

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNY



Betonút csak a Lajtán túl? (1. rész)

Erdélyi Attila¹, Fenyvesi Olivér², Gável Viktória³, Gál Attila⁴¹ BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék és Cemkut Kft.,² BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,³ Cemkut Kft.,⁴ Betontechnológia Centrum (BTC) Kft.

e-mail: erdelyi.attila33@gmail.com; fenyvesi.oliver@epito.bme.hu; gavelv@cemkut.hu; gala@btclabor.hu

DOI: 10.36246/UL.2019.1.06

Kivonat Az egyre sűrűbb nehézjármű-forgalom és a növekvő tengelysúlyok viselésére az aszfaltburkolatok – az éghajlati melegedés hatásával tetézzve – sok helyen már nem felelnek meg. Az Amerikai Egyesült Államok 45 államának tényleges pályázati árajánlatait elemezve igazolták, hogy az államok adott évi 200 millió dolláros költségvetéséből összesen több km út építhető meg, ha a betonútépítő iparág részesedése a költségvetésből mintegy 35–40%-os (és az aszfalté így „csak” 65–60%), mert az így beálló egészséges versenyhelyzetben mind a beépített aszfalt, mind a beton egységára csökken. A helyes és gazdaságos arányt igazolják a tőlünk nyugatra fekvő országok aszfalt/beton pályaburkolati viszonyszámai is (1. táblázat). Piaci versenyhelyzet nélkül a pályaburkolat kiválasztási eljárása értelmetlenné válik (Wathne L, ACPA). Vannak továbbá olyan esetek, amikor – az ártól függetlenül – a burkolatok gyors felújításához vagy cseréjéhez csak beton: „gyorsbeton” alkalmazható, pl. repülőtéri kifutópályáknál, nagyforgalmú autótaknál stb., amikor már 5 (zürichi repülőtér)vagy 8–12–24 órás elzárás után a betonpályát át kell adni a forgalomnak. A gyorsbeton – a gyorsan szilárduló cement és a folyósító adalékszerek révén – már néhány óra vagy legföljebb 1 nap múlva (pl. M7-es út, táblacsere) eléri a terhelhetőséget jelentő kb. 20 N/mm² nyomó- és 4–5 N/mm² hajlítószilárdságot. Cikkünk következő, 2. részében további betonútépítési módokat tekintünk majd át (mosott beton, White Topping, azaz fehér/beton/szönyegezés aszfalton vagy betonon, autópálya-építés újrahasznosított betonból, betonnyomsávós és egyéb betonanyagú mező- és erdőgazdasági utak).

Kulcsszavak betonburkolat, beton kontra aszfalt, útburkolatfajta kiválasztása, piaci árverseny, globális felmelegedés, gyorscement, gyorsbeton

Concrete roads only westward from Hungary?

Abstract Asphalt pavements nowadays on many motorways do not correspond highly requirements caused by the continuously increasing number of heavy vehicles and axle loads. The global warming is also impairing the rideability of asphalt pavements under such conditions. An analysis of the actual bid data and unit prices for asphalt and concrete in 45 states of the USA is rendering the following data. From the same sum of budget less km length road can be built, if only one single type of pavement, i.e. asphalt is applied (and only such types of firms are involved in contracts), as compared to the case of a competitive market with concrete pavement building companies. If so, when sharing the budget with abt. 30–40% in favour of concrete pavement and such companies and so „only” the rest 70–60% goes to asphalt road building, then due to the competition of the two types of road building companies both the unit price of asphalt and that of concrete will decrease significantly. USA experts (e.g. L. Wathne, ACPA) say that there is no equitable and meaningful pavement type selection process without a competitive market. The result of such a competitive market is also proved, when looking at the asphalt/concrete road ratio percent of West-European countries (Tabl. 1.) Furthermore, there are cases of rapid pavement reconstruction necessities (eg. airport runways, busy motorways), where only the fast track paving concrete renders an acceptable solution as a traffic stop only for a few hours is allowed. Therefor a „fast concrete” attaining abt. 20 N/mm² compressive and 4–5 N/mm² flexural strength within these few hours must be used. The Part 2 of this paper will deal with other useful concrete pavement types (exposed aggregate surface concrete, White Topping, the use of recycled concrete in road building, agricultural concrete roads, etc.)

Keywords concrete pavement, concrete versus asphalt, selection of pavement type, market price competition, global warming, rapid cement, fast track paving

Dr. Erdélyi Attila

(1933-) okl. mérnök (1956), ny. egyetemi docens, a műszaki tudomány kandidátusa. Kivitelező a Máv Hídépítő Vállalatnál 1961-ig, majd tervező a Vizitervnél 1963-ig. Tanársegéd, majd 1965-től adjunktus dr. Palotás László professzor mellett a BME Építőanyagok Tanszéken. 1973-ban egyetemi doktor, 1984-ben a műszaki tudomány kandidátusa, 1985-től egyetemi docens, 1991-től 1995-ig tanszékvezető. A FIP, majd fib Acélbizottságának volt magyar tagja, és a MAÚT tagja. 2003-ban Palotás-díjat kapott. Szakterületei: feszítő acélok relaxációja, feszítési veszteségek, adalékszerek, különleges sózás és fagyálló út-, híd-, vízpítési-, továbbá nagyszilárdságú-, tömeg- és gyorsbetonok, acélszálas betonok, nagyműtárgyak betontechnológusa. Hazai és európai szabványosítás. Szakmérnöki és régebben mérnöktovábbképző, doktorandusz és angol nyelvű oktatás a fenti tárgykörökben.

Dr. Fenyvesi Olivér

(1981-) adjunktus, BME, okl. építőmérnök (BME 2005), szerkezetépítő PhD (BME 2012), műemlékvédelmi szakmérnök (2017), korróziós szakmérnök (2018), adjunktus a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén. Fő kutatási területei: betonok korai (autogén + száradási) zsugorodása, korai zsugorodási repedések közönséges és könnyűbetonokban, szálerősített betonok, szálerősített könnyűbetonok, könnyűbetonok tartóssága, önterülő könnyűbetonok, útbetonok, betonszerkezetek korróziója, épületdiagnosztika, épített örökség védelme. A Szilikátipari Tudományos Egyesület Beton Szakosztályának titkára, illetve Kő és kavics Szakosztályának tagja, a FIB (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozatának tagja.

Dr. Gábel Viktória

(1975-) kutatómérnök, Tanúsítási Iroda vezető, CEMKUT Kft., okl. előkészítéstechnikai mérnök (Miskolci Egyetem 1998), szerkezetépítő betontechnológus szakmérnök (BME 2006), földtudományi PhD (Miskolci Egyetem, 2013), c. egyetemi docens (Miskolci Egyetem). Fő kutatási területei: klinkerek és cementkiegészítő anyagok örölhetősége; őrlési finomság értékelése; alternatív nyersanyagok cementipari felhasználhatósága; csökkentett klinkerhányadú cementek őrlési technológiája, szemcseméret-eloszlása, minősége, alkalmazástechnikai tulajdonságai, csökkentett klinkerhányadú cementekből készült betonok teljesítőképessége, tartóssága. A Szilikátipari Tudományos Egyesület szakértője (2012), az MSZT/MB 102 Cement és mész nemzeti szabványosító műszaki bizottság elnökhelyettese (2019).

Gál Attila

(1984-) okl. mérnök, Műszaki Földtudományi Kar, Környezeti eljárás-technikai és hulladék-előkészítéstechnikai szakirány (2009 Miskolci Egyetem), Nemesdy Ervin diplomadíj, Harsányi István tanulmányi ösztöndíj. Ellenőrző mérnök (2010-2018 Cemkut Kft.) Kutatási Terület: cementek szulfáduzzadásának mérése, cementek savállósági vizsgálatának fejlesztése. Laboratóriumvezető (2018-tól jelenleg is) Beton Technológia Centrum Kft.

1. Kérdésfeltevés

Az egyértelmű éghajlati felmelegedés, a nehézgépjármű forgalom és a tengelysúlyok növekedése, a sűrű forgalmat akadályozó – a gyakoribb felújítások okozta – útlezárási és torlódási hátrányok miatt az aszfalttól a jó láthatóságú és tükröződésmentes felületek, a tartósan jól járható, kevesebb fenntartást igénylő betonpályák irányába kell eltolódnia az autópályák, gyorsforgalmi és megkerülő utak burkolatválasztásának.

Igazolni fogjuk, hogy ez *műszakilag is és gazdaságilag is* helyes megoldás (Asphalt Roads VS Concrete Roads, Liptay A, 1966; Liptay, 2012).

A betonburkolat *nem gyúlékony*, ezért alagutakban és a hozzá vezető szakaszokon sok országban kötelező, benzinkutak környezetében mindenütt. A világos színe miatt jó fényvisszaverő, és ezért nagyvárosok *hőszigeteteinek* megszüntetéséhez (az egyébként még kedvezőbb zöldfelületek növelése mellett) az *aszfaltot betonnal helyettesítik* vagy azzal vonják be (White Topping vagy „fehérszőnyegezés”). Ugyanazt a megvilágítás erősséget (cd/m^2) kevesebb energiával lehet elérni. Jobb a

járművek és személyek *éjszakai láthatósága* (Maier et al., 2016): és rövidebb a *fékút* a betonburkolatú utakon. A *súrlódási együttható* 7 év után is azonosnak tekinthető a kezdeti értékekhez képest (Haider és Steigenberger, 2007, 3. ábra). Ezekre a kérdésekre a cikk 2. részben, amely az Útügyi Lapok őszi számában fog megjelenni, még visszatérünk. A fentiekén kívül a betonburkolatok széleskörűen ismert további előnyei:

- Alaktartó, *nagy hőmérsékleten sem keletkeznek nyomvályúk*, a vizencsúzás előfordulásának veszélye kisebb.
- A hézagképzés a *teherátadó vasalás révén (dűbel) mára már megoldott*, és a régi panaszok a táblák közti lépcsőképződés miatt ezzel teljesen megszűntek.
- Az aszfaltburkolatok élettartama általában 17–20 év, ezen belül 5–10 évenként felújítandók, ehhez képest a *betonutak élettartama* 30–40 év, 3–8 évente csak a hézagkiöntéseket kell javítani, nagy felújításra pedig átlagosan 25 év után van szükség.
- Az egyre növekvő tengelysúlyoknak és ezzel együtt járó *nyíróerőknek a betonburkolatok, a*

nyári felmelegedések esetén is alakváltozás nélkül megfelelnek.

- A betonburkolatokon a gépjárművek üzemanyag-fogyasztása és a károsanyag-kibocsátása kisebb, mint aszfalt burkolatokon (nem „gyúrnak” az aszfaltot és meleg időjárási viszonyok között kevésbé ragadnak) (Sommer, 2018, és Europave, 2009).
- A kezdetben kedvezőbb zajkibocsátású aszfalttal szemben a forgalmi zaj hosszú távon, betonburkolatokon kevésbé nő, mint az aszfalt változatoknál. Kétségtelen, hogy ma már léteznek zajcsökkentő vékonybevonatos aszfaltok, amelyek ennél jobb zajszint értékekkel jellemezhetők (Breyer et al., 2009, 2. ábra).
- Fotokatalitikus úton az NO_x és karbonátosodással a beton a CO₂-gázokat meg tudja kötni (Europave, 2009) bár az is igaz, hogy ez utóbbi esetén ugyanez a CO₂-mennyiség a cementgyártáskor kibocsátásra kerül, ami azonban más mértékű CEM I. tiszta portlandcement és más pl. CEM II. A/B-S utépítési kohósalak portlandcement esetén (Europave, 2009, 4. ábra).
- Gyorsbetonok alkalmazásával a pályazár 24, 12 órára vagy még rövidebb időre csökkenthető. A zürichi repülőtér futópályáit 6 órás éjszakai repülési szünetek alatt újították fel (Schnyder és Hardegger, 2012).
- A friss beton egészség- és munkavédelmi rendszabályai nagyon egyszerűek az akár égési sebeket vagy egyéb egészségkárosodást is okozható forró aszfalthoz képest (The Shell Bitumen Handbook, p.24).
- A betonhoz csak hazai alapanyagokat használunk és így áringadozása csekély a külföldről behozott nyersolajéhoz képest (olajárrobbanás).
- A betonutak anyaga újrahasznosítható (Steigenberger et al., 2011 és e-UT 05.02.31 Útbeton betonhulladék újrahasznosításával – Kausay T). Osztrák kísérletek szerint 10–15% aszfalttartalom (amely régi betonpálya esetleges bevonásából származik) nem rontja a feltört régi betonburkolat újrahasznosíthatóságát). Elkészült az ezzel kapcsolatos Útügyi Műszaki Előírás átdolgozása is.

A betonburkolatokkal szembeni kihívások és hátrányok:

- a betonutak kivitelezése nagyobb technológiai fegyelmet és gyakorlott, jól képzett munkacsoportot igényel,
- költségesebb bedolgozógépek szükségesek a betonutak építéséhez,
- a betonutak javítása hosszabb időt vesz igénybe és aprólékosabb, mint az aszfalt uta-

ké, viszont a felújítások közötti időszak jóval hosszabb,

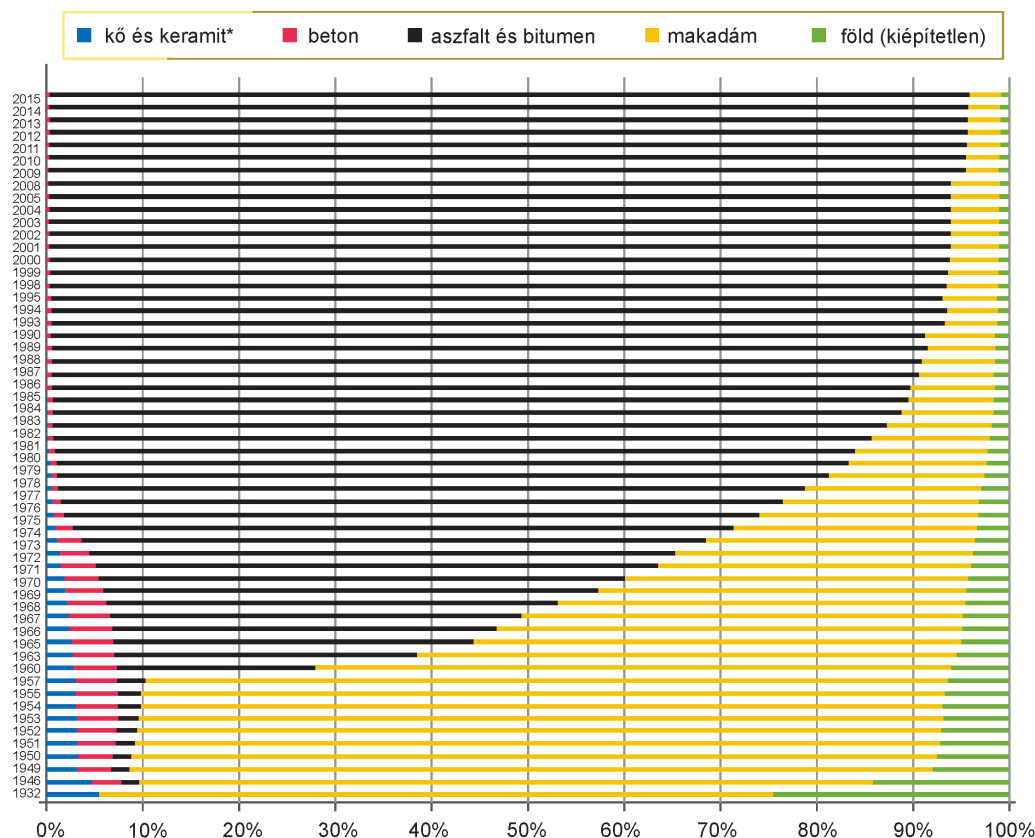
- a hézagokat rendszeresen karban kell tartani, de kb. ugyanolyan gyakran, mint amilyen az aszfaltpálya felújítási igénye,
- negatív imázs a médiában: „Mindig mindent lebetonoznak” (Jobb, ha leaszfaltozzák?),
- a vékonybeton szőnyegezés (White Topping) igényesebb feladat, mint aszfaltréteggel való felújítás, de természetesen tartósabb,
- a beton pályaszerkezet megépítése energiaigényesebb, mint az aszfalt pályáé (Tóth, 2014) de a „környezeti lábnyom” szempontjából általában a betonpálya előnyösebb (Europave, 2009, 1. ábra).

2. Helyzetfelmérés

2.1. Burkolatfajták

Magyarországon az első sikeres betonburkolatot 1911-ben építették Iglón (ma Szlovákia), amely 20 évig üzemben volt. Összehasonlításképp néhány más ország: Skóciában 1865-ben és 1872-ben; Franciaországban 1876-ban, Németországban 1880-ban, Ausztriában 1927-ben (Wallner és Steigenberger, 2008; Hulladéktároló telep kétrétegű betonburkolata) építettek először beton útburkolatot. Magyarországon az első világháború után 1927–1935 között az 1. számú főutat 320 km hosszú betonburkolattal építették át. Ezek a burkolatok 50 év múlva is használatra alkalmasak voltak és az 60 éves fűrt magminták nyomószilárdsága 55 N/mm² volt (Liptay, 2017). Hazánkban az 1950-es évek elején még több, mint 1200 km betonburkolatú út volt (Gábel és Gál, 2017). A 21-es számú salgótarjáni főút II. világháború előtt készült betonburkolata még az 1980-as években is jól járható volt, az aszfaltos felújítás ezután kezdődött.

A KTI adatbázisa szerint a burkolatfajták megoszlása 1932-ben és a továbbiakban 1946-tól 2015-ig az 1. ábrán látható. Feltűnő, hogy a piros jelzésű betonburkolat a '60-as években mintegy 5 százaléknyi, – de 1980-ra, és azután 2015-ig a betonburkolatok gyakorlatilag eltűnnek az összesítésből. A *Betonburkolatok* című könyv (Szerk. Keleti Magyar Betonburkolat Egyesület 2012, 2.10. ábra) szerint az utóbbi 20 évben 0,2–0,5% a betonburkolatok aránya az egész magyar úthálózaton belül. Az országos közúthálózati nyilvántartás szerint 2018. december 31-én a főúthálózathoz (8968 km) az autópálya, autópálya és ezek csomóponti ágai, továbbá az I. és II. rendű főútvonalak hossza összesen 8902 km. Ebből betonpálya 93 km, azaz az összes előbbi úthálózat 1%-a. Versenyhelyzet tehát nincs.



1. ábra. A magyar közúthálózat megoszlása burkolat típusa szerint (1932–2015) (KTI, 2015) <http://www.kti.hu/trendek/a-magyar-kozuthalozat-megoszlasa-burkolat-szerint-1932-2015/> Letöltés dátuma: 2019. 05. 13.

1. táblázat. Gyorsforgalmi utak burkolatfajtái [%]

| Ország | Aszfalt | Beton | Helyezés |
|---------------|---------|-------|----------|
| Belgium* | 30 | 70 | I |
| Ausztria | 40 | 60 | II |
| Németország | 50 | 50 | III |
| USA | 50 | 50 | III |
| Franciaország | 80 | 20 | IV |
| Magyarország | >97 | <3 | ? |

* Nagyrészt folytonosan vasalt betonburkolat (CRC)

Számunkra a gyorsforgalmi utak (autópálya, autót) burkolati fajtáinak számaránya érdekes. A számarányokról a KTI tanulmánya szerint (Karsainé Lukács K és Bors, 2009) néhány mértékadó országban az 1. táblázat adatai tájékoztatnak. Más forrásokban más számadatok találhatóak, az évszámtól is függően (Gável és Gál, 2017, [19]). Később látni fogjuk, hogy a betonburkolatok kb. 35–40%-os és afölötti aránya mind a beton, mind az aszfalt ajánlati árát – a verseny miatt – lényegesen leszorítja. Egy külső szemlélő akár azt is megállapíthatja az 1. táblázat láttán, hogy úgy látszik „Magyarországon nem szeretnek tartós betonutat építeni.” (Bakos, 2010).

A 2018. december 31.-i adatok szerint a magyarországi főúthálózaton felület alapján összesen 2,15% betonburkolatú, a többi aszfaltos (KSH, 2018). A 2000-es évek hazai betonpálya építési kísérleteiről lásd például Karsainé Lukács K. – Bors T. BETON 2007 12. sz. p8.

A hazai betonút építés megtorpanását az utolsó évtizedekben vélhetően az M7-es betonpályának az elvártnál gyengébb viselkedése okozta. A pálya tábláit a keresztvégtagokban nem kötötték össze teherátadó vasalással (dűbel), noha – tudomásunk szerint – ez az eredeti terveken szerepelt, de később „népgazdasági takarékosági okokból” ezt a tervből törölték azzal a magyarázattal, hogy a vakhézagok alatt az átrepedt betonban az adalékszemek összefogozódása (aggregate interlock) a táblák függőleges irányú eltolódását meg fogja akadályozni. Ezen kívül a betonburkolat alatt közvetlenül egy vékony bitumenes homokrteg volt, amely a fugakiöntő anyag előregedése és a pályatáblák elmozdulása után a beszívargó csapadék hatására kimosódott és ez a táblák további elmozdulását tette lehetővé. A kivitelező kimondottan – hiába – kérte a teherátadó vasalás alkalmazását (Betonburkolatok szerk. Keleti I. 2012)

Az olvasztósózás okozta lehámlást légbuborékképző adalékszer alkalmazásával lehet a betonban megakadályozni. Az M7-esen vagy kevés, vagy

semmi légbuborékképzőt sem használtak, mert mindenáron a nyomószilárdságot akarták biztonságosan elérni, *holott már akkor is köztudomású volt szakmai berkekben, hogy a lég(buborék) tartalom ugyan csökkenti a nyomószilárdságot, de biztosítja a fagyállóságot.* Sajnálatos, hogy nem hivatkoztak az akkor egyébként mértékadónak tartott GOSZT szovjet szabványra, amely buborékképzős betonra 10%-os nyomószilárdságcsökkenést engedélyezett (a mostani EN 206, illetve az MSZ 4798 is eggyel kisebb szilárdsági osztályt enged meg légbuborékos betonra, azonos fagyállósági környezeti osztály pl. XF4 esetén).

2.2. Hőmérsékleti viszonyok

Az utóbbi évtizedek hőmérsékleti adatai szerint egyértelmű felmelegedés tapasztalható, ami a hőre érzékeny aszfalt pályák használhatóságát és állapotát – különösen a nyári, egymást követő hőségnapokon – rontja. Az utóbbi évtizedekben az előzőket lényegesen meghaladó éves hőmérsékleti többletek láthatók a 2. ábrán; ennél érdekesebb volna a július-augusztusi, egymást követő hőségnapok tényleges hőmérséklete és azok gyakorisága, mert ezek tapasztalat szerint növekednek, és ez az, ami az aszfalt igénybevehetőségét erősen rontja. Megemlítjük, hogy egy újsághír szerint Skóciában a 30 °C feletti hőségben az aszfaltutak annyira megpuhultak, hogy egy sajtót bejárt kép szerint a burkolaton átsétálónak a cipője beragadt az aszfaltba (Magyar Idők 2018. júl. 14. szombat, Jancsó Orsolya: „Hőhatás”; lásd még Gáspár L, 2010a és 2010b). Az aszfalt tehát kb. 10 °C-kal lesz melegebb a nap sugárzás hatására, mint a beton. A hőmérséklet az aszfaltra azonban igen jelentős hatású, például egy átlagos aszfaltkeverék -10 és +30 °C hőmérsékleti tartományban végzett merevségvizsgálata alapján

2. táblázat. Eltérő anyagú pályafelületek felmelegedése

(Peyerl et al., 2016)

(https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarorszag/ Letöltés dátuma: 2019. 05. 13.)

| A kísérleti mező anyaga | Albedó | Felületi hőmérséklet (°C) |
|-------------------------|--------|---------------------------|
| öntött aszfalt | 0,12 | 50±1 |
| aszfaltburkolat | 0,13 | 52±1 |
| beton pályalemez | 0,48 | 48±1 |
| * fehérbeton (WT) | 0,57 | 41±1 |
| ** világosbeton (WT) | 0,47 | 44±1 |
| közönséges beton (WT) | 0,48 | 43±1 |

WT = White Topping, betonszönyegezés (fehérszönyegezés), vékonybeton

* fehér cementtel

** pigmenttel fehérített közönséges cementtel

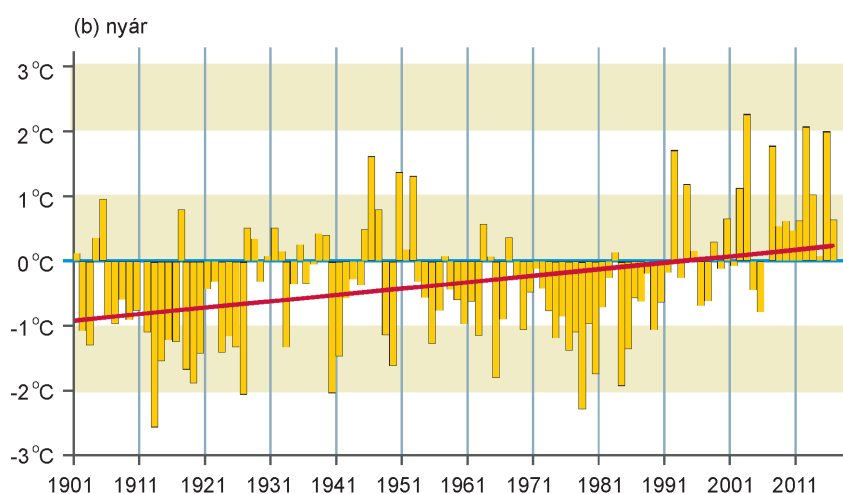
látszik, hogy a dinamikus modulusok jelentős mértékben, kb. 28 000 MPa és 2000 MPa értékek között változnak (Tóth, 2009), sőt növelve a vizsgálati hőmérsékletet az aszfalt merevsége akár 1000 MPa alá is csökkenhet.

Általános tapasztalatként megállapíthatjuk tehát az aszfalt mechanikai tulajdonságai a hőmérséklet emelkedésével romlanak, a betoné viszont nem.

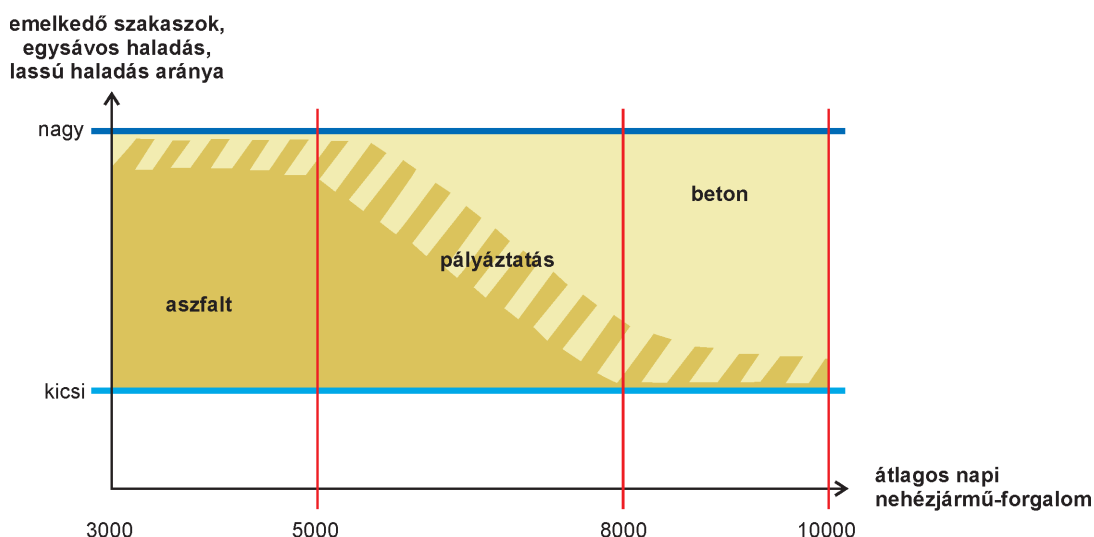
3. A pályaburkolat választás műszaki és gazdasági indokai

3.1. Műszaki okok

2004 óta a szakmában ismert a Breyer-féle diagram (vagy ismertnek kellene lennie), amely a burkolatfajta kiválasztását egyszerűsíti, lásd 3. ábra (Breyer és Steigenberger, 2006 és Breyer et al, 2009), illetve Breyer G. Entscheidungskriterien für den Bau



2. ábra. Az évszakos középhőmérsékletek országos átlagainak anomáliái (°C) 1901–2016 között. Az értékeket az 1981–2010 időszakhoz viszonyították. (Homogenizált, interpolált országos átlagok alapján)



3. ábra. Döntési séma a burkolat kiválasztásához (Breyer et al, 2009)

von Betonfahrbahndecken in Österreich. Internationale Konferenz „Betonfahrbahnen 2004”, Slavkov, Csehország)

A betonra eső választást – részben egymástól függetlenül is – kikényszerítő műszaki tényezők:

- a napi nehézármű áthaladási szám (pl. >8000),
- a pályaviszonyok: sok emelkedő, a lassú haladás aránya, sok íves szakasz, egysávon haladás, hosszú várakozások, határátkelők, most már beleértve a schengeni határokon is – ellenőrzés végett – megállított forgalmat.
- Ide írhatnánk harmadikként a területenként változóan nagy nyári hőségnapok számát is.

Mindezek a fékezés-gyorsítás (hosszirányú nyíróerők), az íves szakaszok (sugárirányú nyíróerők), üres járatban álló nehézgépjárművek (közben olajcsöpögés?) révén mintegy „gyúrnák” az aszfaltot és minél melegebb az aszfalt, annál inkább: mindezek hullámosodást, nyomvályúkat stb. okoznak. Mérsékelt számú nehéz gépjármű forgalom és/vagy kedvezőbb pályaviszonyok esetén az aszfalt és a beton közt versenynek kell döntenie. Németországban van egy olyan rendelkezés („Allgemeine Rundschreiben”), hogy a pályázati kiírásban be-

tonnak is szerepelnie kell, illetve vannak olyan esetek, amikor csak betonnal lehet pályázni.

Belátható, hogy vannak olyan esetek, amikor csak a *műszaki szükségesség és igény* dönt és ilyen esetekben csak betonpálya kerülhet szóba (pl. repülőterek, hernyótalpas katonai vagy egyéb járművek közlekedési útjai stb.). Ilyenkor a *verseny a beton-útépítő cégek között*, iparágon belül valósul meg. (Összehasonlításképpen: ha valahol rozsdamentes acélra van szükség, akkor hiába olcsóbb egy időjárásálló vagy horganyzott acél, mindenképpen csak Cr-Ni ötvöztetésű acéllal lehet pályázni.)

A Lenti-Letenye közti 7538. sz. út 4×500 m-es kísérleti szakasz megépítésének és az élettartamra vonatkozó költségek elemzésének eredményét a 3. táblázat tartalmazza.

A „tényleges” organizációs feltétel az ottani valóságos viszonyokat szállítási távolságokat stb. veszi figyelembe, – az „azonos” organizációs feltétel pedig mindkét burkolati anyagra egy elképzelt egyformára szabott gyártási és építési körülményeket jelent. Az *azonos körülmények közt, tehát a szokásos hézagában vasalt betonpálya – kissé alábecsült – 30 éves élettartamra 9%-kal olcsóbb volt, mint a vizsgált aszfalt pályaszerkezet.*

3. táblázat. A Lenti-Letenye közti 7538. sz. út kísérleti szakaszainak költségelemzése 30 évre (Karsainé Lukács K és Bors T, 2007; Karsainé Lukács K, et al., 2000)

| Kísérleti burkolat jellemzői | Egységár a tényleges organizációs feltételek mellett (Ft/m ²) | % | Egységár az azonos feltételek mellett (Ft/m ²) | % |
|---|---|-----|--|-----|
| 22 cm-es vastagságú, hagyományos betonburkolat, teherátadó hézagokkal | 9016 | 104 | 7920 | 91 |
| 22 cm-es vastagságú, hézagokban vasalt, kimosással érdesítéett felületű betonburkolat | 9379 | 108 | 8231 | 95 |
| 17 cm-es vastagságú, folytatólagosan vasalt, keresztézag nélküli betonburkolat | 9445 | 109 | 8413 | 97 |
| 21 cm-es vastagságú szfalt pályaszerkezet (4 cm mZMA-12; 8 cm mK/F; 9 cm JU-35/F) | 8660 | 100 | 8660 | 100 |

3.2. Az árcsökkenő verseny

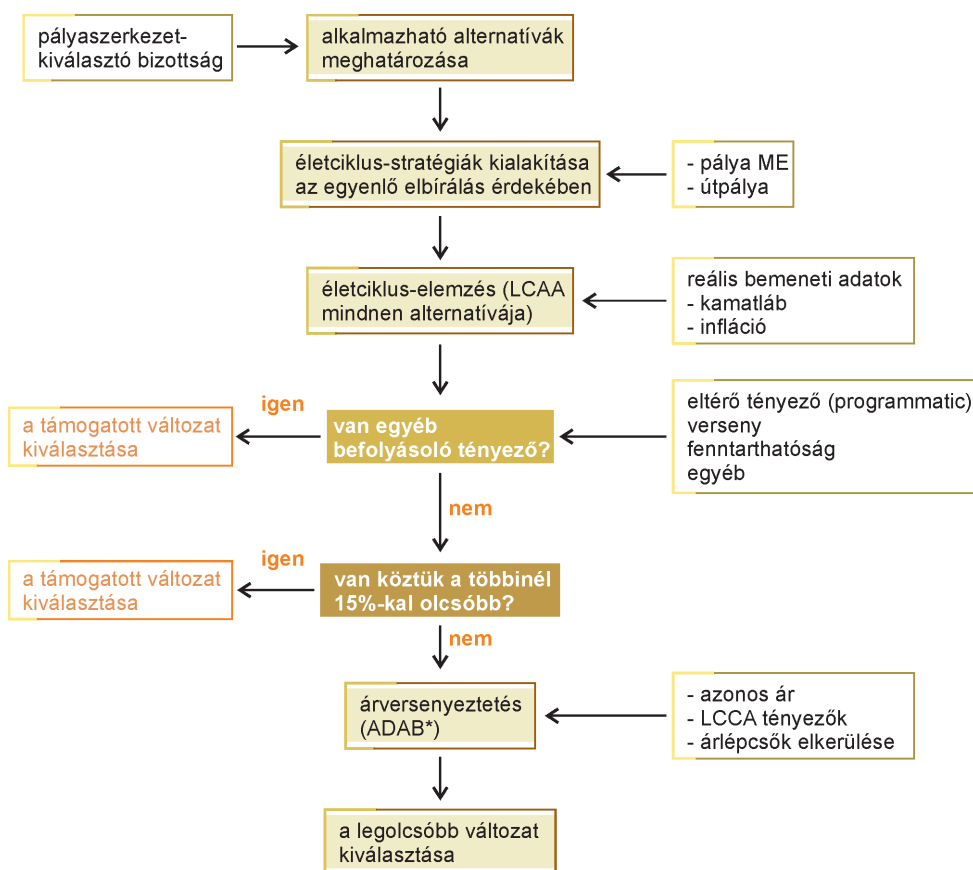
Az ACPA (American Concrete Pavement Association, Washington DC.) 2013-ban kiadott egy tájékoztatót: „A burkolattípus kiválasztása: mi a kedvezőbb eljárás?“, azaz: „Pavement Type Selection: What is the Ideal Process?“ címmel. (Wathne L, <http://www.acpa.org/>) Ez a tanulmány összefoglalja az AASHTO és AASHTO ajánlásait, és az azóta kidolgozott előírások és szoftverek említésével megadja a javasolt élettartam-költségelemzésének és a döntés elősegítésének módját, s ehhez folyamatábrát is ad (4. ábra).

A folyamatábrát nem részletezzük, mert ez kimondottan a pályázatok, a burkolattípust kiválasztók és az LCCA-val (Life Cycle Cost Analysis, élettartam-költségelemzés) foglalkozó szakemberek számára lehet tanulságos (hazánkban pl. Gáspár L, Orosz Cs, Tánzos Lászlóné, Tímár A). A folyamatábra első „elágazási pontjához” a tanulmány hangsúlyozza, hogy a sikeres és költséghatékony döntés legfontosabb feltétele az iparágak közötti verseny,

– tehát lennie kell külön aszfalt és külön beton útépítési iparágaknak és ezeken belül még versenyző vállalatoknak is. Idézzük a tanulmány összefoglalójának utolsó bekezdését:

„Végezetül a burkolattípus kiválasztásának csak akkor van jelentősége, ha ez piaci verseny környezetében történik. A döntő tényezők közül semelyik másnak sincs olyan egyértelmű hatása, mint a versenynek az utügyi hatóságok azon képességére, hogy az infrastruktúra kihívásainak a szűkre szabott források esetében is meg tudjanak felelni. A gyorsforgalmi utak építésével foglalkozó hatóságok számára a verseny a legjobb lehetőség a mai gazdasági környezetben.”

A verseny nélkülözhetetlenségét igazolja az USA 45 államából gyűjtött ajánlati árak elemzése is. 5 éves időszakot véve alapul azok az államok (illetve az Állami Utügyi Minisztériumok, DOT, Department of Transport) járnak jól, ahol a beton-



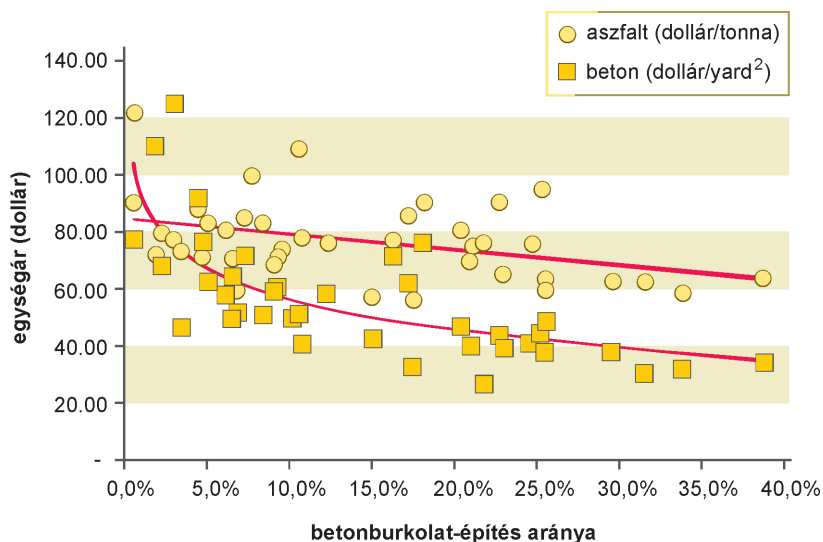
4. ábra. A burkolattípus kiválasztásának folyamatábrája

* (ADAB = Alternate Design Alternate Bid)

(Overview of the pavement type selection process)

(National Cooperative Highway Research Program NCHRP, Project 10–75, TRB 2011)

(További hozzáférési lehetőség az NCHRP 2011 TRB „Guide for Pavement Type Selection” irányelv és kiegészítései, FHWA (Federal Highway Administration) 2012 dec. 20. Washington DC. „Technical Advisory on Use of Alternate Bidding for Pavement Selection, T5040.38)



5. ábra. Burkolati egységárak \$-ban a betonburkolat építés növekvő aránya esetén (1 yard² = 0,84 m²)

illetve aszfalt iparágak részesedése kiegyenlített, és azok rosszul, amelyekben csak az aszfalt iparág-nak van megrendelése. (A tanulmány úgy mondja,

iparág között.

A 4a és b táblázatból kivehető, hogy ugyanakkora 200 millió \$-os állami útépítési költségvetésből

hogy a költségvetés szinte felrobban, „bang of the buck”, „dollárrobbanás” áll be a versenyhelyzetben.) Ezt szemlélteti az 5. ábra és a 4a és b táblázat, a hivatkozott a Wathne L. féle tanulmányból.

Ha a beton részesedése az Útügyi Minisztériumok 5 éves ciklusa alatt csak néhány %-nyi, akkor a 2013-as súlyozott ajánlati egységárak szerint a betonpálya yard² szerinti költsége 80–120 \$, de az uralkodó aszfalt is drága: 80–120 \$/tonna. Ha van iparágak közötti verseny és a beton részesedése eléri az állami útépítési költségvetés 40%-át (vö. a 1. táblázat), akkor a betonburkolat ára 40\$/yard² alá megy, tehát az előbbinek ~1/3-a, és ugyanakkor az aszfalt árak is csökkennek – az előzőnek ~2/3-ára –, mert verseny van a két

4a táblázat. „Break-even” elemzés a burkolatépítésre szánt évi 200 millió \$-os költségvetésből (Wathne, 2013)

| Keret, millió \$ | Beton aránya ráfordításból (%) | Aszfaltra fordított összeg (millió \$) | Aszfalt egységára (\$) | Aszfalt mennyisége (tonna) | Betonra fordított összeg (millió \$) | Beton egységára (\$) | Betonfelület (yard ²) |
|------------------|--------------------------------|--|------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 200 | 0 | 200 | 83,88 | 2 384 232 | - | - | - |
| 200 | 5 | 190 | 81,24 | 2 338 829 | 10 | 66,94 | 149 380 |
| 200 | 10 | 180 | 78,59 | 2 290 382 | 20 | 56,13 | 356 314 |
| 200 | 15 | 170 | 75,94 | 2 238 558 | 30 | 49,81 | 602 348 |
| 200 | 20 | 160 | 73,29 | 2 182 989 | 40 | 45,32 | 882 666 |
| 200 | 25 | 150 | 70,65 | 2 123 255 | 50 | 41,84 | 1 195 137 |
| 200 | 30 | 140 | 68,00 | 2 058 869 | 60 | 38,99 | 1 538 778 |
| 200 | 35 | 130 | 65,35 | 1 989 266 | 70 | 36,59 | 1 913 236 |

4b táblázat. A 4/a táblázat átszerkesztett változata (Pálya szélessége: 2·3,75 m forgalmi sáv + 3,00 m üzemi sáv = 10,5 m; aszfaltvastagság: 0,2 m; aszfalt sűrűsége 2400 kg/m³)

| Aszfalt mennyisége (tonna) | Aszfaltfelület (m ²) | Aszfalt felület (yard ²) | Aszfaltburkolatú út hossza (km) | Betonfelület (m ²) | Betonfelület (yard ²) | Betonburkolatú út hossza (km) | Összes burkolt felület (yard ²) | Összes burkolt felület hossza (km) |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---|------------------------------------|
| 2 384 232 | 4 967 150 | 4 153 170 | 473 | - | 0 | 0 | 4 153 170 | 473 |
| 2 338 829 | 4 872 560 | 4 074 081 | 464 | 124 901 | 149 380 | 12 | 4 223 461 | 476 |
| 2 290 382 | 4 771 629 | 3 989 690 | 454 | 297 924 | 356 314 | 28 | 4 346 004 | 483 |
| 2 238 558 | 4 663 663 | 3 899 416 | 444 | 503 640 | 602 348 | 48 | 4 501 764 | 492 |
| 2 182 989 | 4 547 894 | 3 802 619 | 433 | 738 021 | 882 666 | 70 | 4 685 285 | 503 |
| 2 123 255 | 4 423 448 | 3 698 566 | 421 | 999 287 | 1 195 137 | 95 | 4 893 703 | 516 |
| 2 058 869 | 4 289 310 | 3 586 410 | 409 | 1 286 614 | 1 538 778 | 123 | 5 125 188 | 531 |
| 1 989 266 | 4 144 304 | 3 465 166 | 395 | 1 599 709 | 1 913 236 | 152 | 5 378 402 | 547 |

hány tonna aszfalt, illetve hány yard² betonburkolat készíthető, ha a beton részesezése a költségvetésben 0–35%-ig növekszik. Ha pl. a beton részesezése a költségvetésből szerényen csupán 15% (a sokkal kedvezőbb 35–40% helyett), akkor a verseny nélküli 2 384 232 tonna aszfalt helyett kissé kevesebbet: 2 238 558 tonnát építenek be, – de a csökkenő 49,81 \$/yard² egységárú betonból 602 348 yard², azaz kb. 506 ezer m² betonburkolat is megépíthető, ami majdnem „ingyen” van. Ez 10,5 m széles betonpályával (2·3,75 m forgalmi sáv + 3,00 m üzemi sáv) számítva 48 km. Azért csak „majdnem ingyen”, mert 2384 ezer tonna aszfalt (és a belőle készülő út) helyett csak 2238 ezer, azaz 6%-kal kevesebb építhető be aszfalt burkolatként, az említett hosszú élettartamú 48 km-es „ingyen” betonpályán kívül.

Az amerikai példa szerint a verseny (45 állam adatai alapján 40%-os költségvetési betonpálya részesezés esetén (a nulla helyett) az aszfalt egységárát 100%-ról 77%-ra, a betonét pedig 66%-ra, azaz mindkét egységárt csökkentti. Az egységár bizonytalanságok, vagyis a helyettesítő görbe körüli szóródások kb. 20%-nyi betonrészesezéstől kezdve szinte eltűnnek (5. ábra).

Ha tehát az államban a két iparág között erős verseny van és a burkolatépítési stratégia és program is biztos és előrelátható, akkor ez mindkét anyagra alacsonyabb egységárakat eredményez. **Ha a jól ismert döntési tényezők közül** (forgalom, anyagok hozzáférhetősége, időjárás, a burkolat hosszú idejű viselkedése, becsült költségek stb.) **kifelejtik az egészséges versenyt, akkor a burkolat kiválasztási eljárás értelmetlenné válik. Ezt az ACPA tanulmányt a döntéshozóknak különösen is figyelmébe ajánljuk.**

4. Ajánlott betonút építési módok

A továbbiakban – nagyrészt külföldi adatok alapján – a Magyarországon is követendő és követhető alkalmazási módokat tekintjük át, amelyek *műszakilag hasznosak és gazdaságosak lehetnek és lesznek, ha verseny is van.*

4.1. Gyorsbeton

4.1.1 M7-es autópálya táblacsere (Erdélyi et al, 2002)

A gyorsbeton, azaz a 4–6–12–24 órás korban terhelhető, a hídépítésben feszíthető, út- és repülőtéri burkolatok esetén a forgalomnak már átadható beton készítése semmilyen külön technológiát és tudnivalót nem igényel. A cementet, adalékszereket és adalékanyagot (ezek fajtáját és mennyiségét) és a v/c tényezőt kell úgy megválasztani, továbbá az

utókezelést (a hidratációs hő benntartását és a párolgás megakadályozását) kell úgy megoldani, hogy a kívánt szilárdulási sebességet elérjük. Külön építésszervezési kíváncságot, hogy a bedolgozó, szállító, áramfejlesztő stb. gépekből tartalék is legyen, mert itt a várakozás nincs megengedve. Mindehhez *előzetes laboratóriumi munkák, szervezési terv és betontechnológiai utasítás* (BTU) kell.

Az ÁKMI (Beruházó), a Betonútépítő Vállalat (Kivitelező, Liptay András), a Betonolith K+F Kft. (Technológia és labor: Erdélyi Attila, Szegő József, Máhr Géza) együttese kidolgozta az akkor 1997-ben az M7-es betonúton sérülés miatt cserélendőnek ítélt tábláinak gyorsbetonnal való pótlását, – a tervezett 24+4–5 órás egy sávon közlekedő forgalomkorlátozással. A meglévő betonpályából magminták fúrása, a betonpálya feltörése, elszállítása, a tükör kiképzése és a teherbírás ellenőrzése kb. 4–5 órát vett igénybe. Az utolsóként bebetonozott szakasz volt 24 órás a forgalomba helyezéskor. A „rég M7” betonból vett magminták szilárdsága 45–70–64–60 N/mm², tehát bőven megfelelt.

Idézzük a *BETON* c. szaklap 1998. novemberi számában (16. oldal) megjelent rövid híradást – kis kiegészítéssel– Kiskovács Etelka szerkesztő tollából. Ez ott és akkor „*Útjavítás betonnal az M7 autópályán*” címmel jelent meg.

„1998. szeptember 30-án az M7 autópálya 83+200 km. szelvényénél a balatonvilágosi benzinkutat követően útjavítás folyt. Ez azért nevezetes esemény, mert a javításhoz gyorsan szilárduló betont használtak. A javítandó rész három táblából áll, 2 méter széles és 3×5 m hosszú. A cserére azért volt szükség, mert túlsúlyos járművek a külső perem mellett végigrepesztették a táblákat. A keresztthézagokat az elmozdulások megakadályozására a szokásos teherátadó vasalással (tüske, dübel) képezték ki. Az egyik táblánál műanyag szálát, a másikon acél szálát is keverték a bazalt adalékos betonba. Utóvizsgálatok során kiderülhet, hogy a PP száladagolás mennyire javítja a beton szilárdságát és tartósságát.

Előzetes laborkísérletek alapján dolgozták ki a betonreceptúrát, ennek lényege: a szokásosnál több, 420 kg/m³ nagyon gyorsan szilárduló, de normálisan kötő cement, folyósítószer és légpórusképző. Ezzel el lehet érni egy nap alatt kb. 35–40 N/mm² nyomószilárdságot és 4–5 N/mm² hajlítószilárdságot, ami fölött van az osztrák előírások szerinti 28 napos korra előírt 5 N/mm² érték 3/4-ének (3,75 N/mm²) és biztonságosan eléri a kb. 20 N/mm² nyomószilárdságot.

A kivitelezés reggel hatkor útelzárással az útpálya bontásával és a tükör elkészítésével kezdődött. A betont mixerkocsikkal szállították a

helyszínre. Merülővibrátorral tömörítették, vibrogerendával és gumilemez simítólappal simították. Kemény műanyag seprűvel bordázták keresztirányban (kép), majd kis idő múlva ráfújták az oldószeres párazáró szert és hőszigetelő paplannal letakarták. A beton beváltotta a hozzá fűzött reményeket, a forgalmat + 24 óra elteltével rá lehetett engedni (a beton ekkor kb. 22 órás volt). *Bebizonyosodott, hogy a gyorsbetonból való útépitéshez van technológia, megfelelő alapanyag és tervezési tudás.*

Ugyancsak a BETON havilap egy ezt követő számában „A kamionok is rámehetnek 24 óra után az új betonra az M7-esen” (A betonosok első sikere a 83-as km-kőnél) c. cikk jelent meg. A gyorsbeton iránti érdeklődést mutatja, hogy „Fagyálló gyorsbeton” címen részletes beszámoló is található (Erdélyi A, 2002).

A tervezett táblacserénél 3 db 6 méter hosszú mellett kellett kicserélni gyorsbetonnal – de a belső sáv forgalma érdekében a külső szélétől számítva csak 2 méter széles sávokat bontottunk fel. A 6 méter hosszú lemezeket közepükön még egy-egy kereszt-hézaggal is megosztottuk, hogy kedvezőbb 2 x 3 méteres táblákat kapjunk. – Adódott a lehetőség,



6. ábra. M7 gyorsbeton metszete (Fotó: Szentpéteri, 2019)



7. ábra. M7 gyorsbeton tört felülete (Fotó: Szentpéteri, 2019)

hogy háromféle betont alkalmazzunk. Az egyik a szokásos légbuborékos útbeton volt (etalon), a másik PP szál (Forta Fibre High Grade 190) beton, légbuborék képző nélkül. Ennek oka, hogy a szakma és a kereskedelem úgy látta, hogy a vékony szálak mentén bentmaradó levegőrétteg pótolja a buborékos betonban a légbuborékoknak köszönhetően a kapillárisokat megszakító hatást és a szálak mentén bentmaradó víz pótlólagos utókezelést is jelent. A harmadik Harex SF 32–01, 35 kg/m³ forgácsolt acélszál beton volt, amelybe légbuborék-képzőt is adalékoltunk. Ebből a betonból kifűrt próbatestekből készített vizsgálati hasáb fényképein (6. és 7. ábra) láthatók a légbuborékok (célszerűen 300–600 µm alattiak), valamint a szabadlevegőn megrozsdásodott acélforgácsok. A tört keresztmetszetben a bazaltszemcse láthatóan jól tapadt és a karbonátosodás is (szürke színű kéreg) csak kb. 10–12 mm mélységű: tehát a vasvédelem is jó.

Az 1998-as akkori „gyorscement” választék idevágó adatai az 5. táblázatban találhatóak. A mostani 2019-es cementválasztékát az 6. táblázatban adtuk meg, DDC adatok alapján. A két táblázat (1998. és 2019. évre vonatkozó) adatai azonosak. Emlékeztünk szerint 1998-ban a Váci Gyár még nem gyártott CEM I 52,5 N típusú cementet, csak CEM I 42,5 R típusút.

Az előkísérletekhez az adalékszer, a PP- és acélszál osztrák szállítóival egyeztetve kétféle cementtel: váci CEM I 42,5 R és beremendi CEM I 52,5 N; v/c = 0,35 víz/cement tényezőjű és kétféle gyártótól származó folyósító és buborékképző adalékszer családdal D = 22 mm-es bazaltadalékos 420 kg/m³ cementadagolású betont készítettünk. E kísérletekben 70 x 70 x 250 mm-es hasábok l = 200 mm támaszközű központos hajlításából számítottuk a hajlítószilárdságot és a félhasábokon mértük a nyomó- (test)szilárdságot 70 x 70 mm² felületen. Ezek eredménye a 8. ábrán és a 7. táblázatban látható.

5. táblázat. Cementválaszték 1998

Nagy kezdőszilárdságú hazai cementek tulajdonságai (CEM I. 52,5 - CEM I. 42,5 R)

Fajlagos felület (cm²/g 3700–3800)

C₃S (tri-kalcium-szilikát) >50%

1 napos nyomószilárdság ≥18 N/mm²

2 napos nyomószilárdság ≥30 N/mm²

28 napos nyomószilárdság ~ 60 N/mm²

2 napos hajlítószilárdság ~ 5,2–5,3 N/mm²

28 napos hajlítószilárdság ~ 8,5–8,6 N/mm²

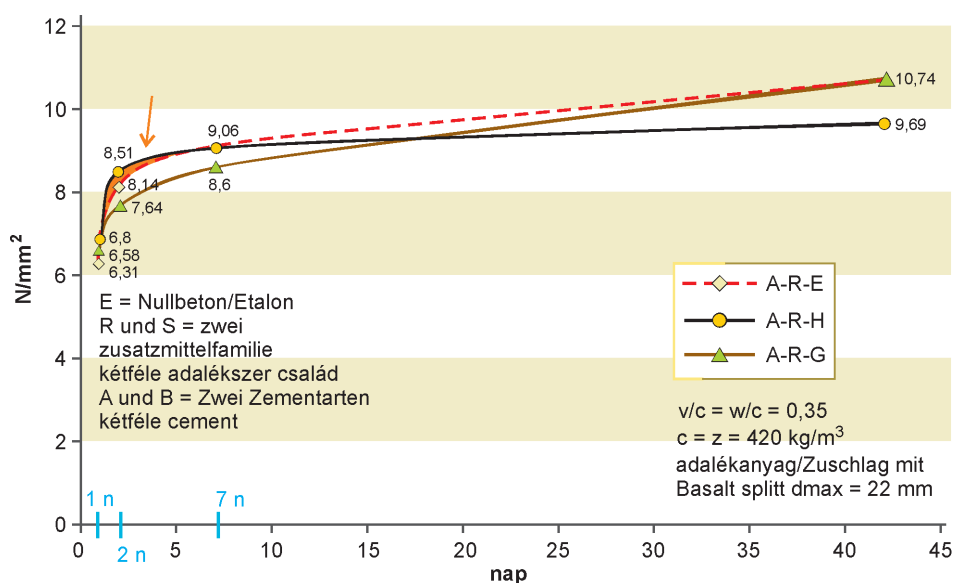
Kötés kezdete és vége (nem gyorskötő)

kezdete ~ 2 óra (120 perc)

vége ~ 3 óra (180 perc) vagy több

6. táblázat. Cementválaszték 2019 (DDC)

| | | CEM I 52,5 N | CEM I 42,5 N | CEM II/A-S 42,5 N | |
|----------|-------------------------------|--------------|--------------|-------------------|----------|
| Vác | Blaine (cm ² /g) | 4016 | 3510 | 3554 | |
| | Hajlító-nyomószilárdság (MPa) | 1 nap | 4,9–21,1 | 2,8–11,1 | 2,3–8,8 |
| | | 2 nap | 6,0–30,7 | 5,2–24,6 | 4,6–20,7 |
| 28 nap | | 8,4–65,0 | 8,6–58,6 | 8,6–56,3 | |
| Beremend | Blaine (cm ² /g) | 4166 | 3542 | - | |
| | Hajlító-nyomószilárdság (MPa) | 1 nap | 3,6–18,2 | 2,2–10,8 | - |
| | | 2 nap | 5,7–30,4 | 4,7–23,8 | - |
| 28 nap | | 8,4–63,9 | 8,7–58,2 | - | |



8. ábra. Hajlítószilárdsági diagramok

7. táblázat. M7 táblacsere előkísérlet II. (1997. júniustól). 7 × 7 × 25 cm-es félhasábokon nyomó(test)szilárdság N/mm² (légtartalom egyformán kb. 5 térf. %). *: 42 nap után laborlevegőn tárolva, légszárazon törve, Betonolith K+F Kft.

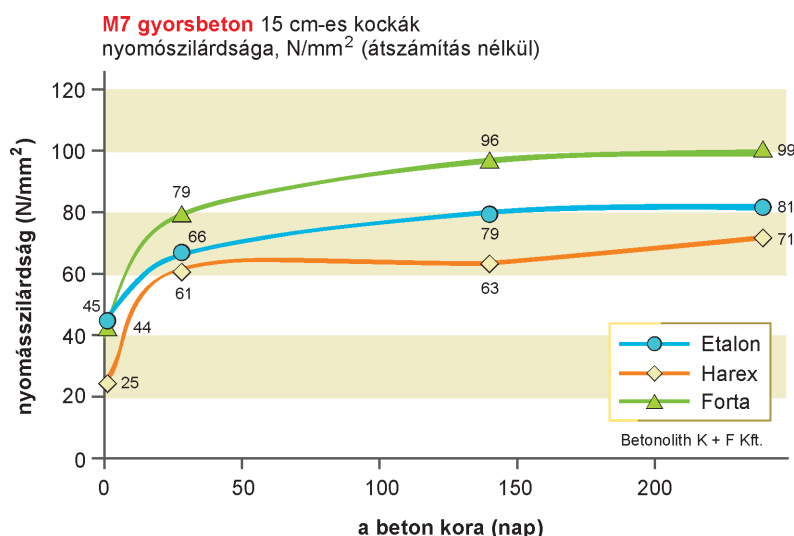
| Betonfajta | 1 | 2 | 7 | 42 | 900 |
|------------|--------------|------|------|------|-------|
| | napos korban | | | | |
| Etalon | 43,7 | 60,8 | 67,8 | 86,0 | - |
| Harex | 46,7 | 61,7 | 74,9 | 86,2 | 96,4* |
| Forta | 42,2 | 53,9 | 62,8 | 85,8 | 95,4* |

Az előkísérleti 24 órás hajlító és nyomószilárdságok bőven felülmúlták a forgalomba helyezéshez szükséges értékeket.

Az 1998. szeptember 30./október 1-i táblacsere tényleges szilárdsági eredményei az útbetonokra előírt próbatesteken a 9. ábrán, és 8. táblázatban található. A 9. ábrán a Forta jelű „legjobb” műszálas beton nem volt buborékképzős, így légtartalma sokkal kisebb és szilárdsága természetesen na-

gyobb, mint a másik kettő (a tényleges légtartalmak a 8. táblázat utolsó oszlopában találhatóak). Azonos (itt 0%) légtartalomra átszámítva a nyomószilárdságokat 250 napos korra 150 mm-es kockán 96÷107 N/mm² gyakorlatilag azonos eredményt kapunk (# jelű adatok). A Harex acélszálas beton 24 órás értéke (8. táblázat és 9. ábra) nemcsak a nagyobb légtartalom miatt volt kisebb 24 órás korban, hanem azért is, mert Székesfehérvárról a betonüzemből ezt szállították utoljára és a délutáni melegben a betonüzem „kissé nehezen keverhetőnek” találta (részben az acélszálak miatt), és ezért kötéskésleletet adagolt, hogy a munkahelyen „jól bedolgozhatósák”.

A 28 napos 150 mm-es kockák legkisebb szilárdsága (Harex) 61 N/mm², ami s=5 N/mm² szórás felvéve C40/50 szilárdsági osztályt jelent – jóval felülmúlva a szokásos autópályabetonokra előírt CP-4/2,7 osztály (kb. C30/37) követelményeit –, ami természetes is a táblacserenél ténylegesen alkalmazott v/c=0,36 és CEM I 42,5 R esetén. Egyébként ezt a gyorsbetont 24 órás koránál előbb is for-



9. ábra. M7 gyorsbeton 15 cm-es kockák nyomószilárdsága, N/mm² (átszámítás nélkül)

galomba lehetett volna helyezni, a 24 órás szilárdsági adatokból visszakövetkeztetve.

Adalékanyag: az M7 táblacseréhez OH 0/4 mm homokot és 12/22 mm bazaltzúzalékot alkalmaztunk, – azaz kihagytuk a kedvezőtlenebb szemelakú 5/12 mm-es bazaltzúzalékot (lépcsős szemmegoszlás).

Tartósság. A 8. táblázat 180 napos oszlopában (*) alatt feltüntettük a 150-szer fagyasztott 150 mm-es kockák nyomószilárdsági eredményeit: *eszerint fagylagyulás gyakorlatilag nincs.* Ehhez hozzátesszük, hogy – főleg a hídépítésben kedvelt – „kockafagyasztáshoz” a vizsgálati szabvány 100 mm-es (érzékenyebb) kockát ír elő és ez a módszer az útbetonokra ma már nem mértékadó, mert azóta a peremes lehámlasztás („slab test”) a referencia-módszer. Az itteni fagyállósági vizsgálatból tehát nem lehet különbséget tenni a háromféle beton viselkedése közt.

Az M7 autópálya táblacseré tapasztalatainak összefoglalása. Minden további gyorsbeton alkalmazásakor *nincs szükség ilyen részletes előkísérletekre*, mint amelyet az első alkalmazáskor

végeztünk. **Alapszabály:** (a mostani cementválasztékból, lásd 6. táblázat) itt pl. váci CEM I 52,5 N, v/c~0,35 és bármilyen ismert jónevű cégtől való folyósító és legbuborékképző adalékszer (mindkettő ugyanattól a szállítótól), kb. 420 kg/m³ cementadagolás és bazaltzúzalékos adalékanyag keverék (szemmegoszlás az ÚT előírások szerint). Az előkísérlet lényege: **próbakeverés, a konzisztencia és eltarthatóságának ellenőrzése, a frissbeton légtartalom beállítása (D=22 mm-hez kb. 5 V%) és annak ellenőrzése, hogy a legbuborékképzőszer szállítójának engedélyezési bizonyítványában szerepel-e, hogy az adott légtartalomhoz $t_i \leq 0,22$ mm távolsági tényezőt igazoltak.** Próbatestekkel igazolni kell, a kívánság szerinti 6–12–24 stb. órás nyomó- és hajlítószilárdságot, – utóbbit 150×150×600 mm-es gerendán mérve az MSZ EN 13877–1 szerint. (Lásd még a többi előírást, Liptay, 2017 CEMBETON Útmutató 4.6.1. fejezetében.)

A szilárdulást ellenőrző próbatesteket a helyszínen érkező gyorsbetonból kell elkészíteni hőszigetelő béléses fasablonban és ugyanúgy kell párazáróval lefűjni és hőszigetelő paplannal takarni, mint a pályabetont.

8. táblázat. Kockaszilárdságok 1-250 napig

| Betonfajta | 24 óras korban | 28 | | 180 | | 250 | | légtartalom □ |
|------------|----------------|----|------|------|-------|-----|------|---------------|
| Etalon | 45 | 66 | {55} | & 79 | {'72} | 81 | #104 | 5,60 |
| Harex | 25 | 61 | {46} | & 63 | {'60} | 71 | #96 | 6,45 |
| Forta | 44 | 79 | {70} | & 96 | {'89} | 99 | #107 | 1,76 |

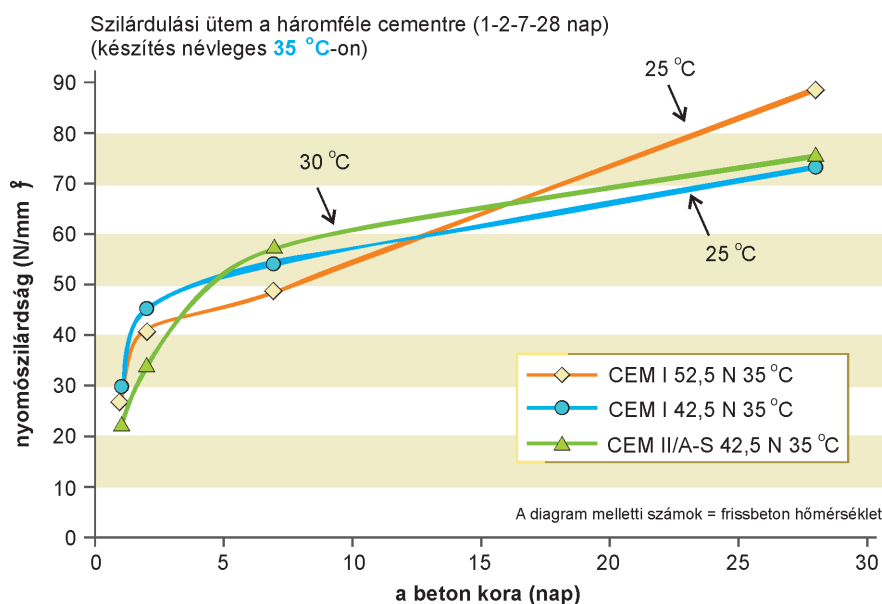
{} 28 napos átm. 15x20 cm magminták adatai

{'} 3%-os NaCl oldatban 150-szer fagyasztott kockák nyomószilárdsága

Átszámítva 0% légtartalomra

& Ez légszáraz kb 88 (#13); 77 (#84); 108 (#116) N/mm² lenne

□ + 1 V% légtartalom kb. 4% szilárdság csökkenést okoz



10. ábra. 25–30 °C tényleges kiinduló hőmérsékletű betonok nyomószilárdsága

Nagy nyári hőségben (ami útbeton és betonút készítéséhez egyébként nem kedvező) az említett CEM I cementek helyett CEM II/A-S 42,5 N (6–20%) kohósalak-portlandcement is jó lehet gyorsbetonnak, ha a keverék hőmérséklete „kényszerűségből” eléri a 30 °C-t. A 10. ábrából kitűnik (Betonolith K+F Kft. kísérlete), hogy a ténylegesen 30 °C hőmérsékletű CEM II/A-S 42,5 N cementtel 24 órában elérhető a 22 N/mm² szilárdság, ami természetesen sem itt, sem az összes előbb említett esetben nem pontosan 24 órás útelzárást jelent, mert a már említett előmunkálatok miatt az elzárás 4–6 órával hosszabb lehet. A kohósalak-portlandcement utószilárdulása (lásd 10. ábra) kedvező. További – a külföldiekkel egyező – tapasztalat még, hogy acélszálal alkalmazni csak akkor érdemes, ha a gyorsbeton dinamikus, ütköző hatásnak is ki van téve. (Az acélszál a betont szívóssá, nagy alakváltozásokra képessé teszi, törés nélkül, de a konzisztencia eltarthatóságát rontja és a felületképzést nehezíti.)

4.1.2. A zürichi repülőtér futópályáinak felújítása gyorsbetonnal: csúcsteljesítmény (Update 2012/03)

Az előző fejezet szerény feladatához képest az itteni 35 cm vastag beton futópályák tábláinak (alatta 55 cm cementstabilizáció, amely a teherbírást kis költséggel megnövelte) gyorsbetonnal való cseréjét az éjszakai forgalmi szünetben 23:30 és 5:30 között, azaz 6 óra alatt végezték, óriási gépesítéssel és szervezéssel. A betont **2,5 órás korában** adták át a forgalomnak.

Update 2012/03. számából idézünk:

„A futópályák felújítása:

A zürichi repülőtéren három fel- és leszállópálya van: ezek háromszög lakban helyezkednek el. A különböző érkezési/indulási forgatókönyvek miatt a repülőüzemnek mindháromra szüksége van. A futópályák felújítására ezért csak éjszaka kerülhet sor. 20 éven át csak kisebb felületeket cseréltek ki gyorsan szilárduló betonnal. Kb. 10 éve kezdték meg az egészlemez felújítást. Ma már éjszakánként akár 6 db 6 × 6 × 0,37 m-es táblát is ki tudnak cserélni. Évenként, a nyári hónapokban kb. 1200 m³ gyorsbetont építenek be, ez kb. 100 db egyedi lemezek felel meg. A gyorsbetonhoz legalább 21°C hőmérsékletű frissbeton kell, hogy 150 perc alatt a 20 N/mm² szilárdságot elérje. Ezt a munkát tehát csak a nyári hónapokban lehet végezni. 24 óra múlva az ilyen beton kb. 55 N/mm² nyomószilárdságú lesz, hajlító-húzószilárdsága pedig 5,5 N/mm². A lemezcsere a futópálya középső, a gépekkel legjobban terhelt sávjában hajtják végre.

Belső szervezés, logisztika

A betont egy repülőtér közeli keverőtelepen készítik. A beton a keverővíz hozzáadása után 60 percig marad bedolgozható. A frissbeton adagok megkeverésének kezdetét ezért a munkahelyen zajló folyamatok állásának megfelelően pontosan kell megrendelni. Az építésvezető felelős a rendelésért. További (a bedolgozás utáni) 90 perc múlva a beton szilárdságának legalább 20 N/mm²-nek kell lennie. Ha ezt nem sikerül elérni, akkor a vészforgatókönyv lép életbe. (Az újonnan beépített betont fel kell törni és egy feketeburkolatú „ideiglenes tömésként” szolgáló lemezpótlást kell beépíteni.)

Kivitelezés

- a futópálya lezárása 23 óra 30 perckor,
- kettős mélyrāvágás éjfélig,
- a beton feltörése bontókalapácsos gépekkel,
- a cementstabilizációs alsóréteg megtisztítása,
- alsó-hálóvasalás (dübelek) számára lyukfúrás a megmaradó betonba és a $d=32$ mm, $h=600$ mm-es vasak beragasztása,
- a felső hálóvasalás (8 kg/m^2) elhelyezése,
- a gyorsbeton beépítése,
- seprűs rovátkolás és az utókezelő szer felszórása,
- 60 percre rá letakarás hőszigetelő paplanokkal,
- takarítás és szilárdságvizsgálat,
- a futópálya átadása a forgalomnak 5 óra 30 perckor.

Az éjszakánként 80 m^3 gyorsbeton készítéséhez és beépítéséhez hatalmas géppark (állóeszköz érték $2,5$ millió CHF, azaz 2 millió Euró) és egy 20 fős csapat szükséges, amelyik különlegesen ki van képezve a gyorsbeton készítésére és beépítésére."

(Marco Schnyder, Basler & Hofmann AG, Zürich, E-Mail: marco.schnyder@baslerhofmann.ch; Daniel Hardegger, Implenia Bau AG, Zürich, E-mail: daniel.hardegger@implenia.com)



Éjszakai üzemszünet alatti burkolatfeltörés



A gyorsbeton lemez számára elhelyezett hálóvasalás



Gépi betonbedolgozás csúszózsalsal finiszerrel

11. ábra. A zürichi repülőtér futópályáinak felújítása gyorsbetonnal (Schnyder és Hardegger, 2012)

Összefoglalás

Az egyre sűrűbb nehézjármű-forgalom és a növekvő tengelysúlyok viselésére az aszfaltburkolatok – az éghajlati melegedés hatásával tetéző – sok helyen már nem felelnek meg. Az Amerikai Egyesült Államok 45 államának tényleges pályázati árajánlatait elemezve igazolták, hogy az államok adott évi 200 millió dolláros költségvetéséből összesen több km út építhető meg, ha a betonút építő iparág részesedése a költségvetésből mintegy 35 – 40 %-os

(és az aszfalté így „csak” 65 – 60), mert az így beállított egészséges versenyhelyzetben mind a beépített aszfalt, mind a beton egységára csökken. A helyes és gazdaságos arányt igazolják a tőlünk nyugatra fekvő országok aszfalt/beton pályaburkolati viszonyzámai is (1. táblázat). Piaci versenyhelyzet nélkül a pályaburkolat kiválasztási eljárása értelmetlenné válik (Wathne L, ACPA). Vannak továbbá olyan esetek, amikor – az ártól függetlenül – a burkolatok gyors felújításához vagy cseréjéhez csak beton: „gyorsbeton” alkalmazha-

tó, pl. repülőtéri kifutópályáknál, nagyforgalmú autótutaknál stb., amikor már 5 (zürichi repülőtér) vagy 8–12–24 óras elzárás után a betonpályát át kell adni a forgalomnak. A gyorsbeton – a gyorsan szilárduló cement és a folyósító adalékszerek révén – már néhány óra vagy legfőleg 1 nap múlva (pl. M7-es út, táblacsere) eléri a terhelhetőséget jelentő kb. 20 N/mm² nyomó- és 4–5 N/mm² hajlítószilárdságot.

Cikkünk folytatásában, a 2. részben néhány betonút építési módot (fehérszönyegezés, azaz White Topping, mező- és erdőgazdasági utak, kombinált aszfalt + beton alkalmazások, újrahasznosítás stb.) fogjuk áttekinteni, és kitérünk néhány részletkérdésre: fényviszonyok és megvilágítás, felületi érdesség és felületképzési módok (mosott beton), fékút, zajkibocsátás stb.

Köszönetnyilvánítás

A Szerzők hálásan köszönik *Szentpéteri Ibolyának* (okl. építőmérnök, doktorandusz, BME Út- és Vasútépítési Tanszék) az adatbeszerzés, a táblázatok összeállítása, az ábrák kiegészítése, és az irodalomjegyzék gondozása terén kifejtett pontos munkáját. Köszönik továbbá *Dr. Kausay Tibor* c. egyetemi tanár segítségét nemrég elhunyt neves kollégánk: *Dr. Liptay András* betonutakra vonatkozó szakirodalmi tevékenységének feltárásában.

Irodalom

- Aphsolt Roads VS Concrete Road:
<https://www.youtube.com/watch?v=IZJNgCPN4Ek>
Letöltési idő: 2019. 05. 10.
- Bakos A. Beton kontra aszfalt. Dél Magyarország, Szeged Hírei, 2010. február 8.
- Breyer G, Litzka J, Steigenberger J. A betonút – időtálló építési mód, biztos jövővel; Update 2009/09/3.*
- Breyer G, Steigenberger J. Betonburkolatok nemzetgazdasági szempontból; Update 2006/3.*
- Erdélyi A. Fagyálló gyorsbeton in Beton- és vasbeton szerkezetek védelme, javítása és megerősítése II. (szerk. Balázs Gy). Műegyetemi Kiadó 2002; 7.2. fejezet, p.84.
- Erdélyi A, Kádár O, Németh I, Máhr G.(2002): Táblacsere gyorsbetonból az M7 autópálya 83+200 km szelvényében in Beton- és vasbeton szerkezetek védelme, javítása és megerősítése II. (szerk. Balázs Gy) Műegyetemi Kiadó 2002; 8.15. fejezet p.309.
- Europave kiadvány (2009): Concrete Roads: a Smart and Sustainable Choice; 2009. 09. <https://www.eupave.eu/>
Letöltés ideje: 2019. 05. 13.
- e-UT 05.02.31:2008 Útbeton betonhulladék újrahasznosításával
- Gáspár L. Betonburkolatokkal kapcsolatos újdonságok. BETON 2007; 2:22-23.
- Gáspár L. Éghajlatváltozás és a hazai utügyi szabályozás; Közlekedésséptési Szemle 2010a; 60(10):1-9.

- Gáspár L. Felkészülés az éghajlatváltozás közötti közlekedési kihívásaira. Közlekedéstudományi Szemle, 2010b; 12:13-20.
- Gábel V, Gál A. Beton versus aszfalt. CEMKUT tanulmány. 2017.
- Haider M, Steigenberger J. Mosott beton felületek hosszú távú viselkedése akusztikai szempontból; Update 2007/1.*
- Internationale Fachtagung 2005 «Betondecken aus volkswirtschaftlicher Sicht». Vortragsband, 2005
- Karsainé Lukács K. Betonburkolatok alkalmazása fenntartásban és felújításban. KTI 2009. évkönyv, p. 233.
- Karsainé Lukács K, Bors T. Betonburkolatú kísérleti útszakaszok építése és állapot-megfigyelése 1. rész: Letenye – Lenti összekötő út; BETON; 2007; 12:8.
- Karsainé Lukács K, Bors T. KTI tanulmány, 2009.
- Karsainé Lukács K, Liptay A, Táska Andorné. Kísérleti útszakaszok a 7538. sz. Letenye-Lenti közti nehézfogalmi úton, Közúti és Mélyépítési Szemle, 2000/5
- Keleti I (szerk.). Betonburkolatok. Magyar Betonburkolat Egyesület, 2012.
- Liptay A. Cembeton Útmutató; Magyar Cement-, Beton- és Mészipari Szövetség, 2017.
- Liptay A. Betonutak fejlesztése és építése az utóbbi 60 évben Magyarországon. <http://www.betonopus.hu/notesz/liptay-betonutak-60.pdf>; Letöltési dátum: 2019. 05. 13.
- Liptay A. A betonútépítés helyzete és jövője Magyarországon, Közúti Közlekedési- és Mélyépítéstudományi Szemle, 1966; 11:416-426.
- Liptay A: Fejezetek a betonútépítés fejlődéséről (szerk. Keleti I. Betonburkolatok). MBBE, 2012, 15-21, 277-283.
- Maier G, Peyerl M, Krispel S. TunnelHELL („AlagútVILÁGOSAN”) Az alagutak betonanyagú útpályáinak hatása: növekvő biztonság és energiatakarékosság egyszerre. Update 46; 2016. november*
- Peyerl M, Krispel S, Weihs P, Maier G. Városi közlekedési felületek – legkedvezőbb beton a városbelső számára. Update 44/2016*
- Schnyder M, Hardegger D. A zürichi repülőtér pályáinak felújítása, Update 2012/12/3*
- Sommer H. Betonstraßen im Wandel; Zement + Beton, 2018; 2:5-8.
- Steigenberger J, Eisner H, Marchtrenker S. A beton újrahasznosítása az útépítésben; Update 11/1, 2011.*
- Tóth Cs. (2014): Sustainable pavement: környezettudatos és energiatakarékos útpályaszerkezetek. (Szerk. Keleti I. Hosszú élettartamú útpályaszerkezetek.) Budapest, Magyarország: Konferencia Iroda Bt, 2014; 1-9, 4, 9.
- Tóth Cs. Aszfaltkeverékek viszkoelasztikus viselkedésének jellemzése Huet–Sayegh-moddal. Közlekedésséptési Szemle, 2009 Augusztus; 59:(8)6-12.
- Wallner R, Steigenberger J. Betonburkolat a városi úthálózaton – egy megkerülhetetlen tényező; Update 2008/1
- Wathne L. Pavement type selection: What is the ideal process? <http://www.acpa.org/> letöltés dátuma: 2019. 05. 13.
- Wien, 2005;
www.zement.at (<http://www.zement.at/page.asp?c=158>)
Letöltési dátum: 2019. 05. 13.

*Az Update kiadványok a cembeton.hu honlapon megtekinthetők és letölthetők.