

Könnyűbetonok koptatóhatással szembeni ellenállása

NEMES RITA ■ BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék ■ nemes.rita@gmail.com

Érkezett: 2013. 06. 10. ■ Received: 10. 06. 2013. ■ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.10>

Abrasion Resistance of Lightweight Aggregate Concrete

The durability is one of the most important requirements of design of concrete and reinforced concrete structures. The abrasion resistance is less known and common, compared to e.g. freeze-thaw attack, but can be important in case of pavements. Lightweight aggregates usually do not have high abrasion resistance. Different behaviour from normal weight concrete was studied for expanded clay and two type of expanded glass aggregate in present studies.

Keywords: lightweight concrete, expanded clay, expanded glass, abrasion resistance

Kulcsszavak: könnyűbeton, duzzasztott agyagkavics, duzzasztott üvegekavics, kopási ellenállás

1. Bevezetés

A tartósság az egyik legfontosabb szempont lett a beton és vasbeton szerkezetek tervezése során. Betonszerkezetek esetén gyakran a szilárdsági és használhatósági határállapotok kevésbé szigorúak, különösen kültéri szerkezetek esetén, mint a tartóssági követelmények. A tartóssági tulajdonságok ellenőrző vizsgálatai közül a fagyállóság a legismertebb. Az EN 206-1:2002 betonszabvány magyar NAD-ja (MSZ 4798-1:2004) a fagyállósági kitéti osztályok mellett tartalmazza a vízzáróság és a kopásállóság vizsgálatát és osztályba sorolását is. Térburkolatok alkalmazásakor nagy jelentősége van a kopásállóságnak. Burkolókövek esetén gyakori ez a vizsgálat, de a beton burkolatok terjedésével, a betonoknál egyre nagyobb szükség van rá. A kopásállóság kérdése ritkán merül föl könnyűbetonok esetén. Éppen ezért kevés adat áll rendelkezésre.

A szakirodalomban elérhető eredmények többnyire ASTM szabvány szerinti vizsgálatok eredményeit tartalmazzák (pl. ASTM C779 / C779M - 12 Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces), ahol elsősorban valamilyen benyomódás, bemaródás alapján minősítik a betonokat kopásállóság szempontjából. Ilyen vizsgálattal svéd kutatók Leca (duzzasztott agyagkavics) adalékanyag betonon (testsűrűség: 1750 kg/m³, nyomószilárdság: 37,0 MPa) jobb kopásállóságot kaptak, mint közel azonos nyomószilárdságú normál beton esetén. A koptatási mélység, vizsgálatról függően, a könnyűbetonokon 64-73% lett a vizsgált normál betonokon mérthez képest [1]. Az ilyen típusú vizsgálatok sok esetben kevés információt nyújtanak az adalékanyagra vonatkozóan, általában a felhasználási terület és a nyomószilárdság irányából közelítik a problémát. Könnyű adalékanyaggal általában azonos szilárdsági osztály mellett nagyobb habarcsszilárdság szükséges, ami szintén befolyásolja a tartóssági vizsgálatok eredményét.

A Magyarországon szokásos, eredetileg kőzetekre kidolgozott Böhme vizsgálattal (MSZ 18260-1:1981) hasonlítottuk össze hagyományos betonok és könnyűbetonok kopással szembeni ellenállóképességét. Ezt a módszert nem csak kőzeteken, hanem térburkoló- és pályabetonokon is alkalmazzák. A kutatásunk során gyenge habarcsminőségeket választottunk, hogy elsősorban az adalékanyag legyen a meghatározó, mivel a betonok kopásállósága a szakirodalmi adatok és szabványok szerint elsősorban az adalékanyagtól és annak kopásállóságától függ. Az MSZ 4798-1 elő is írja, hogy milyen adalékanyagok alkal-

mazhatók kopásálló betonokhoz (ezek között nem szerepel a könnyű adalékanyag). Előfordulnak esetek, amikor viszont nem a kopásállóság az elsődleges jellemző, amit a betonnak teljesítenie kell, viszont ki lesz téve koptatási igénybevételnek. Ilyen volt például a budapesti Margit híd felújítása során alkalmazott ideiglenes pályalemez betonja. A legfontosabb követelmény a testsűrűség volt, amit maximálni kellett teherbírási szempontok alapján (az eredeti terhelés értékét nem volt szabad meghaladni az építés alatt sem). A szilárdsági igény kicsi volt (megfelelt az LC20/22 szilárdsági osztály), de tartóssági szempontból meg kellett felelnie fagyállósági és kopásállósági követelményeknek is. Ezek ugyan csökkentett mértékűek voltak, mivel a szerkezet várható élettartama 1 év volt (a tényleges élettartam pár hónappal kevesebb is). A fagyállóságra vonatkozóan több szakirodalmi adat és saját mérési eredmény is rendelkezésre állt, amely az alkalmazást alátámasztotta, azonban a kopásállóságra vonatkozó ismereteket laboratóriumi vizsgálattal kellett kiegészíteni.

A projekt során szerzett tapasztalatok alapján felmerült, hogy vajon nem a szabványnak megfelelő adalékanyagokkal készülő betonok mennyire felelhetnek meg a kopásállósági követelményeknek, illetve, hogy milyen mértékben eredményez jó kopásállóságot az adalékanyag, a cementkőváz és ezek együttműködése.

2. Kísérletek

2.1 Kiindulási adatok, előkísérletek

Az első koptatási kísérletet könnyűbetonon 2009 nyarán végeztük, amikor igazolnunk kellett, hogy a Margit híd ideiglenes pályalemeze készülhet olyan könnyűbetonból, amelynek a testsűrűsége 1600 kg/m³ alatt marad, de a tervezett 1 éves élettartam alatt megfelelően kopásálló lesz, a gumikerekes járműforgalomnak kitett pályaburkolat betonjaként.

Könnyűbetonokat koptatásnak kitett felületen ritkán alkalmaznak, mert a legtöbb könnyű adalékanyag rossz kopásállóságú. Összehasonlító vizsgálatot végeztünk annak megállapítására, hogy egy közel azonos cementkő vázzal rendelkező kvarckavics és duzzasztott agyagkavics adalékanyagú beton milyen koptatási ellenállással rendelkezik.

Ha a betontól a koptatással szembeni ellenállást követelünk meg (XK1(H), XK2(H), XK3(H), XK4(H)) akkor az MSZ 4798-1 szerint a beton kopásállóságát legalább 28 napos korában, az MSZ 18290-1:1981 szabvány szerinti Böhme-féle eljárással kell

Dr. NEMES Rita

Okl. építőmérnök,
egyetemi adjunktus
a BME Építőanyagok és
Mérnökgeológia Tanszékén.

Fő érdeklődési területei:
könnyűbeton összetételének tervezése,
könnyűbeton szerkezetek tervezése.
A fib Magyar Tagozat tagja.
Az SZTE Beton Szakosztály tagja.

vizsgálni, és a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 9. fejezet, 9.6.2. szakaszában leírtakat is ajánlatos figyelembe venni. A ΔV térfogatvesztésértéket mm^3 -ben kapjuk meg, a következők szerint:

$$\Delta V = \left(1 - \frac{G'}{G}\right) \cdot V$$

ahol ΔV = a próbatetest térfogatvesztése, mm^3 -ben
 G = a próbatetest tömege koptatás előtt, g-ban
 G' = a próbatetest tömege koptatás után, g-ban
 V = a próbatetest térfogata koptatás előtt, mm^3 -ben

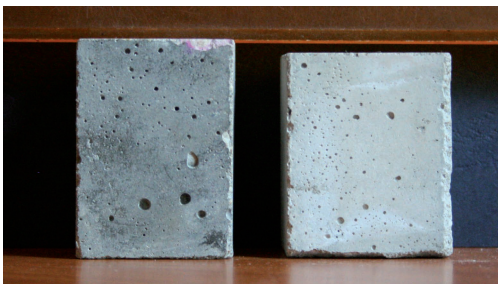
A koptatást szárazon (légszáraz próbakockákon) és vizesen (vízzel telített próbakockákon és a koptatótárcsára víz csöpögtetése közben) is el kell végezni, és ezek eredményei közül a kedvezőtlenebb a mértékadó vizsgálati eredmény (a határértékeket az 1. táblázat tartalmazza). Például, ha egy beton kopási vesztesége szárazon 9600 mm^3 , vizesen 17400 mm^3 , akkor környezeti (igénybevételi) osztálya: XK2(H). Ennek a táblázatnak a kiegészítésére már elkészült egy javaslat, amelyben egy 5. különlegesen kopásálló osztály is szerepel és nem csak a koptatási határértékek vannak megadva, hanem nyomószilárdsági osztály, cementtartalom, maximális víz-cement tényező és megengedett levegőtartalom is [2].

A ΔV kopási térfogatvesztés megengedett mértéke mm^3 -ben		
Környezeti (igénybevételi) osztály	Száraz koptatás esetén	Vizes koptatás esetén
XK1(H)	14000	21000
XK2(H)	12000	18000
XK3(H)	10000	16000
XK4(H)	8000	14000

1. táblázat MSZ 4798-1 NAD 5.4. jelű táblázata: Követelmény a beton kopásállóságára
 Table 1. Requirements for the abrasion resistance of concrete according to MSZ 4798-1 Table NAD 5.4.



1. ábra Próbatestek a koptató vizsgálat után
 Fig. 1. Specimens after the abrasion test



2. ábra Próbatestek a koptató vizsgálat után
 Fig. 2. Specimens after the abrasion test

A pontos receptúra ismerete nélkül, illetve idő hiányában nem tudtuk a szabványos vizsgálatot elvégezni az előkísérletek során. Korábban más célra készült, a fent említetteknek megfelelő paraméterekkel rendelkező próbatesteket vizsgáltunk. Ezek $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ -es hasábok voltak, így nem tudtuk a szabványos $70 \times 70 \text{ mm}$ -es felületet sem előállítani, ezért $40 \times 40 \text{ mm}$ -es felületen végeztük a koptató vizsgálatot. A könnyűbeton duzzasztott agyagkavics adalékanyagú, 1850 kg/m^3 testsűrűségű, LC25/28 szilárdsági osztályú volt, a hagyományos beton közel azonos péptartalmú, C40/50 szilárdsági osztályú volt. Mivel a próbatest méretéből adódóan a koptatási felület kisebb volt így azonos erő mellett a koptatás kb. háromszoros intenzitással ment végbe, ezért a 16 szokásos sorozat helyett 5-öt ($5 \times 3 = 15$) végeztünk. A kopási térfogatvesztés mértékéből megállapítható volt, hogy a hagyományos beton megfelel a legszigorúbb XK4(H), a könnyűbeton pedig az XK3(H) osztályoknak. A vizsgált könnyűbetonok kopásállósága csak kb. 25%-kal volt rosszabb (2. ábra), mint a vizsgált hagyományos betoné. Előnyként említhető, hogy a jobb adalékanyag-cementkő kapcsolat miatt a koptatás során a könnyű adalékanyag szemek nem peregtek ki a koptatott felületből (1. ábra) [3].

2.2 Kísérleti terv

A betonösszetételek megtervezésénél a legfontosabb szempont a habarcsváz azonossága volt, hogy a vizsgálat során meghatározott különbségek – amennyire lehetséges – az adalékanyagra vonatkozzanak. Így a testsűrűségi vagy szilárdsági adatok alapján a vizsgált betonok nagyon különbözőnek tűnnek, de a különbséget csak az adalékanyag jellemzői okozzák. CEM I 42,5 N jelű cementtel dolgoztunk, a cementadagolás 360 kg/m^3 volt, minden alkalmazott adalékanyag esetén enyhén pép-tútelített betont szerettünk volna elérni, hogy a könnyűbetonra jellemző teherbírási viszonyok létrejöhessenek, viszont nagy víz-cement tényezőt ($v/c=0,61$) alkalmaztunk, hogy a habarcs szilárdsága minél kevésbé legyen mértékadó, ezért finomrészt (140 kg/m^3 mészköliszt adagolást) is alkalmaztunk. Azonos összetétel mellett más jellemzőket is vizsgáltunk, így több szempont alapján optimalizáltuk a kísérleti tervben a betonösszetételt (2. táblázat tartalmazza az etalon (kvarckavics adalékanyag) beton összetételét. A könnyűbetonokat a 2. táblázatban ismertetett összetétellel készítettük, a változó paraméter csupán a durva adalékanyag frakció volt. A 4 mm feletti adalékanyag frakciókat cseréltük ki a könnyű adalékanyagra. A kutatás során több gyártótól származó, különböző könnyű adalékanyagokat vizsgáltunk meg (3. táblázat). Az adalékanyag-jellemzőket az MSZ EN 13055-1:2003 alapján határoztuk meg. A könnyű adalékanyagot mindig száraz állapotban adtuk hozzá a betonkeverékhez. A keverés és bedolgozás során a fél órás vízfelvételek megfelelő vízmennyiséget az adalékanyag képes elszívni a keverővízből, ettől a beton tényleges víz-cement tényezője és konzisztenciája megváltozna, ezért ezt a vízmennyiséget a keverővízhez hozzáadtuk.

A kopásállósági vizsgálatokhoz $70 \times 70 \times 250 \text{ mm}$ -es hasábokat készítettünk és ebből a megszilárdulás után vágással alakítottuk ki a szükséges 70 mm élhosszúságú kockákat. Minden próbatestből több kockát alakítottunk ki, így lehetőségünk volt mind a bedolgozási, mind a vágott felület vizsgálatára. A tartóssági vizsgálatokat szokás vágott felületen végezni, viszont itt a gyakorlati felhasználás szempontjából fontos volt

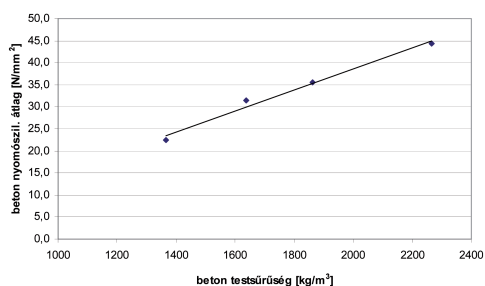
a valóságban is igénybe vett bedolgozási felület vizsgálata is. A vizsgált betonok nyomószilárdsága egyenesen arányos a testsűrűségükkel (3. ábra), tehát ideális arra, hogy ténylegesen az adalékanyagok okozta különbségek hatását vizsgáljuk. A vizsgált betonok testsűrűségét és nyomószilárdságát (28 napos kockaszilárdság) a 4. táblázat foglalja össze.

	kg/m ³	l/m ³
cement	360	116,1
finomrész	140	51,9
víz	220	220
folyósítószer	0,36	0,36
adalékanyag 4/8	486	181,9
adalékanyag 8/16	397	148,8
homok 0/4	720	271,7
levegő	-	9,2
Σ	2323	1000

2. táblázat A kísérletek során alkalmazott etalon keverék [4]
Table 2. Reference mix used in the experiments [4]

Adalékanyag	Szemcse- testsűrűség [kg/m ³]	Vízfelvétel [m%]		
		0,5 órás	24 órás	teljes
kvarckavics	2670	0	0	0
duzzasztott üvegkavics 1	1320	1,4	1,8	4
duzzasztott üvegkavics 2	949	6,1	8,2	25
duzzasztott agyagkavics	1247	8,0	13,0	21

3. táblázat A kísérletek során alkalmazott adalékanyagok egyes jellemzői [5]
Table 3. Physical properties of the aggregates used in the experiments [5]



3. ábra A vizsgált betonok nyomószilárdság – testsűrűség összefüggése
Fig. 3. Compressive strength vs. body density responses of the tested concretes

A különböző szabványok és ajánlások szerinti koptatási módok több helyen is eltérnek egymástól. A Böhme módszer szerinti koptatásnál 22 fordulatonyi koptatás után a próbatestet el kell fordítani 90 fokkal és tovább kell koptatni a felületet 22 fordulaton keresztül és így tovább mind a négy él felől. Egy ilyen 4×22 fordulatos sorozatot kell négyszer ismétetni az MSZ 18290 szerint. Jelenleg ez a koptatási módszer érvényes mind kőzetekre, mind betonokra (az MSZ 4798 és az MSZ 18290 erre hivatkozik). Betonok esetén korábban az MSZ 4715 szabvány 4×110=440 fordulatos koptatást írt elő (ami megfelel 5×4×22=440 fordulatonak). A MÉASZ ajánlás alapesetben vágott felületeken végzett koptatást javasolt (esetleg előkoptatott felületen). A korábban érvényes MSZ 4715 pe-

dig kihangsúlyozta, hogy a későbbi igénybevételnek megfelelő felületet kell koptatni (és ez jellemezően nem egy vágott, hanem leggyakrabban a bedolgozási felület). A lényeges probléma ezekkel a különböző vizsgálati módokkal az, hogy bár a vizsgálati módok több ponton eltérnek egymástól egyféle kiértékelés használatos (a MÉASZ szerinti) mindegyik esetre.

A vizsgálatnak létezik száraz és nedves változata, így a későbbi használatra jellemző koptatást kell figyelembe venni vagy mindkét módszert el kell végezni és a kedvezőtlenebb alapján kell a kiértékelést végezni. A kísérletek során mi szárazon végeztünk koptatást. Mind vágott, mind bedolgozási felületen elvégeztük a vizsgálatot 5 db 4×22 fordulatos koptatással és minden 4×22 fordulatot követően megmértük a magasságcsökkenést és a tömegvesztésüket is.

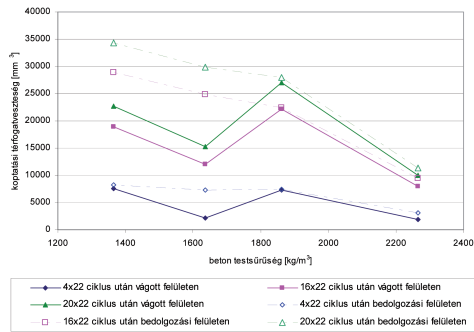
Adalékanyag	Beton testsűrűség [kg/m ³]	Nyomószilárdság [N/mm ²]
duzzasztott üveg 2.	1367	22,4
duzzasztott üveg 1.	1637	31,5
duzzasztott agyagkavics	1862	35,5
kvarckavics	2266	44,4

4. táblázat A vizsgált betonok adalékanyaga, testsűrűsége és nyomószilárdsága (28 napos átlagérték)
Table 4. Body density and compressive strength of the concretes tested (28 days age values)

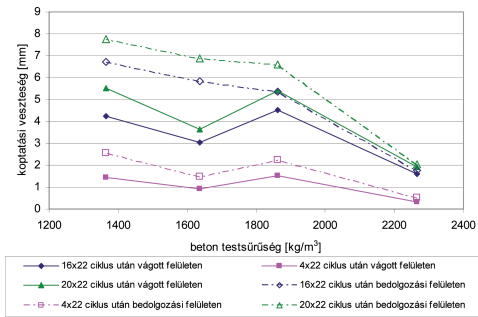
3. Eredmények

A gyakorlatban leggyakrabban előforduló, igénybevett (azaz a bedolgozási) felületen végzett (a 4. és 5. ábrán üres jelölőkkel és szaggatott vonallal jelölt) koptatás eredményei alapján megállapítható, hogy a könnyű-adalékanyag betonok koptatási vesztesége átlagosan kb. háromszorosa a kvarckavics adalékanyag etalon beton koptatási veszteségének. A vizsgált (tartószervezeti célra is megfelelő, viszonylag nagy szemcse-
testsűrűségű és halmozószilárdságú) könnyű adalékanyagok alkalmazása esetén a kopásállóság lineárisan nő a testsűrűség növekedésével. Az első koptatási sorozat (4×22 fordulat) során kb. 25–50%-kal nagyobb a koptatási térfogatvesztés, mintha arányosan vesszük a 4 és 5 koptatási ciklus eredményét. Kisebb szemcse-
testsűrűségű adalékanyagok esetén nagyobb ez az arány. Ha ezt az eredményt összehasonlítjuk a koptatási veszteséggel (azaz gyakorlatilag a próbatest magasságcsökkenésével) akkor látható, hogy ott még nagyobb a különbség. Ennek az az oka, hogy bár a szabványos (4. ábrán látható) jellemzőt koptatási térfogatvesztésnek nevezzük, a valóságban tömegvesztés mérésből számítással határozzuk meg. A könnyű adalékanyag betonok bedolgozási felülete pedig rendszerint nem péptelített, hanem a könnyű adalékanyag szemcsék kismértékben felúsznak a felületre, itt a tömegmérés alkalmazása nem ideális a nem teljesen egyenletes testsűrűség-eloszlás miatt.

A (4. és 5. ábrán kitöltött jelölőkkel és folytonos vonallal jelölt) vágott felületek vizsgálatának eredményei eltérnek a bedolgozási felületen megfigyelt tendenciákhoz képest. Az 1. jelű duzzasztott üvegkavicsal készült könnyűbeton ($\rho_T=1637$ N/mm²) vágott felületén vizsgálva lényegesen kedvezőbb kopási ellenállást mutat, mint a bedolgozási felületen vizsgálva. Ez igaz, mind a koptatási térfogat veszteség, mind a koptatási veszteség (magasságcsökkenés) értékére. Ezt az adalékanyagot (duzzasztott üvegkavics 1.) kis vízfelvétele optimalizálták a gyártás során. Ennek hatására egy zárt réteg képződött az adalékanyag szemcsék felületén a forgókemencés égetés során. A 3. táblázat adataiból látható, hogy lényegesen kisebb ennek az adalékanyagnak a



4. ábra A koptatási térfogatvesztés a beton testsűrűségének függvényében (tömegmérésből számítással meghatározott értékek)
Fig. 4. Abrasion volume loss represented as a function of the body density (calculated values from mass measurements)



5. ábra A koptatási veszteség (magasság csökkenés) a beton testsűrűségének függvényében
Fig. 5. Abrasion loss (decrease in specimen height) as a function of the body density

vízfelvétele a másik két könnyű adalékanyaghoz képest. A vágott felületen jól látszik, hogy egy külső keményebb réteg képződött, belül pedig vagy a többi könnyű adalékanyagra jellemző porózus rész figyelhető meg, vagy egy kisebb gömb alakú szintén kemény burokkal rendelkező rész (6. ábra). Ha a vágott felületen végezzük a koptatást, akkor ezek a külső keményebb részek egyenletesen terhelődnek, így jól ki tudják fejteni a hatásukat, a koptatási veszteség lényegesen kisebb lesz, mint ahol nem ilyen az adalékanyag szerkezete. Bedolgozási felületen nem érzékelhető ez a különbség, ennek az lehet az oka, hogy a legkülső réteg könnyen kopó habarcs, majd egy keményebb burok következik az adalékanyag szemcsén, de ez nagyon kis felületen és nem egyenletesen érintkezik a koptató felülettel, ennek lekopása után pedig vagy a belső puhább rész tud kopni, vagy ahol egy kisebb „gömb” van a belsejében, ez gyakran kihullik. Ez a különbség vizsgálat során is érzékelhető volt, a próbatest sokkal jobban „ugrált” vizsgálat közben, mint a többi összetétel esetén.



6. ábra Az 1. jelű duzzasztott üveg adalékanyagos próbatest vágott felülete koptatás előtt
Fig. 6. Cut surface of the specimen with expanded glass aggregate (specimen no. 1.) before abrasion test

4. Összefoglalás

Összességében elmondható, hogy a könnyű adalékanyagok koptatással szembeni ellenállása valóban kisebb a hagyományos adalékanyagokéhoz képest, azonban ha mégis szükséges, hogy egy könnyűbeton kopásállósági feltételnek is megfeleljen akkor jó habarcsvázra van szükség. A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy könnyű adalékanyagos betonok esetén nagy jelentősége van annak, hogy a vizsgálatot a tényleges koptatásnak kitett felületen végezzük, mert egyes adalékanyagok esetén lényeges eltérések lehetnek a vágott és a bedolgozott felület eredményei között.

A későbbiekben tervezünk hasonló vizsgálatot végezni többfajta adalékanyag alkalmazása és a zsaluzott felületek koptatása esetére is, további összefüggések keresése érdekében. A későbbi alkalmazások szempontjából fontos lehet azonos adalékanyagok esetén a habarcsváz minőségének javítása és ennek a koptatással szembeni ellenállásra gyakorolt hatásának meghatározása.

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondunk a Duna-Dráva Cement Kft.-nek, a Liabau Kft.-nek és a Geofil Kft.-nek, hogy biztosították számunkra a kísérletekhez szükséges alapanyagokat, illetve Dr. Fenyvesi Olivérnek és Pálinkás Bálintnak (BME) a kísérletek végrehajtásánál nyújtott segítségükért.

Felhasznált irodalom

- [1] Chandra, S. –Berntsson, L.: *Lightweight Aggregate Concrete – Science, Technology and Applications*. Elsevier Science, 2002, ISBN 081551820X
- [2] Kausay T.: *Betonok környezeti osztályai*. ÉPKO 2009 XIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia Csíksomlyó, Románia 2009. június 11–14. Szerk.: Köllő G. ISSN 1843-2123 pp. 216-223.
- [3] Benedek B. – Józsa Zs. – Nemes R. – Mígály B.: *Ideiglenes pályaburkolat a Margit hídon könnyűbetonból*. Beton 18: (7-8) pp 3-8., 2010, ISSN 1218-4837
- [4] Fenyvesi O.: *Affect of lightweight aggregate to early age cracking in concrete*. Periodica Polytechnica-Civil Engineering 55:(1) pp. 63-71., 2011, ISSN 1587-3773. <http://dx.doi.org/10.3311/pp.ci.2011-1.08>
- [5] Józsa Zs. – Fenyvesi O.: *Könnnyű adalékanyagok belső utókezelő hatása a könnyűbetonok korai zsugorodási repedésérzékenységére*. Szerk.: Köllő G. ÉPKO 2011 XV. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia Csíksomlyó, Románia, 2011.06.02-05. ISSN 1843-2123., pp. 124-131.

Hivatkozott szabványok

ASTM C779 / 779CM-12 Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surface
MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 9. fejezet Kopásálló betonok
MSZ 4715-4:1987 A megszilárdult beton vizsgálata. Mechanikai tulajdonságok roncsolásos vizsgálata
MSZ 4798-1:2004 Beton 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ EN 13055-1:2003 Könnnyű kőanyag-halmazok 1. rész: Könnnyű kőanyag-halmazok (adalékanyagok) betonhoz, habarcsához és injektálóhabarcsához
MSZ 18290-1:1981 Építési kőanyagok felületi tulajdonságainak vizsgálata. Kopási vizsgálat Böhme módszerrel

Ref.:

Nemes Rita: *Könnnyűbetonok koptatóhatással szembeni ellenállása*. Építőanyag, 65. évf. 2. szám (2013), 44–47. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.10>