

A BETONBURKOLATOKKAL ÖSSZEFÜGGŐ ÚJ MAGYAR SZABÁLYOZÁSOK ÉS AZOK ALKALMAZÁSA

DR. KARSAINÉ LUKÁCS KATALIN¹ – SZÁNTÓ ÉVA² – VÖRÖS ZOLTÁN³

BEVEZETÉS

Az első magyarországi betonburkolat terítőládás ABG finiserrel épült az M7-es autópályán Budapest és a Balaton között. Harminc év múlva ismét épült betonburkolatú autópálya a Budapestet körbevevő M0-s autópályán. Napjainkban az aszfaltburkolatok teljesítőképességének kimerülése, különösen a nagy nehézsúlyú forgalommal rendelkező autópályákon szükségessé tette a betonburkolat ismételt bevezetését a hazai gyorsforgalmi úthálózaton.

Az eltelt harminc év alatt világszerte tapasztalt fejlődést mind a betonburkolat-tervezés, mind a technológia, mind pedig a szabályozás terén követni kellett.

Amikor Magyarország tagja lett az Európai Uniónak, aktualizálni kellett a szabályozást és meg kellett újítani a betonburkolatokra vonatkozó technológiát is. A betonburkolatok építését megelőzően sor került tapasztalatgyűjtésre különböző felület-érdesítéssel készült próbaszakaszokon, és ez képezte az alapját az Építőipari Műszaki Engedély kiadásának (ÉME 1/2004). Ez a szabályozási dokumentum rögzítette a betonburkolat tervezési előírásait, az építés legfontosabb minőségi követelményeit, a vizsgálati módszereket és a minősítési kritériumokat is.

Az új ütügyi műszaki előírás (*ÚT 2-3.201 Beton pályaburkolatok építése – Építési előírások, követelmények*) kidolgozására és bevezetésére 2006-ban került sor, ennek alapján készült el az M0-s autópálya 28 km-nyi betonburkolata az M5–M3-as autópályák közötti új építésű szakaszon. 2008-ban az ún. mosott felületképzésű betonburkolatokra vonatkozó ütügyi műszaki előírás (*ÚT 2-3.213 Hézagában vasalt, kétrétegű, mosott felületképzésű betonburkolatú merev útpályaszerkezet építése*) is bevezetésre került. Az M0-s autópályán M1–M5-ös autópálya közötti szakaszának 2x3 sávra történő bővítése ezzel a korszerű felületképzési technológiával fog megvalósulni.

TÖRTÉNETI VISSZATEKINTÉS

Hajlékony és merev útpályaszerkezetek többé-kevésbé egyidejűleg készültek világszerte az elmúlt száz év folyamán. Maga ez a tény is bizonyítja, hogy mind az aszfalt-, mind a betonburkolatnak megvannak a műszaki és gazdasági előnyei, amelyeknek bármelyike előtérbe kerülhet egy adott országban, alkalmazási területen és időben.

BETON PÁLYABURKOLAT MAGYARORSZÁGON 1963 ELŐTT

Magyarországon az első beton pályaburkolatok 1927-ben épültek. Az 1930-as és 1940-es években több ezer kilométernyi főút

és másodrendű út készült ezzel a burkolattípussal. Néhányat ezek közül még mindig használnak anélkül, hogy felújították volna. Legnagyobb részük – 30–40 év használati idő után – aszfaltretekkel eltakarásra került, a tervezettnél lényegesen magasabb forgalmi terhelés következtében.

1927 és 1933 között néhány betonburkolat kísérleti céllal bauintertment felhasználásával készült, ezek azonban rövid élettartamúnak bizonyultak. Ezt követően azonban kizárólag nagyszilárdságú portlandcementet alkalmaztak.

A vonatkozó előírások a későbbiekben megkövetelték a 2,0 N/mm², 3,0 N/mm² és 3,2 N/mm² minimális húzószilárdságot 2, 7, illetve 28 napos korban. Egyrétegű beépítés esetén 300 kg/m³ cement volt előírva. Kétrétegű beépítés esetén az alsó rétegben 250 kg/m³, a felső rétegben pedig 350 kg/m³ volt az előírt legkisebb cementtartalom.

Az M7-es építéséhez egy speciális „út cement” került kifejlesztésre, melyet ezen a projekten alkalmaztak.

A keverővíz vegyi összetételét 1934 óta vizsgálják. Az alkalmazott víz-cement tényező 0,35 és 0,45 között változott a beépítési réteg függvényében. Az adalékanyag szemeloszlása a 60-as évek végéig a Fuller-görbét követte. Adalékanyagként bazalt zúzottkő és rendszerint folyami homok, a betonkeverék 28–34 tömeg%-ában került alkalmazásra.

Az ötvenes évek elejéig a betonburkolatok az 1936-ban kiadott Vállalkozási Feltételek szerint készültek.

1952-ben a követelmények ME 19-54 Műszaki Előírásként kerültek kiadásra, meghatározta a beton összetételére vonatkozó minőségi követelményeket, beleértve a cementtípust és -tartalmát, az adalékanyag típusát, a víz-cement tényezőt és a betonkeverék vizsgálatait. Általános útmutatót adott a beton bedolgozására, utókezelésére és a minőség-ellenőrzésre a beépítés alatt és azt követően (nyomószilárdság, hajlító-húzó szilárdság és vízállóság).

A 60-as évek végétől az adalékanyag a korábbinál kisebb maximális szemnagyság megválasztásával, növekvő homoktartalommal és a zúzott homok kizárásával fokozatosan eltért a Fuller-görbétől. A változás oka részben a húzószilárdság növelése, részben az egy rétegben való bedolgozhatóság iránti igény volt, az elérhető építési technikák 22–25 cm vastagságban való alkalmazásával. Képlékenyítő szereket 1966 óta, míg légrétekképző adalékszert kötelezően 1973 óta alkalmaznak.

Az 1934 és 1950 között épült betonburkolatok szilárdsági paramétereit kiértékelésre kerültek. Ennek alapján a harmincas években épült betonburkolatok minősége jóval kevésbé volt egységes a

¹ KTI Nonprofit Kft.; e-mail: karsai@kti.hu

² Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt.; e-mail: szanto.eva@nif.hu

³ UTIBER Kft.; e-mail: route.consult@invtel.hu

II. világháború után épültekhez hasonlítva. A legmagasabb szilárd-sági értékek 1936–38 között adódtak. A legalacsonyabb értékeket 1944-ben és a korai ötvenes években regisztrálták. A pályaburkolatok minősítésére a hengeres próbatesteket a hatvanas évek közepén kezdték el alkalmazni az első magyar autópályán, az M7-esen.

AZ M7-ES, AZ ELSŐ MAGYAR AUTÓPÁLYA

Az M7-es első magyar autópálya építése – Budapest és a Balaton között – 1963-ban kezdődött meg, először 7,5 m szélességben, majd 1970-től 8,5 m szélességben, portlandcement adagolású betonburkolattal. Az első szakaszon a burkolatvastagság 20 cm volt, az 1967 és 1971 között épült szakaszon 22 cm, végül az 1972 és 1975 között elkészült szakaszon 24 cm. A felüljárók előtt és után még nem alkalmaztak terjeszkedési hézagot. Az alapréteg vastagsága többé-kevésbé a burkolat vastagságával együtt változott. Kezdetben 25 cm vastag zúzottkő alap épült (a felső 10 cm hígított bitumennel itatott réteggel), majd mechanikai stabilizáció+bitumenes kavics alapréteg 25 cm összvastagságban. A későbbiekben az alapréteg 5 cm bitumenes homokból és 15 cm cementstabilizációból állt.

1963-ban megjelent a beton pályaburkolatok építésére vonatkozó külön ÉKSZ (Építőipari és Szerelőipari Kivitelezési Szabályzat), majd annak módosított kiadása 1971-ben. Ez a kiadvány, hasonlóan az 1954-ben kiadott Műszaki Előírásokhoz, irányelveket fogalmazott meg az építési módszerekre és technológiákra. Az 1971-ben kiadott módosított változat a végtermék minőség-ellenőrzésére összpontosított. Ezeket a műszaki előírásokat, kiegészítve a technológiára, minőségi követelményekre, vizsgálatra, ellenőrzésre stb. vonatkozó részletes vállalati előírásokkal (ún. „házi szabvány”), figyelembe kellett venni az építés során.

A 110 km hosszú autópálya néhány szakasza a korai leromlás jeleit mutatta különböző építési (technológiai) hibák miatt. Tipikus hibák voltak a táblák nem megfelelő alátámasztásából eredő repedések, a kereszt- és hosszhézagok vasalásának hiányából adódó magasságkülönbségek a táblák között, a burkolat felszínének hámlása a téli időszak olvasztó sózásának hatására. Részben emiatt, részben a politikai döntéshozók más irányú preferenciáinak következtében határozat született az autópálya-program kizárólag aszfaltburkolattal történő folytatására 1976-tól. Ennek következtében nemcsak az autópályákon szakadt meg a betonburkolat építése, hanem valamennyi egyéb közúton is. Az anyag- és gépellátás, a szakemberek képzése és a kutatások is leálltak.

SZABÁLYOZÁS 2000-IG

Az ÉKSZ-t tíz év múlva követte az MSZ 07-3212 számú, egy úgynevezett ágazati szabvány, amelyet a Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium (KPM) adott ki. Ez az ágazati szabvány már tartalmazta a betonkutatások akkori új eredményeit is.

1994-ben a kétszintű szabványrendszert átszervezték és egyszerűsítették. Egyidejűleg a kormányzat megszüntette ezeknek a szabványoknak a kötelező használatát. Az 1981-es, betonburkolatra vonatkozó ágazati szabvány visszavonásra került, majd ezt követően változatlan tartalommal kiadták mint utügyi műszaki előírást. Ennek alapján az előírás használata további néhány évig kötelező maradhatott.

A későbbiekben a projektek ajánlati kiírásához az előírások a szerződéses dokumentumokban műszaki előírás formájában kerültek meghatározásra, a szerződés különálló részeként.

A szabályozás fontos változásaira került sor 2000 körül, amikor a korábbi utügyi műszaki előírás helyett bevezetésre került az ÚT

2-3.201:2000 (Beton pályaburkolatok építése – Építési előírások, követelmények). Ezek a követelmények az új kutatási eredményeken és fejlesztéseken alapultak, figyelembe véve az idevonatkozó európai irányvonalat.

A nagy forgalmi terhelés és a nehézgépjárművek arányának nagymértékű növekedése miatt az aszfalt pályaburkolatok teljesítőképessége elérte a határát. Ez szükségessé tette, hogy ismét a betonburkolatok felé forduljunk. Az elmúlt harminc év fejlesztéseinek beépítése a tervezésbe, a technológiába és a szabályozásba elengedhetetlennek mutatkozott.

A BETONBURKOLAT ÚJJÁSZÜLETÉSE

2003-ban a magyar kormányzat határozatot hozott az autópálya- és gyorsforgalmi úthálózat fejlesztéséről a gazdasági és társadalmi követelmények kielégítésére. Egyidejűleg, mivel Magyarország tagja lett az Európai Uniónak, részt kellett vennünk az európai szabályozás kialakításában is. Az új, betonburkolatra, anyagokra és laboratóriumi vizsgálatokra vonatkozó szabványoknak harmonizált szabványként kellett megjelenniük. A szabályozásokat korszerűsíteni kellett, tükrözve a technikai fejlődés helyzetét.

Ezek az autópálya-projektek nagy kihívást jelentettek a magyar útépítő szakmának. Az autópálya-beruházásokért felelős Nemzeti Autópálya Rt. létrehozott egy „ad hoc” bizottságot a Budapesti Műszaki Egyetem és a Közlekedéstudományi Intézet vezető szakértőiből és gyakorlati szakemberekből. Ennek a bizottságnak feladata volt:

- értékelni a fenntartási tapasztalatokat,
- elemezni a jellemző tönkremeneteli hibákat,
- meghatározni a 2015-ig várható forgalomnövekedést,
- elemezni az európai és nemzetközi tapasztalatokat,
- kidolgozni a különböző burkolattípusokra vonatkozó ajánlásokat és
- kidolgozni az Építőipari Műszaki Engedélyeket a harmonizált szabványok bevezetésének előkészítésére.

A szakértők előrejelzése szerint a legdinamikusabb forgalomnövekedés a Budapest körüli M0 autópályán déli és keleti szektorán volt várható mintegy 70–100 km hosszban, az M1-es és M3-as autópályák között. Ezért a korábbi forgalmi adatok és tapasztalatok alapján a következő M0-s szakaszokra betonburkolat építését javasolták.

Az 1/2004. ÉME volt az első Magyarországon megjelent új betonburkolatra vonatkozó szabályozás, amelyet a gyakorlatban is kipróbáltak. Mielőtt megkezdtek az autópálya-projekteken a merev útpályaszerkezet építését, próbaszakaszokon gyűjtöttek kísérleti tapasztalatokat a felületképzési technikákról, a műfüves, acélfűs és mosott beton felületképzés részletes kiértékelésével. Ez a műszaki engedély tartalmazta a tervezésre, minőség-ellenőrzésre, vizsgálati módszerekre és minősítési kritériumokra vonatkozó legfontosabb előírásokat. Az anyag kiegészítésre került egy, a hidakon átvezetett betonburkolatra szóló további előírással, amely az eltérő betonkeverék és építési technológia miatt vált szükségessé (ez a 2005-ben kiadott 1.1/2004. ÉME – Építőipari Műszaki Engedély).

Az első betonburkolatú autópályát 12,5 km hosszban 2005 decemberében adták át a forgalomnak az M0-s keleti szektorában. Ennek az első szakasznak a tapasztalatait figyelembe véve került bevezetésre az új utügyi műszaki előírás, az ÚT 2-3.201:2006 (Beton pályaburkolatok építése – Építési előírások, követelmények), amely felváltotta a korábbi építőipari műszaki engedélyt

és beépítésre került az útügyi műszaki előírások rendszerébe. Az M0-s következő 26,5 km-es szakasza ennek a szabályozásnak megfelelően épült meg és került átadásra 2008 szeptemberében. Ezzel az M0-s keleti szektora az M5-ös és az M3-as autópálya között teljessé vált.

A legújabb európai tapasztalatokon és szabványokon alapuló további útügyi műszaki előírás (ÚT 2-3.211:2006) is kiadásra került a betonburkolatú és kompozit burkolatú útpályaszerkezetek méretezésére.

Az új szakaszok építése során szerzett tapasztalatok új problémákat hoztak a felszínre, elsősorban a zajvédelem területén. A betonburkolat mosott felületképzéssel történő építésének lehetősége valós alternatívát kínált a zajszint csökkentésére és ugyanakkor a technológiai és műszaki színvonal emelésére a legújabb európai szabványoknak megfelelően. A mosott felületképzésű betonburkolat építésére vonatkozó előírás, az ÚT 2-3.213:2008 (Hézagában vasalt, kétrétegű, mosott felületképzésű betonburkolatú merev útpályaszerkezet építése) 2008-ban jelent meg. A meglévő M0-s körgyűrű 2x3 sávokra történő bővítése a déli szektorban az M1 és M5 autópályák között már ezzel a felületképzési technológiával épül.

KÍSÉRLETI SZAKASZOK

Az M7-es autópálya néhány szakasza a különböző kivitelezési hibák következtében a korai leromlás jeleit mutatta. Ez volt az egyik ok, amiért hazánkban a Közlekedési Minisztérium úgy döntött, hogy 1976-tól az autópálya-építési program során kizárólagosan az aszfaltburkolatokat használja. Ettől kezdve csak aszfaltburkolatok épültek hazai közúthálózaton.

Az igen erős nehézgépjármű-forgalom, az aszfaltburkolatok magas fenntartási költsége, valamint a Budapestet elkerülő M0-s autópályán kívül nagy forgalma, ezen belül is nehézgépjármű-forgalma voltak azok a kiváltó okok, amelyek a betonburkolatok ismételt alkalmazását elindították Magyarországon.

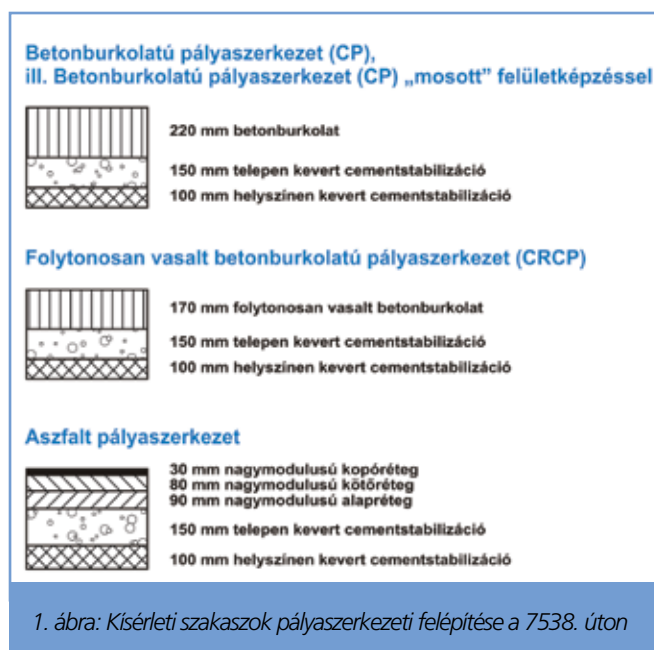
A közlekedési szaktárca a betonburkolatú kísérleti szakaszok építésének előkészítésével a Közlekedéstudományi Intézetet bízta meg. Első lépésként a betonburkolatok tervezésére, építési technológiákra, alkalmazott alapanyagokra, valamint betonreceptúrákra vonatkozó legújabb külföldi tapasztalatok összegyűjtése volt a feladat. Ezt követően kiválasztásra kerültek azok a technológiai megoldások és keverék-összetételek, amelyek a magyarországi éghajlatnak és forgalmi viszonyoknak a leginkább megfeleltek. A reális lehetőségek figyelembevételével az alábbiak szerinti néhány burkolatváltozat részletes kidolgozásra került:

- hézagolt, teherátadásra vasalt betonburkolat,
- hézagolt, teherátadásra vasalt betonburkolat „mosott” felületképzéssel,
- folytonosan vasalt betonburkolat,
- folytonosan vasalt betonburkolat nagy modulusú aszfalt kopóréteggel (kompozitburkolat).

A kísérleti szakaszok mellé – az eredmények összehasonlíthatósága érdekében – minden esetben, kontrollszakaszként hajlékony pályaszerkezet is épült.

Kísérleti szakaszok a Letenye és Lenti közötti 7538. úton

Az első kísérleti szakasz a magyar és szlovén határhoz közel, a Letenyét és Lenti összekötő, 7538. úton 1999-ben épült meg. A nagy kamionforgalmú és részben erősen leromlott állapotú úton



pályaszerkezet-cserével négy kísérleti szakasz készült, amelyek az 1. ábra szerinti felépítésű, egyenként 500 fm-es hosszúságú részekből álltak.

A betonburkolatú kísérleti szakaszok egyik változata a Magyarországon még nem épített folytonos vasalású betonburkolat volt. A 170 mm-es vastagságú betonburkolat keresztmetszeti területének 0,67%-ában hosszvasalást tartalmazott, és kereszthézag kialakítása nélkül épült meg. A szakasz tervezésében a jól bevált külföldi gyakorlatnak megfelelő szempontok kerültek figyelembe vételre, nevezetesen a hosszirányú vasalás elhelyezése, toldása, a szabad vég lehorgonyzása és dilatációs szerkezete vonatkozásában. A 6 m-es szélességű burkolat két ütemben, egyenként 3 m-es sávokban, egy burkolati réteggént került kivitelezésre.

A betonburkolatú kísérleti szakaszok egy másik változatánál – a gördülözaj csökkentése és a makroérdesség növelése céljából – a betonburkolat felülete „mosott felület” képzési technológiával épült meg.

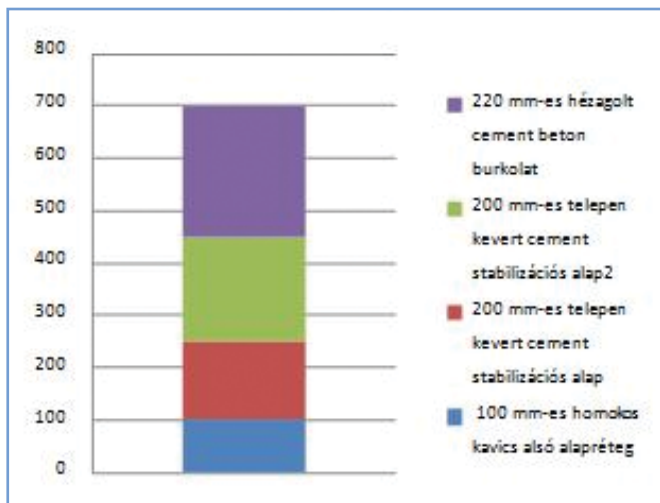
A kontrollszakaszként épített hajlékony pályaszerkezet a deformációnak jól ellenálló, nagy modulusú aszfaltrétegekből készült. Az aszfaltkeverékek tervezése a SHRP tervezési módszer alapján történt.

Kísérleti szakaszok a 44. úton

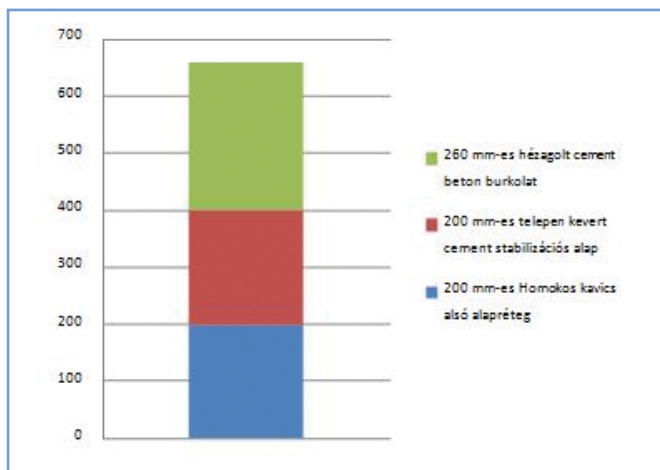
2003-ban újabb kísérleti szakaszok épültek a 44. úton Békéscsaba és Gyula között, egyenként 350 m hosszúságban. Az útra jellemző volt a nehéz gépjárművek nagy forgalma (AADT=9804 egységtengely/nap, 1981 nehézgépjármű/nap). A megépült pályaszerkezeti változatok felépítését mutatja a 2. a 3. és a 4. ábra.

Kísérleti szakasz a 4. úton

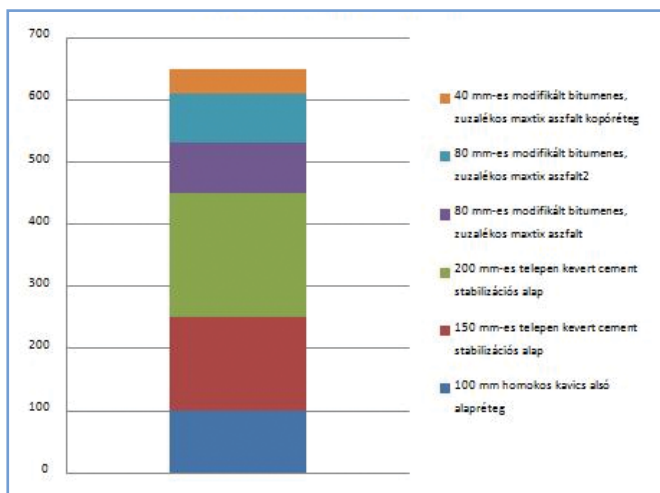
2003-ban egy másik betonburkolatú kísérleti szakasz is épült a 4. úton (AADT=16 651 egységtengely/nap, 2154 nehézgépjármű/nap). A 8,25 m-es szélességű betonburkolat csúszózsalsal finiszerrel készült egy ütemben. Az 5. ábra a merev, a 6. ábra pedig a kontrollszakaszként épített hajlékony pályaszerkezet felépítését mutatja be.



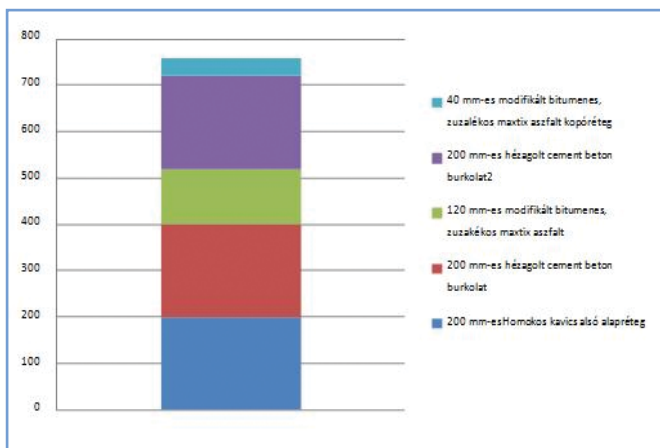
2. ábra: Kísérleti szakasz pályaszerkezeti felépítése a 44. úton – merev pályaszerkezet



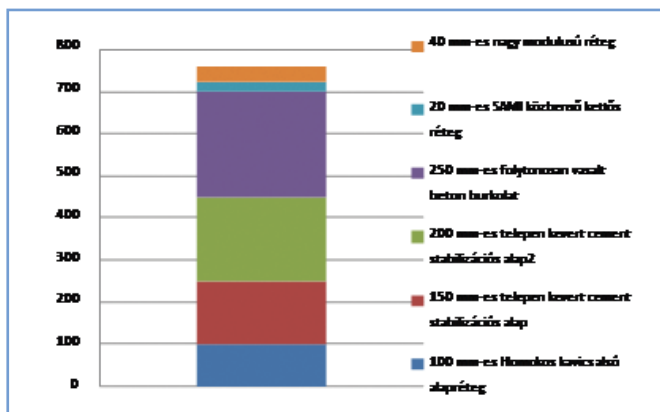
5. ábra: Kísérleti szakasz pályaszerkezeti felépítése a 4. úton – merev pályaszerkezet



3. ábra: Kísérleti szakasz pályaszerkezeti felépítése a 44. úton – félig merev pályaszerkezet



6. ábra: Kísérleti szakasz pályaszerkezeti felépítése a 4. úton – aszfalt pályaszerkezet



4. ábra: Kísérleti szakasz pályaszerkezeti felépítése a 44. úton – kompozit pályaszerkezet

A kísérleti szakaszok állapotvizsgálati rendszere

A gondosan megtervezett és megépített kísérleti szakaszok (és az azokhoz csatlakozó referenciaszakasz) viselkedésének, állapotváltozásának ismerete a különböző burkolattípusok célszerű alkalmazási területeinek kijelöléséhez döntő tényező.

Ennek érdekében az alkalmazandó állapotjellemzési rendszernek minden elméletileg lehetséges tönkremeneteli típusra ki kell térnie. Az 1. táblázat mutatja be, hogy az aszfalt- és a betonburkolatok esetében a romlás típusok és ebből adódóan a szükséges mérések fajtái is némileg eltérnek egymástól. Az állapotfelvételekre félévenként, illetve később évenként került sor.

A különböző burkolattípusok viselkedésének összehasonlítása az alábbi vizsgálatok eredményei alapján történt:

- a burkolat felületének érdessége csúszásellenállás (SRT) méréssel,
- a burkolatfelület makroérdességének jellemzése homokmélység méréssel,
- a hosszirányú profil meghatározása ÚT-02 típusú hosszirányú egyenletlenségmérővel,
- felületi hibák vizuális állapotfelvétele a hibatérkép készítéséhez.

A vizsgálati eredmények értékelése

A 7. ábra a 7538. úti különböző felületképzésű kísérleti szakaszokon mért SRT-értékek alakulását mutatja be az idő függvényében. A kezdeti eltérő – 50 és 80 közötti – SRT-értékek tíz év után már közel azonosakká váltak.

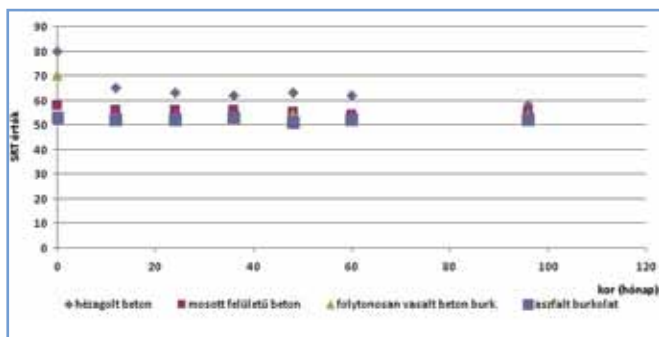
Az 8. ábra a kísérleti szakaszok homokmélységadataira mutat be hasonló adatsort. A „mosott felület” képzéssel kialakított kísérleti szakaszon mért kiemelkedően magas kezdeti makroérdesség négy év után számottevően csökkent. Az aszfaltburko-

1. táblázat: Lehetséges romlástípusok és jellemzett állapotparaméterek burkolattípusonként

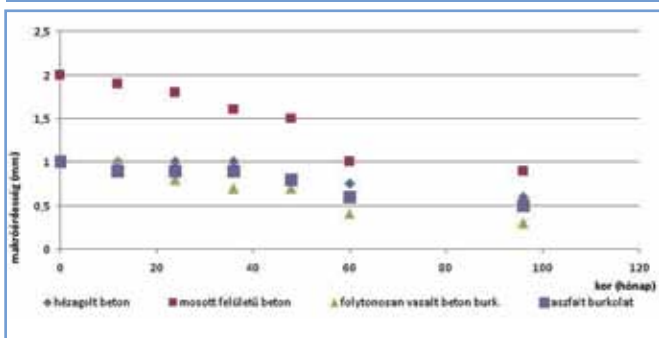
Leromlás formája	Állapotparaméter	Aszfaltburkolat	Betonburkolat
Hullámosodás	Felületi egyenletesség	x	
Táblalépcső	Felületi egyenletesség		x
Nyomvályúképződés	Keresztprofil mérése	x	
Elsíkosodás	Csúszásellenállás	x	x
Kiálló zúzalékszemek elkopása	Makroérdesség	x	x
Felületi hibák képződése	Felületállapot	x	x

latú referenciaszakasz érdessége alig változott. A folytonosan vasalt betonburkolat felülete napjainkra meglehetősen alacsony makroérdességűvé vált.

A 9. ábra a folytonosan vasalt betonburkolatú kísérleti szakaszon kialakult keresztrepedések számának változását mutatja be az idő



7. ábra: 7538. úti kísérleti szakaszok SRT-értékei az idő függvényében

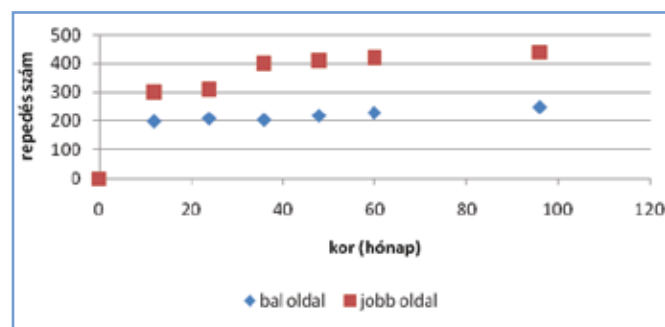


8. ábra: 7538. úti kísérleti szakaszok homokmélység-értékei az idő függvényében

függvényében a két forgalmi sávon külön-külön. Az első nyolc hónapban a repedések száma igen intenzíven növekedett, majd ezt követően a folyamat jelentősen lelassult. A keresztirányú repedések 1,0–1,7 m-es átlagos távolsága alig volt kisebb a szakirodalom által javasolt optimális értéknél. A két forgalmi sáv között tapasztalható leromlási különbség arra a tényre vezethető vissza, hogy a jobb forgalmi sávon haladó kamionok áruval megrakottan közlekedtek az adriai kikötők felé, és a legtöbb üresen jött vissza a másik forgalmi sávon.

A 44. úti három kísérleti szakaszon néhány héttel a kivitelezés befejezését követően gördülőzaj mérésére került sor. Az eredmények értékelése alapján a következő megállapítások tehetők:

- 50 Hz-nél alacsonyabb frekvencián a betonburkolat zajszintje a két aszfalt kopórétegű burkolaton mért értékek között volt,
- 250–2500 Hz közötti frekvenciatartományban a hézagolt, teherátadásra vasalt betonburkolaton, 90 km/h sebességnél 3–5 dB-lel magasabb zajszint adódott, mint az aszfalt kopórétegen,
- 2500 Hz-nél magasabb frekvencián a betonburkolatú variáns 1,0–2,5 dB-lel csendesebb (90 km/h sebességnél), mint a bitumenes kopórétegű változatok.



9. ábra: A 7538. úti folytonosan vasalt szakasz keresztrepedéseinek száma az idő függvényében

2. táblázat: A betonburkolatú felületek csúszásellenállásának és makroérdességének követelményei

Hely/előírás	Felületképzés	SRT-érték	Homokmélység, mm	SFC-érték SCRIM mérésével
4. úti kísérleti szakasz	kefélés	71	0,48	0,6
Magyar előírás (ÉME-1/2004)	kefélés	≥ 55	0,5 – 1,0	≥ 0,50
Osztrák előírás	kefélés	–	≥ 0,40	–
Német előírás	egyéb	≥ 65	–	≥ 0,56
Angol előírás	egyéb	–	0,62 – 1,35	–
Svéd előírás	egyéb	≥ 65	–	–
Belga előírás	mosott felület	–	–	≥ 0,56
Francia előírás	egyéb	–	≥ 0,50	–
Olasz előírás	egyéb	–	–	≥ 0,55
Spanyol előírás	egyéb	–	0,7 – 1,0	–

A 2. táblázat a különböző felületképzési módokhoz tartozó felület érdességi (SRT, homokmélység, SFC) mutatók európai követelményértékeit foglalja össze.

Az elmúlt tíz évben számos betonburkolatú kísérleti szakasz épült Magyarországon. A kísérleti szakaszok állapotmegfigyelésének eredményeként megállapítható, hogy a merev pályaszerkezetű változatok csúszásellenállása és gördülő zaja nem szükségképpen kedvezőtlenebb az aszfaltburkolatokénál.

A tapasztalatok pozitív eredményei, továbbá a feltételezett egész élettartam alatti alacsony költségek megalapozták a kiemelkedően nagy forgalmú és nehéz gépjárművek által igénybe vett, Budapest körüli M0-s autópályát betonburkolattal történő építését.

A BETONBURKOLAT ÉPÍTÉSE

Pályaszerkezet

Az M0-s autópálya forgalmi terhelés szempontjából a legmagasabb R forgalmi kategóriába tartozik ($>3 \cdot 10^7$ egységjármű). A pályaszerkezet ennek megfelelően az alábbi:

- 26 cm CP 4/2,7-32 betonburkolat
- bitumenemulzió mint közbenső elválasztó réteg
- 20 cm Ckt-4 hidraulikus kötőanyagú alapréteg

Keresztszelvény, forgalmi sáv szélessége

Az M5-ös és az M31-es autópálya közötti szakasz betonburkolatának mintakeresztszelvénye 2×2 sáv, 3,75 m sáv szélességgel és 3 m széles leállósávval. Az M31-es és az M3-as autópálya közötti szakaszon a forgalmi sáv szélessége 3,5 m, a csomóponti ágaké 6 m, míg a gyűjtő-elosztó pályáké 7,5 m. A beépítési sáv szélességek és építési ütemek csökkentése érdekében a főpálya geometriája újra lett tervezve.

Kereszthézag- és hosszhézagvasak

A 25 mm átmérőjű és 50 cm hosszúságú, kör keresztmetszetű, teflon védőbevonatú kereszt- és hosszhézagvasakat a főpályán a betonfiniserre szerelt speciális hézagvas-elhelyező berendezés építette be (10. ábra). Minden más esetben a kereszt- és hosszhézagvasak ún. kosarakra lettek erősítve, és ezeket Hilti-szegekkel rögzítették az alaprétegre elmozdulás ellen. A kereszt- és hosszhézagvasak 25 cm-enként lettek elhelyezve a burkolatvastagság felében. A hosszhézagvasakat a főpályán

szintén a betonfiniserre szerelt speciális berendezés vibrálta be a friss betonba, de a leállósávban és az egyéb felületeken, mivel ezek külön betonozási ütemben készültek, fűrt lyukakba lettek beragasztva. A 16 mm átmérőjű, 60–80 cm hosszúságú hosszhézagvasakra 20 cm hosszúságban speciális korrózió elleni védőréteg került felhordásra még a beragasztás előtt. A hosszhézagvasak 1 m-enként kerültek elhelyezésre, 0,5 m-re a kereszthézagtól kezdődően.

BETONKEVERÉK

Keveréktervezés

A betonkeveréket eltérő, ún. tavaszi és őszi időjárási körülményekre kellett megtervezni. A keverékekhez CEM II/A-S 42,5N és CEM II/B-S 32,5R típusú cementeket használtak. A nyári időszakban a CEM II/B-S 32,5R, a hideg időszakban a CEM II/A-S 42,5N típusú cementtel történt a keverékgyártás. Mindkét cementtípussal az építés megkezdése előtt elkészültek a laboratóriumi alkalmassági vizsgálatok. Bazalt vagy andezit zúzottkő került felhasználásra 32 és 22 mm legnagyobb szemmérettel.

Légpórusképzőt és képlékenyítőt is adagoltak a megfelelő konzisztencia, a tömöríthetőség biztosítása érdekében, valamint a fagyás-olvadás és az olvasztó só károsító hatása ellen. A D_{max} -tól függően a friss beton levegőtartalmának $4,5-6\% \pm 1,5\%$ között kellett lennie. A minimális légtartalom a D_{max} -tól függően 3,5, ill. 4,5% lehetett.

A 18 cm-es alsó és a 8 cm-es vastagságú felső betonréteg keverék-összetétele azonos volt. Az adalékszerek adagolását a léghőmérséklethez és az adalékanyag-frakciók nedvességtartalmához kellett igazítani. Az adagolt víz mennyiségét szintén az adalékanyag, ezen belül is elsősorban a homokfrakció nedvességtartalmának függvényében kellett változtatni annak érdekében, hogy a w/c -tényező $\pm 0,02$ megengedett tűrését tartani lehessen.

Természetesen pl. a helyszínen kézzel betonozott táblák esetében a konzisztenciát az alkalmazott beépítési technológiához kellett igazítani a szokásosnál nagyobb mennyiségű képlékenyítő adalékanyag hozzáadásával. Nagy kihívást jelentett a megfelelő konzisztenciájú betonkeverék előállítása a hídon átvezetendő betonburkolat megépítése során. Pumpálhatónak, könnyen tömöríthetőnek kellett lennie és ki kellett elégítenie a szilárdsági és felületi követelményeket is.

Betongyártás

A betonkeverékek gyártását olyan szakcégek végezték, akik megfelelő berendezésekkel rendelkeztek és működtetni tudták. Két szakaszos üzemű betonkeverő gép, egyenként 3 m^3 -es keverőteknő kapacitással került felállításra az építési szakaszok közelében (11. ábra). Csak az M0–M6-os autópálya-csomópont térségének építése idején haladta meg a beton szállítási távolsága a 10 km-t. A keverőgépek a homokfrakció nedvességtartalmát folyamatosan mérő szondával voltak felszerelve, és az adagolandó víz mennyisége ez alapján korrigálásra került. A keverést a keverőteknőben két vízszintes elrendezésű keverőtengelyre szerelt lapát végezte. A keverőtelep teljesítménye a burkolatépítő géplánc $1 \text{ m}^3/\text{perc}$ beépítési sebességére lett méretezve, $+20\%$ tartalékkapacitás ráhagyásával, amely gyakorlatilag $200 \text{ m}^3/\text{óra}$ friss beton kiadási teljesítménynek felelt meg. A homogén keverék előállítása érdekében 1 perc keverési idő lett meghatározva, azt követően minden összetevő a keverőteknőbe lett adagolva. A jóváhagyott receptúra megfelelőségéről első típusvizsgálat eredményei alapján győződtek meg az érintettek, és az eredményeket a mérnök hagyta jóvá.



10. ábra: A kereszt- és hosszhézagvasak automatikus elhelyező berendezése



11. ábra: Keverőtelep

A BETONBURKOLAT ÉPÍTÉSE

Főpálya-leállósáv építése

A beépítés megkezdése előtt a kivitelezőnek próbaszakaszt kellett építenie és a beépítési folyamatot (keverékgyártás, szállítás, beépítés, felületképzés, utókezelés stb.) össze kellett hangolnia. A próbaszakaszok eredményei ki lettek értékelve, és a kiértékelést a mérnök hagyta jóvá, mielőtt az üzemszerű beépítés megkezdődhetett.

A főpályát és a gyűjtő-elosztó pályákat két Wirtgen SP 1600 típusú betonfiniser építette „friss a frissre” technológiával (12. ábra). Az alsó 18 cm vastagságú rétegre került a 8 cm vastagságú felső réteg. Az ellentétes oldalesésű leállósávok, csomóponti ágak Wirtgen SP 500-as finiserrel épültek teljes rétegvastagságban. A főpályán és a gyűjtő-elosztó pályákon a kereszt- és hosszhézagvasakat a finiser speciális adaptere vibrálta be a burkolatba. A hosszsimító után 200 g/m² mennyiségben párazáró szer került kiszórásra a felületre a kiszáradás, felmelegedés és a vadrepedések kialakulásának megakadályozása érdekében. A felületi hibákat és a széleket a kivitelezők javították.

Betonburkolat-építés hidakon

A hidakon a betonburkolat építése a vasalás pozíciója miatt (acélháló) különleges technológiát és keverék-összetételt igényelt. A hidakon a betonburkolatot legalább két fázisban kellett építeni, mivel az építési forgalom számára a híd másik felét szabadon kellett hagyni. A betont mixerek szállították a beépítés helyére, és betonpumpával juttatták közvetlenül a finiser elé. A betonburkolat vastagsága a hidakon kezdetben 21 cm volt, majd a későbbiekben 26 cm. A betonozást megelőzően 10×10 cm-es lyukbőségű, 10 mm-es átmérőjű betonacélból készített háló került elhelyezésre speciális alátámasztásokon, 7 cm-rel a beton első síkja alá (13. ábra). A vasalás a hézagok felett meg lett szakítva. Speciális terjeszkedési hézagszerkezetek kerültek kialakításra és beépítésre. A teljes vastagság egyben épült meg. A felületkezelés és az utókezelés azonos volt a főpályáéval.

Felületképzés

Az eddig elkészült M0-s autópálya-szakaszokon különböző felületképzési technológiák kerültek alkalmazásra. A felületképzési technológia a próbaszakaszon szerzett tapasztalatok, mérési eredmények alapján került kiválasztásra. Az érdesítés mindig hosszirányban



12. ábra: A főpálya építése

történt. Az első szakaszon műfüves, a továbbiakon acélszerű érdesítést alkalmaztak. A műfüves technológia megfelelőnek bizonyult, az előírt felületi paraméterek követelményeit a burkolat teljesítette (homokmélység, SFC-érték). Azonban bizonyos időjárási és beépítési körülmények között a felület homogenitása megváltozott, kisebb felületi hibák jelentek meg. Különösen meleg időben a habarcs be-leragadt a műfübe, megkötött és megsértette a friss beton felületét. A műfü-szőnyeget súlya miatt napközben nem lehetett megfelelően leszerelni, kitisztítani és újból felszerelni. Minden műszak végén cseréje vagy tisztítása vált szükségessé.

A csomóponti ágakon acélszerű érdesítést alkalmaztak, keresztirányban. A későbbi szakaszokon ugyancsak acélszerű alkalmaztak a felületképzéshez a jobb és egyenletesebb felületi érdesség érdekében (14. ábra). Az acélszerűt, amely a beépítési szélességhez igazodva kisebb darabokból állt össze, jól lehetett igazítani a beépítési szélességhez. Az acélszerű tisztítása könnyű volt, a beépítést megszakítás nélkül lehetett folytatni és azonnal igazítani a friss beton konzisztenciájához.

Mivel az új előírás a mosott felületképzésű betonburkolatokra már érvényben van, a megrendelő ezt a felületképzési technológiát írta elő az M0-s autópálya déli szektorában, a 2×3 sávú szakaszon az M1–M5-ös autópálya között. Ennek a projektnek a sikeres befejezését követően elmondhatjuk, hogy Magyarország is elérte a betonburkolat-építés jelenlegi nemzetközi műszaki színvonalát.

Utókezelés

A friss beton kiszáradása, azaz a víznek a felületről történő elpárolgása, a burkolatfelület túlmelegedése ellen fehér színű utókezelő párazáró réteget permeteztek ki a felületre és a betonburkolat oldalára azonnal, a felületképzés befejezését követően.

Hézagvágás és hézagzárás

A kereszt-hézagok vágását megelőzően próbavágással kellett ellenőrizni, hogy a zúzalékszemek kiperegnek-e a burkolatból vágás közben vagy sem. A kereszt-hézagok 5 m-enként lettek vágva. Az első vágás a burkolatvastagság 25–33%-áig történt annak érdekében, hogy a repedések a hézagokban alakuljanak ki. Ezt követően a hossz-hézagok lettek megvágva a burkolatvastagság 33–45%-áig. Az első vágás szélessége 3–3,5 mm szélességű volt. Hézagvágó gépet mutat a 15. ábra.



13. ábra: Betonacélháló kereszthézagvasakkal a hézagokban



14. ábra: Felületképzés acélszerűvel

A második fázisban a hézagokat 10–12 mm-re kiszélesítették, 25–35 mm mélységig. Ezt követően a hézagéleket 45°-ban lecsiszolták. Ezután következett a hézagok tisztítása forgó acéldrótszálal kefével, majd a hézag alján elhelyezésre került a hézagzsínór, amely ellenáll a magas hőmérsékleteknek. A hézagrés oldalfelületeire tapadóhíd került felhordásra. A hézagokat végezetül forró bitumenes hézagkiöntő anyaggal töltötték ki, nem egészen a burkolat felső síkjáig.

Néhány esetben tapasztalatszerzés céljából hézagprofilok kerültek beépítésre a kereszt- és hosszhézagokba.

Terjeszkedési hézagokat (általában hármat) építettek be a hidak pályalemezének végeitől meghatározott távolságokban. 3%-nál nagyobb hosszúságú szakaszokon csak egy terjeszkedési hézag lett beépítve, méghozzá az alacsonyabbik oldalon. Az úszólemez után 46 cm magasságú terjeszkedési hézagszerkezet lett tervezve és beépítve. A betonburkolat vastagságát a hidraulikus kötőanyagú alapréteg vastagságával megnöveltük, lehorgonyozva a hidak előtt a betonburkolatot annak érdekében, hogy vízszintes irányú erők ne adódjanak át a felszerkezetre a hosszirányú táblamozgásokból és a termikus igénybevételekből adódóan. A terjeszkedési hézagok acéllemezei közé összenyomható polisztirol hab lett elhelyezve, mivel rendkívül alacsony a vízfelvétele. A terjeszkedési hézagok szintén bitumenes kiöntőanyaggal lettek lezárva.



15. ábra: Hézagvágó vágóiszap-felszívó berendezéssel

ÖSSZEFOGLALÓ

Az elmúlt hat évben sikerült Magyarországon korszerű betonburkolat-építési technológiákat bevezetni és az előírásokat alkalmazni, a legújabb európai előírásoknak megfelelően átdolgozni. A vonatkozó előírások és szabványok előkészítése majdnem párhuzamosan haladt a pályázatásokkal, valamint azok gyakorlati alkalmazásával. Az M0-s autópályát megépült szakaszait tapasztalt európai kivitelezők közreműködésével sikerült megvalósítani. A pályázati kiírások elkészítése és a megvalósítás között eltelt hosszú idő, továbbá az uniós finanszírozási eljárás meghatározta a szerződéses feltételeket. Mindazonáltal a betonburkolatok az aszfaltburkolatok valódi alternatívái lettek a különösen nagy forgalmú és elsősorban főként nehézgépjárművek által használt autópályákon, autópályákon.

A jövőben Magyarországnak elsősorban a meglévő betonburkolatok folyamatos megfigyelésére kell összpontosítania annak érdekében, hogy kellő tapasztalat és információ álljon rendelkezésre az ilyen jellegű jövőbeli projektekhez, valamint a már elkészült betonburkolatok üzemeltetéséhez és fenntartásához.

IRODALOM

- Verhasselt, A.: Air-Entraining Agents in Road Concretes and Characterisation of the Air Void System in the Fresh Concrete. Proceedings, 7th International Symposium on Concrete Roads, Vienna, 1994, Session 6.
- Eisenmann, J.: Bemessung und Konstruktion von Betonstrassen. Rückblick-Ausblick. Strasse und Autobahn, 12/1996.
- Goppel, J.M. and Cools, P.M.: Scope of the Activities of the Joint Research Programme on Concrete Roads in the Netherlands. Proceedings, 7th International Symposium on Concrete Roads, Vienna, 1994, Session 1.
- Stinglhammer, H. and Krenn, H.: Noise Reducing Exposed Aggregate Surfaces. Experience and Recommendations. Proceedings, 7th International Symposium on Concrete Roads, Vienna, 1994. Session 1.
- McCullough, B.F.: Design procedure for CRCP based on laboratory and field observations. Proceedings, International Conference on Concrete Pavement Design, Lafayette, IA, 1997.
- Nissoux, J.L., Goux, M.T. and Sommer, H.: Synoptic Table on Standards and Practices for Concrete Roads. International Revue. 7th International Symposium on Cement Concrete Roads. Vienna, 1994.
- Dr. Liptay A.: Betonburkolatok fejlesztése és építése a 60-as években Magyarországon