

Újrahasznosított betonok tűzállósága

Fire resistance of recycled aggregate concrete

Dr. HLAVIČKA Viktor, adjunktus
ANNUS Roland, BSc hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Építőanyagok és Magasépítés tanszék, 1111 Budapest Műegyetem rakpart 3.
hlavicka.viktor@emk.bme.hu

Abstract

In the present study, we investigated recycled concrete's residual compressive and flexural tensile strength after high temperatures. In the experiment, concrete mixtures were prepared using three different water/cement ratios and then crushed into concrete aggregate. Then, we used the concrete aggregate to make recycled concrete mixes. Our research aimed to answer the question of the effect on the fire resistance of recycled concrete made from concrete aggregate when the water/cement ratio of the original concrete is greater than or equal to the v/c used for recycled concrete.

Keywords: recycled aggregate concrete (RAC), high temperature, fire

Kivonat

Jelen kutatásunkban zúzott beton adalékanyag felhasználásával készült, újrahasznosított betonok magas hőmérséklet utáni nyomó- és hajlító-húzószilárdságát vizsgáltuk. A kísérlet során három különböző víz/cement tényezőjű szokványos betonkeveréket készítettünk, amit aztán betonzúzalékká aprítottunk. A betonzúzalék felhasználásával elkészítettük az újrahasznosított betonkeverékeket. Kísérletünkkel arra kerestük a választ, hogy milyen hatással van a betonzúzalékból készült újrahasznosított beton tűzállóságára, ha az eredeti beton víz/cement tényezője nagyobb vagy megegyező az újrahasznosított betonnál használt víz/cement tényező értékével.

Kulcsszavak: újrahasznosított beton, magas hőmérséklet, tűz

1. BEVEZETÉS

Az építőipar egyik legnagyobb mennyiségben használt anyaga a beton. Amiből mind a szerkezetépítés, mind a közmű vagy infrastruktúra építés területén kiemelkedően nagy mennyiséget állítunk elő és építünk be. A Global Cement and Concrete Association felmérése alapján 2020-ben a világ összes beton előállítására 14 milliárd m³ volt [1]. A beton építőanyag előállításához alapvetően cementet, vizet és adalékanyagot használunk fel. Az évi több milliárd beton előállításához így jelentős mennyiségű cement gyártására és adalékanyag kitermelésére van szükség. Nem csoda, hogy a betonhoz szükséges adalékanyag bányászat a világ egyik legnagyobb mennyiségben bányászott ásványi anyaga lett. Csak Európában (EU+EFTA) 2019-ben a beton előállításához kitermelt adalékanyag (bányászattal vagy kotrással) mennyisége 2644 millió tonna volt [2]. Könnyen belátható, hogy ez a mennyiségű természetes adalékanyag felhasználás hosszútávon nem fentartható. Ezért a jövőben a természetes adalékanyag bizonyos mennyiségű kiváltására lesz szükség.

Az építőipar napjainkban is zajló modernizációja a nagyfokú digitalizálás és robotizálás mellett egyre nagyobb hangsúlyt szentel az alkalmazott anyagok körforgásának biztosítására. Ezért a beton esetén is egyre nagyobb az elvárás a beton anyagának bontás utáni újra felhasználására. Erre az egyik legelterjedtebb módszer a betonzúzalék adalékanyagként való felhasználása új vasbetonszerkezetek esetén. Ezzel is mérsékelve a természetes adalékanyagok kitermelésének igényét. Ennek hatásaként az éves statisztikai adatokból is jól látható, hogy Európában évről évre egyre nagyobb százalékban kerül felhasználásra újrahasznosított beton adalékanyag. Egyes országok esetén ez az arány már most kiemelkedően magas: Belgium 29,33%, Hollandia 24,73%, Nagy Britannia 23,86%, Franciaország 16,79%, Németország 12,41% [3].

A nyersanyag készletek fokozatos kimerüléséből, az európai tendenciából, és az építőipar szemléleteinek fokozatos átalakulásából prognosztizálható, hogy Magyarországon is egyre nagyobb mennyiségben kerül majd felhasználásra újrahasznosított beton adalékanyag.

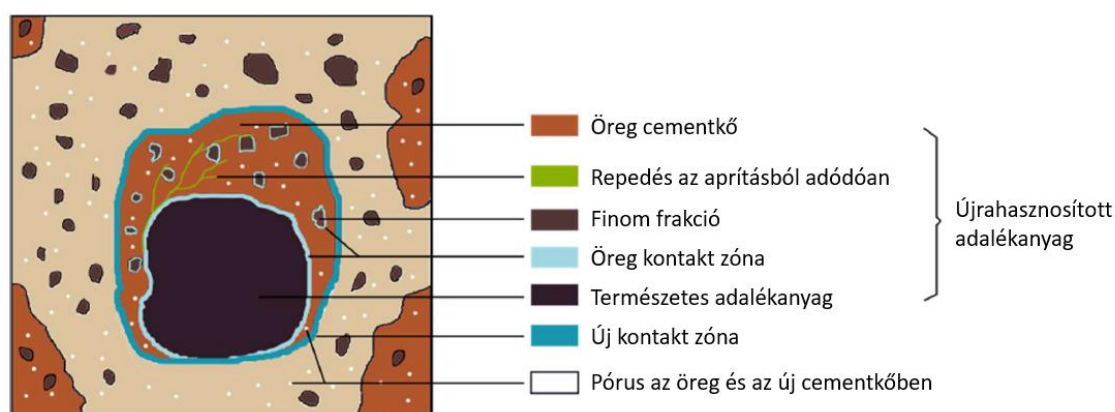
Megfelelő válogatás, és adalékanyag vizsgálat mellett hazai és nemzetközi tapasztalatok alapján ma már képesek vagyunk újrahasznosított beton adalékanyag felhasználásával az eredetihez képest legalább ugyan olyan, de akár jobb szilárdságú betont is előállítani [4], [5], [6]. Az erőtani szilárdság mellett azonban a betonnak a tartóssági követelményeknek is meg kell felelnie, mint pl. a szélsőségesen magas vagy alacsony hőmérsékleten, vagy kémiaiag agresszív közegben való ellenállás.

A vasbeton szerkezetek magas hőmérsékleten való ellenállásának fontosságára az utóbbi évek jelentős tüzesetei is felhívták a figyelmet: Gotthard alagút (2001); Grenfell Tower, London (2017); Torch Tower, Dubai (2017).

A vasbeton szerkezetek tűzállóságát elsősorban a választott cement és különböző kiegészítő anyagok határozzák meg (metakaolin, kohósalak, műanyag szál) [7]. Azonban korábbi kutatások alapján az is látható, hogy beton magas hőmérséklet hatására történő szilárdságváltozására az adalékanyag típusának is jelentős hatása van [8]. Újrahasznosított beton adalékanyag használata esetén az eredeti beton paraméterei hatással lesznek az újrahasznosított beton tűzállóságára. Azonban ezek a hatások teljeskörűen még nem ismertek.

2. PROBLÉMAFELVETÉS

A beton zúzásából készülő adalékanyag részben az eredeti betonban felhasznált adalékanyagból, részben pedig az eredeti beton cementkövéből áll. Amennyiben ez a zúzott beton adalékanyag újra felhasználásra kerül akkor az új beton szerkezetében jelen lesz a régi beton adalékanyaga és cementköve továbbá az új beton cementköve is (1. ábra). Így az új beton részben megkaphatja az eredeti beton tulajdonságait is.



1. ábra. Zúzott beton adalékanyag az újrahasznosított betonban [6]

A beton tűzállóságát elsődlegesen a cementkő és az adalékanyag felületén létrejövő kontakt zóna (ITZ) viselkedése határozza meg. 150 °C felett a kontakt zónában repedések keletkezhetnek, amit az adalékanyag és cementkő különböző hőtágulásával magyarázhatunk. A cementkőben a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bomlása 500 °C-on, a kalcium-szilikát-hidrát (CSH) bomlása 700 °C-on következik be. Aminek hatására a beton szilárdsága csökken [9].

A zúzott beton felhasználásával készülő újrahasznosított betonok esetén belátható, hogy a betonban növekszik a cementkő és az adalékanyag felületén létrejövő kontakt zóna össz mennyisége, ami az újrahasznosított betonok esetén problémát okozhat magas hőmérséklet esetén.

Jelen kutatásunkban arra kerestük a választ, hogy milyen hatással van a betonzúalékból készült újrahasznosított beton tűzállóságára, ha az eredeti beton víz/cement tényezője (v/c) nagyobb vagy megegyező az újrahasznosított betonnál használt v/c tényező értékével. Ezzel közelítve azt az állapotot, amikor az újrahasznosított betonba bevitt többlet cementkő, eltérő mértékben növekszik.

3. KÍSÉRLET BEMUTATÁSA

A kutatás során kezdetben három eltérő v/c tényezőjű szokványos betonkeveréket készítettünk. A betonkeverék receptúráit az 1. táblázat foglalja össze. A betonkeverékekhez folyami kotrásból származó homokot, és kvarckavicsot, továbbá CEM I 52,5 N cementet használtunk. A receptúrák összeállításánál arra törekedtünk, hogy az adalékanyag váz mind a három keveréknél ugyan az legyen. Ezért a v/c tényező változtatásához csak a víz és a cement adagolásán változtattunk.

1. táblázat: A kiindulási (N1-N3) és az újrahasznosított (Ú1-Ú3) betonkeverékek (az értékek 1 m³ betonkeverékre vonatkoznak)

		N1	N2	N3	Ú1	Ú2	Ú3
Adalékanyag [kg/m ³]	homok 0/4	782	782	782	-	-	-
	kvarc kavics 4/8	1037	1037	1037	-	-	-
	betonzúzalék N1 0/4	-	-	-	703	-	-
	betonzúzalék N1 4/8	-	-	-	931	-	-
	betonzúzalék N2 0/4	-	-	-	-	702	-
	betonzúzalék N2 4/8	-	-	-	-	930	-
	betonzúzalék N3 0/4	-	-	-	-	-	688
	betonzúzalék N3 4/8	-	-	-	-	-	912
Cement [kg/m ³] (CEM I 52,5 N)		390	448	345	345	345	345
Víz [kg/m ³]		175,5	156,8	189,8	189,8	189,8	189,8
v/c		0,45	0,35	0,55	0,55	0,55	0,55

A kiindulási keverékeken 28 napos korban különböző szilárdsági vizsgálatokat végeztünk, majd pofás törő segítségével a beton próbatesteket betonzúzalékká aprítottuk. A betonzúzalékon szemeloszlási, testsűrűségi és vízfelszívási vizsgálatokat végeztünk, majd szétszittaltuk 0/4 mm és 4/8 mm frakciókra.

A következő fázisban a betonzúzalék felhasználásával elkészítettük az újrahasznosított betonkeverékeket. A kutatás során most egy szélsőséges állapotot vizsgáltunk, ahol az újrahasznosított betonkeverékek 100%-ban zúzott beton felhasználásával készültek. Az újrahasznosított betonkeverékek receptúráit a 1. táblázat foglalja össze. Az újrahasznosított betonkeverékek v/c tényezője 0,55 volt. Az újrahasznosított betonkeverékeket kiegészítettük egy referencia keverékkel is (R) aminek a receptúrája megegyezett az N3 keverék receptúrájával.

Az újrahasznosított betonkeverékek és a referencia keverék próbatestjeit 28 napos korban hőterheltük. A hőterheléshez elektromos kemencét használtunk. A kemencék felfűtési sebessége megközelítette, de alul maradt a szabványos ISO tűzgörbe [10] felfutásától. A próbatesteket a normál hőmérséklet (20 °C) mellett 4 különböző hőlépcsőben vizsgáltuk (150, 300, 450, 600 °C). Minden hőlépcsőben az adott hőmérséklet elérése után két óra hőntartás következett, majd a próbatestek lassan, a kemencével együtt hűltek vissza a kiindulási, 20 °C-os hőmérsékletre. Hőlépcsőnként 3-3 db próbatest volt vizsgálva.

4. EREDMÉNYEK

4.1 Kiindulási betonkeverékek

A kiindulási betonkeverékeken nyomószilárdság és hajlító-húzószilárdság vizsgálatokat végeztünk a hatályos szabványok alapján [11], [12]. A kutatás során a keverékek nyomószilárdságát két féle képen is meghatároztam. Normál hőmérsékleten 150x150x150 mm élhosszúságú kockákon, és a hajlító vizsgálat után megmaradt félhasábokon, 70x70 mm területű acél nyomólapokat használva. A hőterhelt betonok esetén csak a félhasábokon történt a nyomószilárdság meghatározása. A kiindulási betonkeverékeken mért szilárdsági és testsűrűségi értékeket a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: A kiindulási betonkeverékeken és a belőlük készült zúzalékon mért értékek (minden érték 3 mérés átlaga)

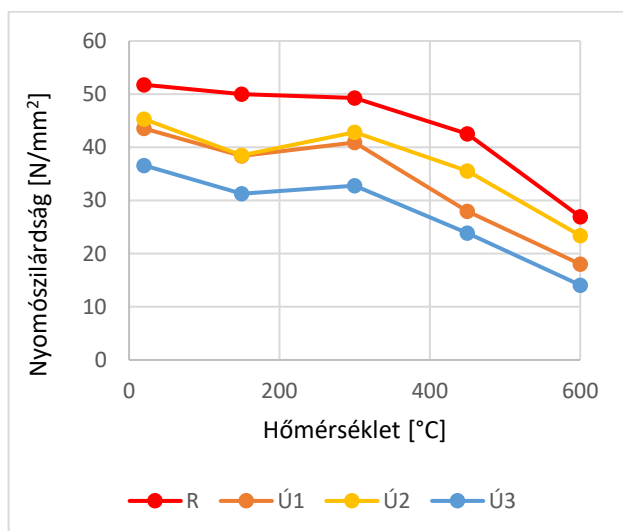
Keverékek	Nyomószilárdság [N/mm ²]		Hajlító-húzószil. [N/mm ²]	Beton testsűrűség [kg/m ³]	Betonzúzalék testsűrűség [kg/m ³]
	Kocka	Fél hasáb			
N1	73,4	73,8	8,36	2338	2374
N2	84,9	87,3	8,54	2373	2371
N3	65,1	66,6	7,33	2345	2324
R	54,9	51,8	7,28	2292	-
Ú1	40,5	43,5	5,59	2092	-
Ú2	47,8	45,3	4,90	2164	-
Ú3	37,6	36,6	4,05	2073	-

A kiindulási betonkeverékek szilárdsági eredményeiből látható, hogy a vártnak megfelelően a kisebb v/c érték nagyobb szilárdságot eredményezett. A kockákon mért nyomószilárdság és a felhasábban mért nyomószilárdság értékei közel megegyeznek. Így megállapítható, hogy a félhasábban mért értékek is jól reprezentálják a keverékek nyomószilárdságát. A testsűrűség értékekből kijelenthető, hogy a betonzúzalék szemcsék testsűrűsége közel azonos volt a kiindulási beton testsűrűségével, így az aprítás során jelentősen nem sérültek.

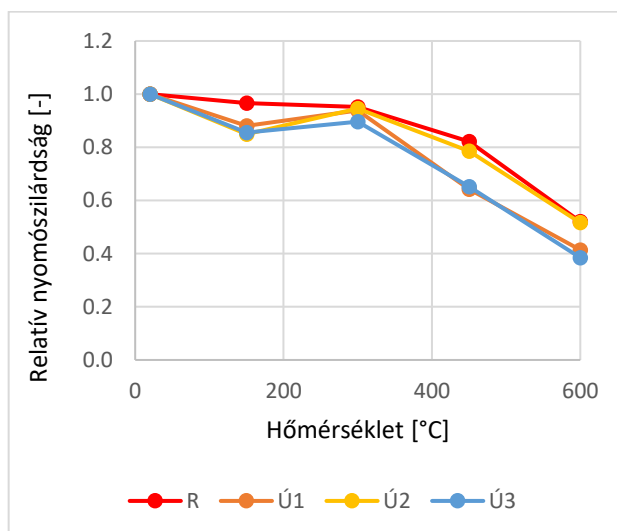
4.2 Újrahasznosított betonkeverékek

Az újrahasznosított betonkeverékeken és a referencia keveréken normál hőmérsékleten (20 °C) mért szilárdsági és testsűrűségi értékeket a 2. táblázat foglalja össze. Az újrahasznosított betonok nyomó és hajlító-húzószilárdsága is alulmaradt a referencia betonhoz (R) képest. Azonban az eredmények alapján az is jól látható, hogy minél nagyobb volt a beton szilárdsága, amiből a betonzúzalék készült, annál nagyobb lett az újrahasznosított beton szilárdsága is.

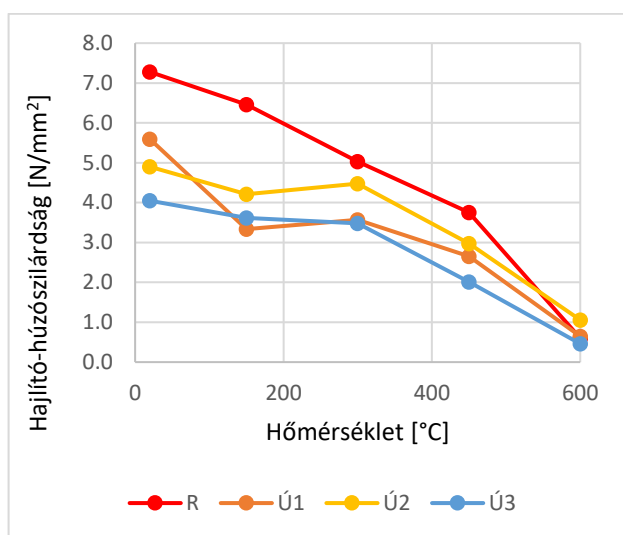
Az újrahasznosított betonok nyomó- és hajlító-húzószilárdságát hőterhelés után, visszahűlt állapotban vizsgáltuk. A hőterhelt betonok esetén csak a félhasábokon történt a nyomószilárdság meghatározása. A hőterhelés utáni nyomószilárdság eredményeket a 2. ábra, a relatív nyomószilárdsági eredményeket a 3. ábra, míg a hőterhelés utáni hajlító-húzószilárdság eredményeket a 4. ábra, a relatív hajlító-húzószilárdsági eredményeket a 5. ábra foglalja össze



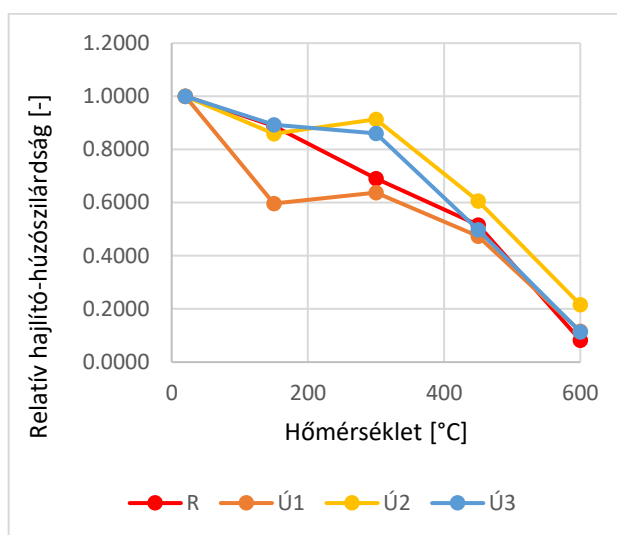
2. ábra. Maradó nyomószilárdság a hőterhelés után (minden érték 3 mérés átlaga)



3. ábra. Maradó relatív nyomószilárdság a hőterhelés után (minden érték 3 mérés átlaga)



4. ábra. Maradó hajlító-húzószilárdság a hőterhelés után (minden érték 3 mérés átlaga)



5. ábra. Maradó relatív hajlító-húzószilárdság a hőterhelés után (minden érték 3 mérés átlaga)

Hőterhelés utáni maradó nyomószilárdságok esetén megállapítható, hogy 150 °C-nál minden esetben egy mélypont figyelhető meg, amit aztán újabb nyomószilárdság emelkedés követ egész 300 °C-ig. A szilárdság csökkenés a víztartalom távozásának következménye. Ez a mélypont az újrahasznosított betonok esetén jelentősebb a referencia betonhoz képest. Aminek magyarázata a nagyobb kezdeti víztartalom. A nyomószilárdság emelkedés jelensége a szemcsék záródásának hatásával magyarázható: kevésbé magas hőmérsékleten a cementkö dehidratációjából származó szilárdságvesztést az adalékszemek hőtágulásából származó szemcse záródás hatása kismértékben egyensúlyozni tudja [13], [14]. 300 °C után a nyomószilárdság értéke rohamosan csökken. A relatív nyomószilárdság értékeket bemutató ábrán (3. ábra) jól látható, hogy ez a csökkenés újrahasznosított betonok esetén jelentősebb. Ez azt bizonyítja, hogy a kezdeti feltételezésünknek megfelelően az újrahasznosított betonok hőtűrése rosszabb, mint a kvarc adalékanyagú betonoknak.

A maradó hajlító-húzószilárdság eredmények esetén nem ütközik ki annyira a referencia és az újrahasznosított betonok közti különbség. Ennek oka lehet, hogy szokványos betonok esetén is a hajlító-húzószilárdság értéke hőterhelés következtében már 100 °C felett jelentősen csökken [15]. Azonban az újrahasznosított betonok esetén a zúzott szemcsék alakja pozitív hatással lehet a hajlító-húzószilárdság értékére, ami kismértékben ellensúlyozni tudja a leromlás hatását.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen kutatásunkban arra kerestük a választ, hogy milyen hatással van a betonzúzalékból készült újrahasznosított beton tűzállóságára, ha az eredeti beton víz/cement tényezője (v/c) nagyobb vagy megegyező az újrahasznosított betonnál használt v/c tényező értékével.

A vizsgálat alapján a következő megállapításokra jutottunk:

- Az újrahasznosított betonok nyomó és hajlító-húzószilárdsága is alulmaradt a referencia betonhoz képest. Azonban az eredmények alapján az is jól látható, hogy minél nagyobb volt a beton szilárdsága, amiből a betonzúzalék készült, annál nagyobb lett az újrahasznosított beton szilárdsága is.
- Hőterhelés utáni maradó nyomószilárdságok esetén megállapítható, hogy 150 °C-nál minden esetben egy mélypont figyelhető meg, amit aztán újabb nyomószilárdság emelkedés követ egész 300 °C-ig. Ez a mélypont az újrahasznosított betonok esetén jelentősebb a referencia betonhoz képest. Aminek magyarázata a nagyobb kezdeti víztartalom.
- 300 °C után a nyomószilárdság értéke rohamosan csökken. A csökkenés tendenciája újrahasznosított betonok esetén jelentősebb. Ez azt bizonyítja, hogy a kezdeti feltételezésünknek megfelelően az újrahasznosított betonok hőtűrése rosszabb, mint a kvarc adalékanyagú betonoknak.
- A maradó hajlító-húzószilárdság eredmények esetén nem ütközik ki annyira a referencia és az újrahasznosított betonok közti különbség.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munkát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) OTKA (PD 146109) pályázata támogatta.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Global Cement and Concrete Association, „CEMENT AND CONCRETE AROUND THE WORLD”. Elérés: 2023. április 10. [Online]. Elérhető: <https://gccassociation.org/concretefuture/cement-concrete-around-the-world/>
- [2] European Aggregates Association, „Annual Review 2020-2021”. Elérés: 2023. április 10. [Online]. Elérhető: https://uepg.eu/mediatheque/media/Final_-_UEPG-AR2020_2021-V05_spreads72dpiLowQReduced.pdf
- [3] European Aggregates Association, „Annual Reviews”. Elérés: 2023. április 10. [Online]. Elérhető: <https://uepg.eu/mediatheque/index/1.html>
- [4] O. Czoboly, „A beton újrahasznosíthatósága adalékanyagként”. Elérés: 2023. április 11. [Online]. Elérhető: <https://www.btclabor.hu/hu/beton-ujrahasznositas>
- [5] K. McNeil és T. H. K. Kang, „Recycled Concrete Aggregates: A Review”, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, köt. 7, sz. 1. Korea Concrete Institute, o. 61–69, 2013. március 1. doi: 10.1007/s40069-013-0032-5.
- [6] B. Wang, L. Yan, Q. Fu, és B. Kasal, „A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete”, *Resources, Conservation and Recycling*, köt. 171. Elsevier B.V., 2021. augusztus 1. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105565.
- [7] fib BULLETIN 38, *Fire design of concrete structures - materials, structures and modelling*. Sprint-Digital-Druck, 2007.
- [8] V. Hlavička, L. E. Hlavicka-Laczák, és É. Lublőy, „Residual fracture mechanical properties of quartz and expanded clay aggregate concrete subjected to elevated temperature”, *Constr Build Mater*, köt. 328, ápr. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126845.
- [9] G. L. Balázs és mtsai., „TŰZ HATÁSAI A BETON SZERKEZETÉRE – Helyzetfelmérő jelentés”, *VASBETONÉPÍTÉS*, köt. 19, sz. 2, o. 26–32, 2017.
- [10] ISO 834-1, „Fire-resistance Tests – Elements of building construction, Part 1: General requirements”, 1999.
- [11] MSZ EN 12390-3, „A megszilárdult beton vizsgálata – A próbatestek nyomószilárdsága”, 2009.
- [12] MSZ EN 12390-5, „A megszilárdult beton vizsgálata - A próbatestek hajlító-húzószilárdság vizsgálata”, 2009.
- [13] É. Lublőy, „Tűz hatása a betonszerkezetek anyagaira”, PhD értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, PhD értekezés, 2008.
- [14] S. Sólyom, M. Di Benedetti, M. Guadagnini, és G. L. Balázs, „Effect of temperature on the bond behaviour of GFRP bars in concrete”, *Compos B Eng*, o. 107602, nov. 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.107602.
- [15] MSZ EN 1992-1-2, „Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése, 1-2. rész: Általános szabályok. Szerkezetek tervezése tűzhatásra”, 2013.