hangolni a teherviselő alsó aszfaltréteg építésével. A naponta lefektetett hálót mindig le kellett fedni aszfaltréteggel.

4.2. A kompozit pályaszerkezet teherviselő lemeze

A kompozit próbaszakaszon a folytonos vasalású betonlemez vasszerelése a CKt felületén két 5 m-es sávon történt. A két betonsáv vasszerelése teljesen megegyezett egymással, csak a tengelyben kapcsolódik 75 cm-enként $\phi 22$ -es 60 cm, illetve 120 cm hosszú kötővasakkal. Az $\phi 12$ -es keresztvasalásokat az alátámasztással egybeszerelve szállították az alvállalkozók, és a helyszínen 60 fokos szögben 70 cm-enként fektették le a terv szerinti helyére.

A hosszvasalást az előre lefektetett keresztvasalás-

szisztenciát, a légtartalmat és a betonhőmérsékletet. A próbatesteket (kocka, gerenda) a helyszínen készítettük. A betonkeverő-gép számítógépe a tényleges betonösszetételt rögzítették a szállítójegyeken. A betont a 20 km-es távolság miatt mixer gépkocsikkal szállították a helyszínre.

A betonlemez teljes pályaszélességű egy menetes beépítésére a próbaszakaszon megfelelő gép hiányában nem volt lehetőség. A rendelkezésünkre álló WIRTGEN SF-500 csúszózsálos bedolgozó gép maximum 5 m szélességben tud dolgozni, ezért a két 5 m-es sáv csatlakozását formasínnel oldottuk meg, a széleken csúszózsálos módszerrel épültek a betonsávok. A betonozást a kompozit és a hézagolt beton szakaszon folyamatosan kellett végezni a két próbaszakasz csatlakozásának a megoldásával. Ezt vasalt kereszthézaggal végeztük. A szinteltolódásokat 3-5 m-es kifuttatással hidaltuk át. A 3. ábrán látható az alapréteg szint kifuttatása és a két betonsáv csatlakozó kötővasa.

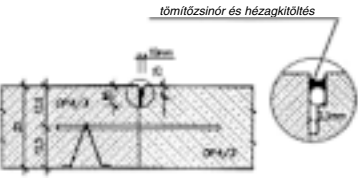
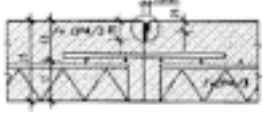
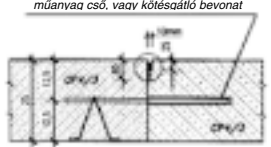
A folytonos vasalású betonlemez repedésáthidalójaként a kompozit pályaszerkezet kopórétege alá SAM réteg került az első 200 m-en, és SAMI réteg a második 200 m-es szakaszon.

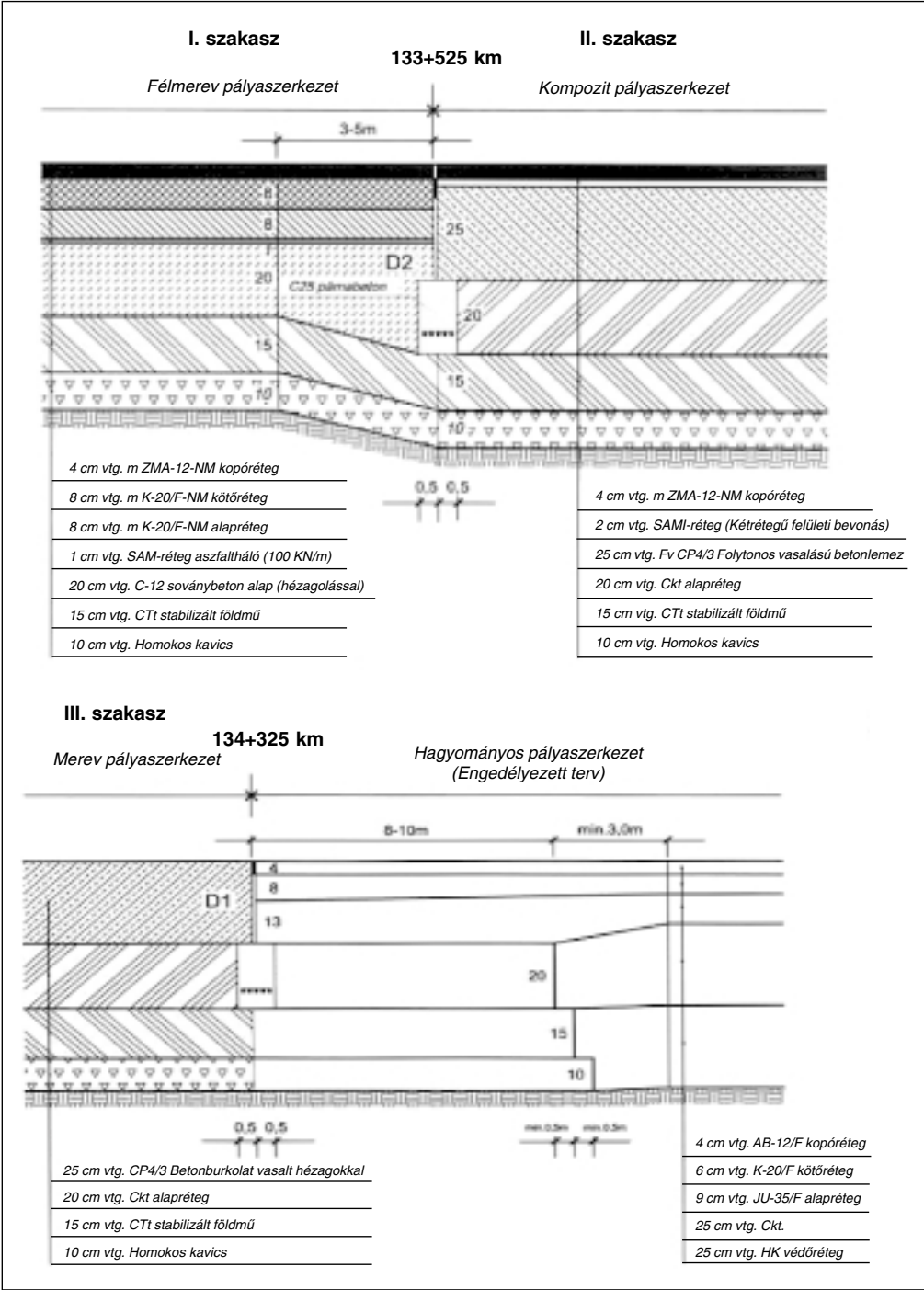
Az első 200 m-es SAM réteghez a GRADEX Kft. vállalta a GR-G 200-as üvegszál aszfaltháló beszerzését és 1,5 kg/m² 70%-os modifikált bitumenemulzióba fektetését. Az építés ideje alatt a GRADEX Kft. szakmai felügyeletet tartott a helyszínen. A hálótérítést össze kellett hangolni a kopóréteg építésével a hálószövet vízérzékenysége miatt. A naponta lefektetett hálót mindig le kellett fedni aszfaltréteggel.

A második 200 m-es szakasz SAMI rétegéhez a STRAVIA Kft. vállalta a kétrétegű modifikált bitumen emulziós felületi bevonás elkészítését. Az építés ideje alatt a STRAVIA Kft. szakmai felügyeletet tartott a helyszínen.

ra kellett helyezni folyamatosan úgy, hogy a tolódások ne egy keresztmetszetben, hanem 60 fokos szögben legyenek. Az $\phi 16$ -os hosszvasakat a MSZF szerinti 12 cm-enkénti osztással kellett lerakni és kötőzéssel rögzíteni a keresztvasakhoz. A 2. ábrán látható a folytonos vasalású betonlemez vasalás kiosztása.

A betonozást a vasszerelés megfelelőse után a mérnök engedélyével kezdhettük. A betont a FRISSEBETON Békéscsábán felállított 1,5 m³-es keverőteknőjű LIEBHERR típusú szakaszos üzemű keverővel állították elő. A betonozás közben a keverőtelepen és a helyszínen ellenőriztük a konzisztenciát, a légtartalmat és a betonhőmérsékletet.

HÉZAG TÍPUSA	JELE	RÉSZLETRAJZA	MEGJEGYZÉS
HOSSZHÉZAG III. SZAKASZ MEREV	A		HOSSZIRÁNYBAN A BURKOLAT FELEZŐVONALÁBAN Ø 22 / = 120 cm periodikus acélbetét a középső 200 mm hosszon korrodívódó bevonattal ellátva, 0,75 m-enként) (Ø 6 mm betonacél támaszték)
HOSSZHÉZAG II. SZAKASZ KOMPOZIT	B		HOSSZIRÁNYBAN A BURKOLAT FELEZŐVONALÁBAN Ø 22 / 1 = 60 cm periodikus acélbetét Ø 22 / 2 = 120 cm periodikus acélbetét a középső 200 mm hosszon korrodívódó bevonattal ellátva, 0,75 m-enként) (Ø 6 mm betonacél támaszték)
KERESZTHÉZAG III. SZAKASZ MEREV	C		KERESZTIRÁNYBAN BEFŰRÉSZELESEL 5,00 m-enként vasalással Ø 25 / = 60 cm sima teherátadó acélbetét Ø 22 / 2 = 120 cm periodikus acélbetét korrodívódó bevonattal ellátva, 0,60 m-enként) (Ø 6 mm betonacél támaszték)



4. ábra:
Hézagok kialakítás

4.3. A hézagaiban vasalt betonburkolat

A hézagaiban vasalt betonburkolatú merev pályaszerkezetű próbaszakaszon a betonozás az előzőekben leírt betonkeverékkel és bedolgozó géppel készült azonos technológiával. A kereszt-hézag vasalásokat 5 m-enként kellett lefektetni és rögzíteni. A hézagvasalások előregyártva méretre készültek, és a kitűzött vonalakra pontosan kell azokat beemelni és rögzíteni. A 4. ábrán látható a hossz-hézagok és a kereszt-hézagok terve.

A próbaszakasz végén a hagyományos pályaszerkezet csatlakozást a 5. ábra szerint alakítottuk ki. Az ábrán látható a dilatációs csatlakozás a vasalt párnabetonos alátámasztással.

4.4. A félmerev pályaszerkezet teherviselő aszfaltrétege

A félmerev pályaszerkezetű próbaszakaszon a teherviselő réteg két 8 cm vastagságú mK-20/F-NM nagy modulusú alap- és kötőréteg aszfaltját PmB-A 15/30 jelű modifikált bitumennel keverték a Bé-késcsabán felállított 120 t/h teljesítményű folyamatos üzemű ASTEC 532-C

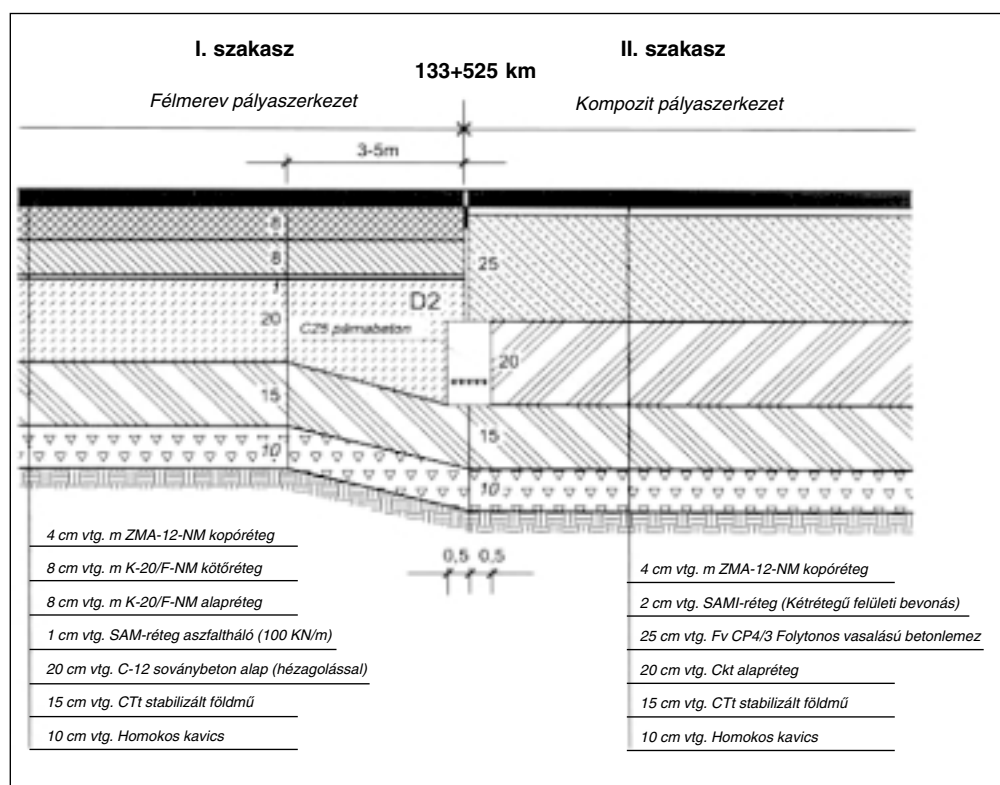
5. ábra:
A betonburkolatú merev és az útszakasz tervezett félmerev pályaszerkezetének csatlakozása

típusú mobil keverőgép-pel. Az újdonság a keverőtelepen a kemény 15/30-as bitumen fejtése és a 180-200 °C-on való keverés.

A keverési – szállítási – beépítési – és hengerlési hőfokokat fokozottabban kellett ellenőrizni. Az első beépítési napon izotópos tömörség méréssel be kellett állítani a hengerlés hatékonyságát. A minimum 10 tonnás hengerek minél jobban közelítsék meg a finisert, és oda-vissza vibrálva az első járatban végezzék el a főtömörítést. A teherviselő első aszfalt réteg építése előtt a SAM aszfaltháló terítését mindig folyamatosan előtte haladva kellett végezni. Az aszfaltozás kétoldali szintvezérléssel történt két közel egyforma sáv szélességgel az napi visszazárással. A csatlakozást a kompozit pályaszerkezet folytonos vasalású betonlemezéhez a 6. ábra mutatja.

4.5. A félmerev és a kompozit pályaszerkezetek kopórétege

A félmerev és a kompozit próbaszakaszon a kopóréteg mZMA-12-NM nagy modulusú aszfaltját PmB-A 60/



6. ábra: A kompozit és a nagymodulusú aszfaltokkal készülő félmerev pályaszerkezet csatlakozása

100 S-jelű modifikált bitumennel kevertük ugyancsak a Békéscsabán telepített ASTEC 532-C keverővel. A kopóréteget a folytonos vasalású betonlemez kötés-szilárdulása után kellett kezdeni a merev pályaszerkezet betoncsatlakozásától. A kopóréteg építéséhez a SAMI aszfaltháló terítését mindig folyamatosan előtte haladva kellett végezni. A kopóréteget a főpálya szélességével és a finiser hosszú csúszó-rudas szintvezérlésével építették. A vastagságot folyamatosan kellett ellenőrizni.

HIRDETÉSEK ELHELYEZÉSE, DÍJAI

A felelős szerkesztő jóváhagyásával szakmai hirdetés jelentethető meg a lapban.

A hirdetési díjak a következők:

Borító II. oldal	1/1 színes	250.000,- Ft + ÁFA
	1/1 fekete-fehér	220.000,- Ft + ÁFA
Borító III. oldal	1/1 színes	250.000,- Ft + ÁFA
	1/1 fekete-fehér	220.000,- Ft + ÁFA

További információ: Ciceró Kft. • Tel./fax: 301-0594, 311-6040

Önkéntes kezdeményezésű javaslatok Dél-Afrikában

*Unsolicited Proposals
in South Africa*

Koos Smit

Roads 2003. I. No. 317. p. 82-86.

Dél-Afrikában a nemzeti közúti adminisztráció a magántőke nagyobb arányú bevonására törekszik. 1999-től bevezették az önkéntes kezdeményezés fogalmát, amely szerint a magán szektor javaslatot tehet a megvalósítandó projektekre. A javaslatnak az állami célokkal és a közérdekkel összhangban kell állnia, és biztosítani kell a környezeti, társadalmi és gazdasági fenntarthatóságot. A bevezetés során a fő kérdés a verseny lehetőségének megőrzése volt, úgy, hogy a javaslattevő ne kerüljön monopolhelyzetbe, de ne is váljék esélytelenné a tender során. A kialakított szabályok szerint az önkéntes kezdeményezésű javaslat tartalmazza a díjszedési stratégiát és a környezeti hatásvizsgálatot. Ki kell dolgozni a forgalmi előrebecslésre alapozott kapacitás és minőségi teljesítményi mutatókat, valamint bizonyítani kell a pénzügyi életképességet. A nemzeti közúti adminisztráció értékeli a benyújtott javaslatot, és ha azt megfelelőnek találja, szerződést köt a részletes kidolgozásra a javaslattevővel. A műszaki, környezeti és társadalmi-gazdasági szempontok figyelembe vételével elkészített részletes anyag a tender kiírás alapjául szolgál. Fontos elem, hogy a tenderen a javaslattevő is részt vehet. A hagyományos módon lebonyolított tender ajánlatainak értékelési szempontjai: a forgalom és a díjak alakulása, pénzügyi, jogi, mérnöki, társadalmi és környezeti jellemzők. A két legelőnyösebb ajánlattevőtől kérnek végleges ajánlatot, de ha ezek között nem szerepel az eredeti javaslattevő, harmadikként őt is meghívják. Ha esetleg nincs más jelentkező, akkor az eredeti javaslattevő ajánlatát értékelik. 1999 óta hat önkéntes kezdeményezésű javaslatot nyújtottak be, melyből egy már a tenderezési szakaszban van, és további négy tender előkészítése folyik. Az összesen 1 milliárd USD értékű javaslatok megvalósítása megduplázhathatja a közúthálózat fejlesztésének ütemét.

G. A.

Hajlékony burkolatok optimális teljes élettartamú elemzési modellje

Optimum Flexible Pavement Life-Cycle Analysis Model

Khaled A. Abaza

Journal of Transportation Engineering

2002. 6. Vol. 128. p. 542-549. á:4, t:2, h:14.

A hajlékony burkolatok számára egy teljes élettartamra alkalmas modellt fejlesztettek ki, melynek célja az optimális fenntartási és rehabilitációs terv elkészítése. A modell bevonja az optimalizációs folyamatba a teljesítmény és költség jellemzőket egy adott pályaszerkezet teljes élettartamát elemezve. Egyetlen élettartam jellemzőt vezettek be, melyet teljes élettartam mutatónak neveznek. Ez az élettartam jellemző a nettó jelenértékű költségeknek a teljesítménygörbe alatti területhez viszonyított arányát mutatja. Az optimális terv az, amely esetén az élettartam jellemző minimális. A modell többféle lehetséges fenntartási és rehabilitációs tervet értékel, melyeket két döntési politikai változat alapján határoznak meg. Az első döntési politikai változat előre meghatározott elemzési időszakkal (ez lehet például 40 év) dolgozik, míg a másodikban az elemzés időtartama változó. Mindkét változat esetén a nagy rehabilitációs ciklusok számát (általában 1 és 6 között) előre meg kell adni. A burkolat teljes élettartam költsége tartalmazza az építési költséget, az ütemezett nagy rehabilitációk költségét, a rutin fenntartás költségét, valamint a munkák miatti úthasználói költségdöbbletet. A teljes élettartam alatti teljesítményt az időben változó teljesítményt leíró görbe alatti terület jellemzi, amelyhez a jelenlegi használhatósági indexet (PSI) használják fel. A teljesítménygörbét vagy a tényleges burkolat leromlási adataiból, vagy az AASHTO hajlékony pályaszerkezet tervezési alapegyenletének segítségével állítják elő, utóbbi esetben lépésenkénti elemzéssel. A vizsgált mintapéldákban az első döntési politika esetén optimális megoldásként 40 éves időtartamra 4 vagy 5 nagy rehabilitáció mutatkozott szükségesnek, míg a második döntési politika alkalmazásakor maximálisan két nagy rehabilitációval számolva 23 éves optimális élettartam adódott.

G. A.