

Könnyűbetonok fagyasztásvizsgálatának érdekességei

Dr. NEMES Rita

Okl. építőmérnök, adjunktus a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén.

Fő érdeklődési területei: könnyűbeton összetételének tervezése, könnyűbeton szerkezetek tervezése, speciális betonok, könnyű és újrahasznosított adalékanyagok, kerámiák, szigetelések. A fib Magyar Tagozat tagja. Az SZTE Beton Szakosztály tagja.

NEMES RITA • BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék • nemes.rita@epito.bme.hu

Érkezett: 2015. 02. 15. • Received: 15. 02. 2015. • <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.5>

Special topics in the freeze-thaw resistance of lightweight concretes

Durability of lightweight aggregate concrete is tested in terms of freeze-thaw testing according to EN 12371 up to 150 freeze-thaw cycles. Open pore lightweight aggregates (expanded clay and expanded glass) and closed pore lightweight aggregate (expanded glass) have been used for the comparison of normal weight concretes. It was revealed that the tendency and magnitude of deterioration for the high strength, open pore expanded clay aggregates is similar to that of the normal weight aggregates. The very light, low strength, open pore lightweight aggregates (both expanded clay and expanded glass) showed special behaviour; the minimum strength does not correspond to the maximum freeze-thaw cycle that needs further experimental studies for a more complete understanding. The closed pore expanded glass aggregates show slight increase in compressive strength up to 25-50 cycles, however, 100-150 cycles result complete failure, a more serious deterioration than found for the other types of lightweight aggregates. The results confirm the need of further detailed experimental studies in the topic.

Keywords: lightweight aggregate, lightweight concrete, freeze-thaw resistance

Kulcsszavak: könnyű adalékanyag, könnyűbeton, fagyállóság

1. Bevezetés

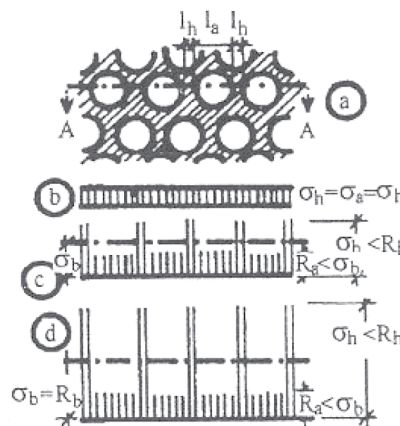
A tartósság kérdése egyre fontosabb a tervezések során. A tartósság egyik fő követelménye, különösen magyarországi körülmények között, a fagyállóság. A fagyállósági követelményeket az MSZ 4798 szabvány előírásai úgy próbálják biztosítani, hogy minimális cementtartalmat és maximális víz-cement tényezőt írjanak elő. Hagyományos (kvarckavics vagy zúzottkő adalékanyagú) betonok esetén előírás van a minimális nyomószilárdsági osztályra is. Ez a szilárdsági osztály gyakorlatilag a többi követelmény és a megfelelő bedolgozás és utókezelés következménye, de csak akkor, ha hagyományos adalékanyagot alkalmaztunk. Könnyű adalékanyagok könnyűbetonok esetén a cementtartalom és víz-cement tényező betartása mellett is lehet kisebb a nyomószilárdság, de attól még megfelelő tartóságú lehet a könnyűbeton. Ennek jó példája a római Pantheon, amelynek a tartószerkezete teljes egészében különböző könnyűbetonokból épült és közel 2000 éves [1]. Ha az adalékanyag könnyű, és ezzel együtt általában kis szilárdságú is, akkor a habarcsváz szilárdságával kompenzáljuk ezt, hogy létrejöhessen a tipikus könnyűbetonokra jellemző teherviselési mód (1. ábra), ahol a habarcsváz veszi fel a terhelés nagy részét, az adalékanyag szilárdsága pedig jóval kisebb. Ez egyben a tartósságot (fagyállóságot, vízzáróságot, karbonátosodást) kedvezően befolyásolja. Léteznek nagyobb szilárdságú könnyű adalékanyagok, ahol erre nincs szükség, ezeknél viszont több esetben tapasztaltunk a hasonló összetételű és szilárdsági osztályú hagyományos betonokhoz képest kisebb fagyállóságot.

Többször előfordult gyakorlati alkalmazásoknál, hogy a 25-50 ciklusos fagyasztás után a könnyűbetonon mérhető nyomószilárdság nagyobb volt, mint a nem fagyasztott referencia próbatesten mért nyomószilárdság. A jelenségre felfigyelve célunk volt elkülöníteni, hogy milyen adalékanyagok alkalmazása vagy milyen betonszilárdság esetén fordul elő ez a jelenség.

Kétféle szokásos fagyállóság vizsgálat használatos:

- az elárasztásos fagyasztás (MSZ EN 12371) olvasztó sózás nélküli betonok (XC1 és XC3 osztályok; MSZ 4798) esetén,
- a fagyhámlás vizsgálat (MSZ CEN/TS 12390), ha a beton jégolvasztó sózás hatásának van kitéve (XC2 és XC4 környezeti osztályok; MSZ 4798).

Jelen kutatásban az elárasztásos fagyasztással foglalkozunk. Célunk volt, hogy a könnyűbetonok kockafagyasztásos vizsgálatának hatékonyságát és lehetőségeit vizsgáljuk.



1. ábra A könnyűbeton idealizált szövetszerkezete és a feszültségek eloszlása [2]
Fig. 1. Idealised structure and inner flow of forces for lightweight aggregate concrete [2]

2. Szakirodalmi háttér

A könnyűbetonok megfelelő fagyállóságát általában annak tudják be, hogy a habarcsváz nagyon jó tömörségű kell, hogy legyen már a szilárdsági követelmény teljesítése miatt is, a jó habarcsváz pedig jó vízzáróságot, jó fagyállóságot eredményez.

Egyes kutatások viszont vizsgálták a mikroszerkezetet is, és arra a megállapításra jutottak, hogy nagyon jó mikroszerkezetet lehet elérni porózus agyag- és pernyealapú adalékanyagokkal, de itt is nagyon fontos az ideális víz-kötőanyag tényező. Azt is kiemelik, hogy mennyivel fontosabb az adalékanyag szilárdságának és vízfelvevő-képességének a hatása, abban az esetben, ha a víz-kötőanyag tényező nagy [3].

Vizonylag kis szilárdságú könnyűbetont tudunk készíteni a Margit-híd felújításakor ideiglenes pályalemezként, ami kellően fagyállónak bizonyult LC20/22 szilárdsági osztály mellett is [4].

A legtöbb vizsgálat vízszintes, jégolvasztó sózásnak kitett esetre vonatkozik [5, 6], az elárasztásos fagyasztás vizsgálata nagyon ritka. Általában a habarcsot optimalizálják egyfajta adalékanyag típushoz és nem a különböző adalékanyag fajtákat hasonlítják össze egymással [7].

3. Kísérleti koncepció

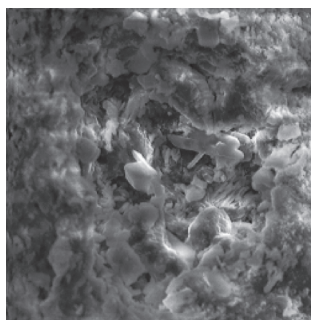
Első lépésben 25, 50 és 150 ciklusos fagyasztást végeztünk. A betonösszetételek esetén a változó paraméter csak az adalékanyag durva frakciója volt (szemnagyság > 4 mm). Az etalon kvarckavics mellett 5 féle könnyű adalékanyaggal készítettünk betonokat. 4/8-as frakciót választottunk, mert ez mindegyik vizsgált adalékanyag-típusból elérhető volt. A vizsgált betonok összetétele minden egyébben megegyezik (így kiküszöbölve a bevezetésben említett ellentmondásokat), ennek következtében viszont a testsűrűségük és a szilárdságuk tág határok között változott. A durva frakciójú (4/8) adalékanyagokat minden esetben 33 V% arányban adagoltuk. A habarcs összetétele azonos volt, 360 kg/m³ cementadagolást, v/c = 0,61 víz-cement tényezőt és h/c = 2,0 homok-cement tényezőt alkalmaztunk. A keverékekhez minden esetben az elméleti vízmennyiségnél többet adagoltunk, annyit, amennyi az alkalmazott könnyű adalékanyag mennyiség 1 órás vízfelvételevel megegyezett, így biztosítva, hogy nem a habarcsához szükséges vizet szívja el a porózus adalékanyag.

A v/c = 0,61 víz-cement tényező nagyobb volt, mint az MSZ 4798-1:2004 szabványban megengedett érték (0,50-0,55), így a habarcsváz fagyállóságra nem volt ideális. Ezzel az volt a célunk, hogy az etalon hagyományos beton szilárdságcsökkenése jól kimutatható legyen. Még így is megfelelt 150 ciklus után is a szabvány által előírt követelménynek (a kevesebb, mint 20% szilárdságcsökkenésnek). Légpórusképzőt nem alkalmaztunk egyik esetben sem.

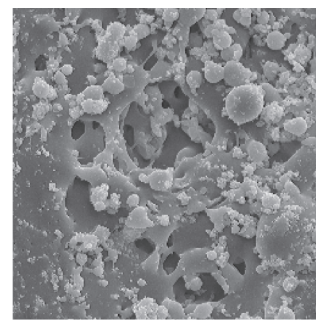
A könnyű adalékanyagok között két alapanyag, két felületi kialakítás és két szilárdsági csoport szerepelt:

- Az alapanyag duzzasztott agyag (4. és 5. ábra) és duzzasztott üveg (6. és 7. ábra) volt. Mindkettőt elterjedten alkalmazzák, viszont belső mikrostruktúrájuk jellegzetesen eltér egymástól (2. és 3. ábra).
- Duzzasztott üvegből létezik nyitott pórusú (6. ábra) és olyan, amelyen a gyártás közben egy bevonatot képeznek, így a felület porozitása nagyon kicsi. A kis felületi porozitás következtében kicsi a vízfelvétele a többi könnyű adalékanyaghoz képest (7. ábra). Mindkét típust alkalmaztuk a vizsgálatok során.

- Szilárdság szerint is két csoportra osztottuk a könnyű adalékanyagokat. Az első csoportba tartoztak azok, amelyeket tipikusan kisebb szilárdságú, úgy nevezett *hőszigetelő és teherhordó könnyűbetonokhoz* alkalmaznak, ahol a testsűrűség 1000-1600 kg/m³ és a betonszilárdság LC8/9 – LC20/22 (5. és 6. ábra) és amelyek már a *teherhordó könnyűbeton* kategóriájába tartoznak, de még nem nagyszilárdságúak, azaz a testsűrűségük 1600-2000 kg/m³ közötti, a betonszilárdság LC20/22 – LC50/55 (4. és 7. ábra) (MÉASZ ME-04.19:1995).



2. ábra Duzzasztott agyagkavics elektronmikroszkópos képe
Fig. 2. SEM picture of expanded clay aggregate



3. ábra Duzzasztott üvegekavics elektronmikroszkópos képe
Fig. 3. SEM picture of expanded glass aggregate



4. ábra Duzzasztott agyagkavics nyílt pórusokkal, teherhordó könnyűbetonokhoz
Fig. 4. Expanded clay aggregate with open pores for load bearing applications



5. ábra Duzzasztott agyagkavics nyílt pórusokkal, hőszigetelő és teherhordó könnyűbetonokhoz
Fig. 5. Expanded clay aggregate with open pores for thermal insulating and load bearing applications



6. ábra Duzzasztott üvegekavics nyílt pórusokkal, hőszigetelő és teherhordó könnyűbetonokhoz
Fig. 6. Expanded glass aggregate with open pores for thermal insulating and load bearing applications



7. ábra Duzzasztott üvegekavics zárt felülettel, teherhordó könnyűbetonokhoz
Fig. 7. Expanded glass aggregate with closed surface for load bearing applications

szs.	alapananyag	felület	szilárdsági kategória
1.	agyag	nyitott	hőszigetelő és teherhordó
2.	üveg	nyitott	hőszigetelő és teherhordó
3.	üveg	zárt	hőszigetelő és teherhordó
4.	agyag	nyitott	teherhordó
5.	üveg	zárt	teherhordó

1. táblázat A könnyű adalékanyagok kategóriái a vizsgálati szempontok szerint
Table 1. Categories of lightweight aggregates in view of load bearing and thermal insulating

4. Vizsgálatok

A vizsgálatokat az MSZ EN 12371:2002 szabvány szerint végeztük. A vizsgálat akkor alkalmazandó, ha építőkövek vagy jégolvasztó sózásnak ki nem tett beton fagyállóságát szeretnénk meghatározni. 100 vagy 150 mm élhosszúságú kockán, vagy ugyanekkora átmérőjű 1:1-es hengereken szabad elvégezni a vizsgálatot, a fagyasztott próbatestekkel azonos mintából származó referencia próbatestekkel. A próbatesteknek a vizsgálat alatt végig víztelített állapotban kell lenniük. Az adott ciklusszámú fagyasztást -20 °C-os légtérben, az olvasztást +20 °C hőmérsékletű vízben kell végezni.

150 mm élhosszúságú kockákat készítettünk 0-25-50-150 ciklus utáni vizsgálatra. A fagyasztásokat 28 napos korban kezdtük el. A próbatesteket 1 napon szalasztuk ki, ezt követően mésztelített víz alatt tároltuk. 28 napos korban megkezdjük a próbatestek fagyasztását. A referencia (0 ciklusú) próbatesteket a fagyasztások ideje alatt továbbra is víz alatt tároltuk a vizsgálatig. Ugyanígy tettünk a 25 és 50 ciklus után tovább már nem fagyasztott próbatestekkel is. Mindegyik próbatestet azonos időben törtük el a 150 ciklusos fagyasztást követően. A 28 napos szabványos vizsgálatához is készítettünk próbatesteket, hogy a szilárdsági osztály meghatározható legyen. A szilárdsági jeleket ez alapján adtuk meg, de a fagyasztás okozta szilárdságcsökkenést az azonos korú, törésig víz alatt tárolt próbatestek eredményeire vonatkoztattuk. A vizsgálatokat a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Anyagvizsgáló Laboratóriumában végeztük automata fagyasztógéppel (fagyállósági vizsgálatok) és Form+Test Alpha 3000 típusú törőgéppel (nyomószilárdság vizsgálatok).

5. Eredmények

A 2. táblázat és a 8. ábra tartalmazza a vizsgálati eredményeket.

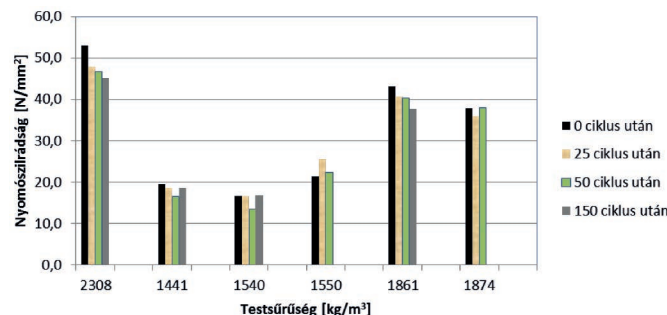
A vizsgálati eredmények alapján a következő megállapítások tehetők. A vizsgálatok során a hagyományos kvarckavics adalékanyag beton a szokott módon viselkedett, már 25 ciklus után 10% szilárdságcsökkenést tapasztaltunk, ami a 150. ciklusig folyamatosan nőtt 15%-ig. Ez az érték még megfelel a 150 ciklusos fagyállóság követelményeinek, de a nagy víz-cement tényező miatt nem igazán kedvező. Viszont látszik, hogy ettől a habarcsvázától milyen szilárdságcsökkenést várhatunk el a különböző fagyasztási ciklusok után. Ehhez hasonlíthatjuk a könnyű adalékanyag eseteket.

Amikor jelenős szilárdsággal (törési ellenállással) rendelkező, nyitott pórusú duzzasztott agyagkavicsot alkalmaztunk (4. összetétel), akkor hasonló jelenséget tapasztaltunk, mint kvarckavics

adalékanyag esetén, kicsit kedvezőbb számszerű értékekkel (25. ciklus után 6%, 150. ciklus után 13% szilárdságcsökkenéssel), de azonos tendenciával. A fagyállóság vizsgálatok jelentős része a szakirodalomban ilyen típusú adalékanyagra vonatkozik, így nem tekintettük az esetet egy vizsgálandó problémának.

szs.	beton / könnyűbeton szilárdsági osztálya	beton / könnyűbeton testsűrűsége [kg/m ³]	nyomószilárdság (átlag érték) [N/mm ²] és [%] adott ciklusú fagyasztás-olvasztás után			
			0	25	50	150
0.	C30/37	2308	53,0	47,9	46,7	45,1
				90%	88%	85%
1.	LC12/13	1441	19,6	18,7	16,6	18,6
				95%	85%	95%
2.	LC8/9	1540	16,6	16,6	13,4	16,8
				100%	81%	101%
3.	LC12/13	1550	21,4	25,5	22,3	0
				119%	104%	–
4.	LC25/28	1861	43,1	40,6	40,4	37,7
				94%	93%	87%
5.	LC20/22	1874	37,9	35,9	38,0	n.a.
				95%	100%	n.a.

2. táblázat A fagyasztásvizsgálat szilárdsági eredményei
Table 2. Compressive strength results for the freeze-thaw testing



8. ábra A fagyasztásvizsgálat eredményei
Fig. 8. Results of the freeze-thaw tests

Amikor nagyon kis szilárdságú adalékanyaggal dolgozunk, akkor az adalékanyag teherhordásának szerepe kisebb. Tipikusan hőszigetelő és teherhordó könnyűbetonokról van szó, például lapostetők lejtést adó rétegénél. Azonban itt sem engedhető meg, hogy a fagy tönkretégye a szerkezetet egy esetleges szigetelési hiba, beázás során. Nem alkalmaznak jégolvasztó sózást, tehát az általunk alkalmazott vizsgálat típus lehet indokolt. Néhány ilyen vizsgálat során és az itt tipikus kis ciklusszám (25 ciklus) esetén többször tapasztaltunk szilárdságnövekedést, amit gyakran mérési hibának tudnak be. Viszont most célzott vizsgálatokkal ellenőriztük, hogy a nagyon könnyű, nagy és nyílt pórusú könnyű adalékanyagok alkalmazása esetén (mind agyag – 1. összetétel, mind üveg alapanagnál – 2. összetétel) a fagyasztásos vizsgálatok során a 25. és a 150. ciklus után mérhető szilárdságcsökkenés minimális (5% alatti). Viszont mindkét vizsgált esetben az 50. ciklus után észleltük a legkisebb szilárdságot, ez a fagyállónak minősíthetőség határán volt (15-19% szilárdságcsökkenéssel). Ezeket a vizsgálatokat érdemes lehet széles körben és nagy mintaszámmal folytat-

ni, továbbá fizikai vagy kémiai magyarázatot keresni a jelenségre, analitikai és képpalkotó eljárások igénybevételével.

A porózus könnyű adalékanyagok felülete a gyártás során el-látható bevonattal, ami jelentősen lecsökkenti a vízfelvételt. Duzzasztott üvegkavicsok esetén találkozhatunk ilyen könnyű adalékanyagokkal. Ez előnyös a keverés, bedolgozás, szivattyúzás szempontjából. Hátrányként a rosszabb felületi kapcsolat ismert [8]. Az általános alkalmazási terület a teherhordó és a nagyszilárdságú könnyűbetonok területe, ahol igen nagy szilárdságú és tömörségű habarcsvázalattal együtt alkalmazzák, így itt korábban nem merültek fel fagyállósági problémák. Előfordulnak esetek, amikor a nagy szilárdság nem követelmény, de szivattyúzni szeretnék a betont és ezért választanak zárt felületű adalékanyagot. A kísérleteink során viszont nagy víz-cement tényezőjű habarcs-vázban azt tapasztaltuk, hogy a kis szilárdságú, de zárt pórusú duzzasztott üveg adalékanyag beton 25 és 50 ciklus után szilárdságnövekedést mutatott, majd a 100 és 150. ciklus közötti idő-szakban olyan mértékben szétfagyott, hogy már nem volt vizsgálható a próbatest. A szintén zárt felületű, nagyobb testsűrűségű és nagyobb szilárdságú duzzasztott üveg adalékanyagból nem készült elegendő próbatest, így nincs információnk a 150 ciklus utáni állapotról. Ennek az adalékanyagnak időközben megszűnt a gyártása, így nem volt lehetőség ismételt kísérletre sem.

6. Jövőbeni kutatási lehetőségek

Érdekes lehet a vizsgálatokat további, a cikkben említett csoportokba sorolható, több különböző gyártótól származó adalékanyagokon elvégezni, illetve ugyanezen adalékanyag-típusoknál a fagyhámítás vizsgálatokkal összehasonlítani az eredményeket [5], illetve részletesen magyarázatot keresni a nyitott pórusú, kis szilárdságú adalékanyagok viselkedésre.

Természetesen számos más könnyű adalékanyag is létezik. Egy jelentős csoport, amit még érdemes a későbbiekben ilyen összehasonlításban is megvizsgálni, mivel korábbi vizsgálatok alapján eltérően viselkednek a „direkt könnyű adalékanyagok gyártott” duzzasztott termékektől a hulladékból készülő betonok (tégla-zúzalék, pórusbeton-zúzalék adalékanyagok [9,10,11] vagy a nagyon rugalmasan viselkedő így pl. fagyhámításos vizsgálatok-nál nagyon jó eredményt adó polisztirolgyöngy adalékanyag.

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a Duna-Dráva Cement Kft.-nek, a Liabau Kft.-nek Biotech Hungária Kft.-nek és a Geofil Kft.-nek, hogy biztosította számunkra a kísérletekhez szükséges alapanyagokat. Köszönöm Tóth Juditnak (SZIKKTI) az elektronmikroszkópos képek elkészítését.

A kísérletekhez egyes anyagok beszerzése az OTKA K 109223 kutatási programból valósult meg, amelyért köszönetet mondok.

Felhasznált irodalom

- [1] Kollár, L. (1997): Vasbetonszerkezetek I., *Műegyetemi Kiadó*, Budapest
- [2] Ujhelyi, J. (1960): A könnyűadalékos beton fajtái összetételének tervezése és a beton készítése, (Mérnöki Továbbképző Intézet 3797), *Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat*, Budapest
- [3] Junfang, H. – Hui, Y. – Xiangdong, S. et al. (2011): Experimental study on frost resistance durability of lightweight aggregate concrete in Na_2SO_4 solution. *International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Processes, Shenzhen, Book Series: Advanced Materials Research*, Vol. 152-153, pp. 1565-1569.
- [4] Benedek, B. – Nemes, R. – Józsa, Zs. – Migály B. (2010): Ideiglenes pályaburkolat a Margit hidon könnyűbetonból *Beton*, Vol. 18, No. 7-8, pp. 3-8.
- [5] Nemes, R. (2015): Surface properties of lightweight aggregate concrete and its correlation with durability, *Materials Science Forum*, Vol. 812, pp. 207-212. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.812.207>
- [6] Jize, M. – Koichi, A. – Hui, Q. et al. (2010): Analysis of Freeze-Thaw Damage of Lightweight Aggregate Concrete, *8th International Conference on Fracture and Damage Mechanics, Malta, Book Series: Key Engineering Materials*, Vol. 417-418, pp. 829-832.
- [7] Lixiong, G. – Lijuan, K. – Yong, G. (2011): Water Absorbing and Releasing of Lightweight Aggregate and its Influence on Frost-Resistance of Combined Aggregate Concrete. *1st International Conference on High Performance Structures and Materials Engineering, Beijing, Book Series: Advanced Materials Research*, Vol. 217-218, pp. 51-56.
- [8] Józsa, Zs. – Nemes, R. (2002): Bond of a New Recycling Glass Lightweight Aggregate In: Balázs, G. L., Bartos, P. J. M., Cairns, J., Borosnyói, A. (szerk.) Bond in Concrete – from research to standards: *Proceedings of the 3rd International Symposium Budapest*, pp. 420-427.
- [9] Fenyvesi, O. – Kenéz, Á. – Kovács, É. – Rácz, A. (2014): Szerkezeti könnyűbeton előregyártott hídszerkezeti elemekhez. *XVIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia. Csíksomlyó, Románia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT)*, pp. 149-152.
- [10] Fenyvesi, O. – Jankus, B. (2014): Design burkolat újrahasonosított pórusbeton hulladékból In: Török Á; Puzder T; Cserny T (szerk.) *Meddő? Hulladék? Nem! Haszonanyag! Hantken Kiadó*, pp. 119-129.
- [11] Jankus, B. – Fenyvesi, O. – Józsa Zs. (2013): Újrahasonosított pórusbeton adalékanyagként való alkalmazhatósága könnyűbetonban *XVII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia. Csíksomlyó, Románia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT)*, pp. 140-145.

Hivatkozott szabványok és irányelvek

- MSZ CEN/TS 12390-9:2006 Testing hardened concrete. Freeze-thaw resistance. Scaling
- MÉÁSZME-04.19:1995 Beton és vasbeton készítése, 14. fejezet Könnyűbetonok
- MSZ 4798-1:2004 Beton 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon 2004
- MSZ EN 12371:2002 Természetes építőkövek vizsgálati módszerei A fagyállóság meghatározása

Ref.:

Nemes, Rita: *Könnyűbetonok fagyasztásvizsgálatának érdekességei* Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 1 (2015), 24–27. p. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.5>

STREMAH 2015
13 – 15 July 2015 A Coruña, Spain

14th International Conference on Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture

wessex.ac.uk/stremah2015