

I. évfolyam, 2. szám – 2016. június

Lublóy Éva

SZÁLERŐSÍTÉSŰ BETONOK ALKALMAZÁSA A TŰZVÉDELEMBEN

Absztrakt

A betonfelület réteges leválása a mentési és a tűzoltási folyamatokat is lényegesen lassítja, ezért a betonfelület réteges leválását meg kell akadályozni. A betonfelületek réteges leválásának esélyét szálerősítésű betonok alkalmazásával lehet csökkenteni. A szálerősítésű betonok alkalmazása során azonban a beton maradó nyomószilárdságának változását figyelemmel kell kísérni. Kutatásom során a szálerősítésű betonok maradó nyomószilárdságát, valamint a beton felületének változását vizsgáltam hőterhelés után labor hőmérsékletre visszahűtött állapotban.

Kulcsszavak: Magas hőmérséklet, tűz, szálerősítésű beton, polypropilén szál, acélszál

EFFECTIVENESS OF FIBRES IN CONCRETE DUE TO FIRE

Abstrakt

Recent fire cases indicated again the importance of fire research. Fast development of construction technology requires new materials. Initiation and development of fire are strongly influenced by the choice of construction materials. In addition to their mechanical properties, their behaviour in elevated temperature is also of high importance. Residual compressive strength of concrete exposed to high temperatures is influenced by the following factors (Thielen, 1994): water to cement ratio, cement to aggregate ratio, type of aggregate, water content of concrete before exposing it to high temperatures and the fire process. Therefore, mix design and composition of concrete is of high importance for high temperatures. Our test results indicated that the advantageous influence of polypropylene and steel fibres in concrete subjected to high temperatures is mainly available for thin fibres and not for thick fibres. Strength reduction and surface cracking are detailed for the tested various fibre reinforced concretes

Keywords: high temperature, fire, residual strength, polypropylene fibres, steel fibres

1. SZÁLERŐSÍTÉSŰ BETON

A szálerősítésű anyagok megjelenése régmúlta nyúlik vissza, már az egyiptomiak is állati eredetű szőrszálakat és szalmát keverték az agyaghoz, hogy annak tartósságát és szívósságát fokozzák. A betonba való szálerősítések alkalmazásának kezdete az 1800-as évek végére tehető, amikor Berand (1874) fémhulladékot adagolt a betonhoz. A szálerősítés alkalmazásának elterjedése és a szálak betonban való viselkedésének a vizsgálatai párhuzamosan folytak. 1910-ben Porter már kísérletezett acélszál erősítésű betonnal, majd 1914-ben Fricklin szabadalmaztatta a vasszögekkel erősített betonját. 1938-ban szintén szabadalmaztatta Zitkewic a lággyvas drótdarabokkal erősített eljárást [1].

A szálerősítés tudományos alapjainak megszületése Roumaldi és Batson valamint Mandel [2,3] nevéhez köthető, akik 1960-as évek környékén végeztek kutatásokat acélszál erősítésű betonokkal. Első ízben a száltávolság és szálorientáció hatásaival foglalkoztak. Magyarországon az előre gyártott csatornacsöveknél első ízben a Mélyépítő Vállalat 1972-ben alkalmazott először szálerősítésű betont.

A szálerősítésű betonokat anyaguk szerint 4 fő csoportba osztályozza az ACI [4] a szálakat **(1 táblázat)**. A polipropilén szálakat a geometriai méretük alapján további két fő csoportja osztja:

- mikro szálak szálak 0,30 mm átmérő alatt
- makro szálak 0,30 mm átmérő felett.

A mikro szálak a beton kötésének kezdetekor játszanak döntő szerepet a kezdeti repedések kialakulásának megakadályozásában és ezután a hatásuk szinte elhanyagolható, a makroszálak pedig a már megszilárdult betont teszik duktilisabbá a repedések megjelenése után.

1. táblázat: A szálerősítésű betonok csoportosítása [1]

ACI 544					
SFRC acélszálak	GFRC üvegszálak	SNFRC szintetikus és karbon	NFRC természetes		
	- alkáliálló - nem alkáliálló	Ia) monoszálak Ib) fibrillált szálak	- sziszálkender - kókusz - cukornád - stb.	Class I MIKRO $d < 0,30$ mm	BS EN 14889
különböző alakú acélszálak	- alkáliálló	II) különböző alakú szintetikus és karbonszálak		Class II MAKRO $d > 0,30$ mm	

Napjainkban folyamatosan bővül a szálerősítésű betonoknak alkalmazása. A gyakorlatban 3 féle anyagú száltípust alkalmaznak, acél műanyag és üveg szálakat. Egyre biztatóbb kísérletek és felhasználási eredmények születnek szénszálak és oxidált szálak alkalmazásával, köszönhetően a rendkívül magas szakítószilárdságának és neméghetőségüknek amelyet már elterjedten oxigén

indexszel (LOI) adnak meg [5]. Az oxigén index értéket akár 40-70 is lehetnek, amelyek vitathatatlanul a kompozitnak minősülő betonok tűzzel szembeni ellenállóképességére utal [6].

2. SZÁLERŐSÍTÉS HATÁSA A TŰZÁLLÓSÁGRA

A hőmérséklet emelkedésével a beton szilárdsági jellemzői romlanak, sőt a beton a lehűlés után sem nyeri vissza eredeti tulajdonságait, jellemzőit, mivel a hőterhelés hatására a beton szerkezetében visszafordíthatatlan folyamatok mennek végbe, a beton szerkezete megbomlik, tönkremegy. Ez nem csak statikai problémát jelenthet, de a tűz eloltására kirendelt tűzoltó erők tevékenységét is korlátozhatja, a beavatkozókra veszélyt jelenthet. Ennek ismerete elengedhetetlenül fontos, hiszen a beavatkozásért felelős vezetőnek csupán néhány perc áll rendelkezésére a döntéseinek meghozatalához, amely során mind a biztonságra, mind a szakmailag hatékony beavatkozásra oda kell figyelnie [7,8].

A betonszerkezetek tönkremenetele alapvetően két okra vezethető vissza [9]

- (1) a beton alkotóelemeinek kémiai átalakulására,
- (2) a betonfelület réteges leválására.

2.1. A beton kémiai és fizikai változása hőterhelés hatására

A beton szilárdsági tulajdonságainak változása magas hőmérsékleten függ [10]:

- a cement típusától,
- az adalékanyag típusától,
- a víz-cement tényezőtől,
- az adalékanyag-cement tényezőtől,
- a beton kezdeti nedvességtartalmától,
- a hőterhelés módjától.

100°C körül a tömegvesztés a makro-pórusokból távozó víz okozza. Az ettringit ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$) bomlása 50 °C és 110 °C között következik be. 200°C körül további dehidratációs folyamatok zajlanak, ami a tömegvesztés újabb kismértékű növekedéséhez vezet. A különböző kiinduló nedvességtartalmú próbatestek tömegvesztése eltérő lesz egészen addig, amíg a pórusvíz és a kémiailag kötött víz eltávozik. A kiinduló nedvességtartalom függvényében a tömegvesztés eltérése különösen a könnyűbetonok esetén jelentős. A kiinduló nedvességtartalomtól függő további tömegvesztés 250°C 300°C között már nem érzékelhető [9].

450°C és 550°C között a nem karbonátosodott portlandit bomlása következik be ($\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}\uparrow$). Ez a víz eltávozásával járó változás hőelnyelő reakcióval jár. Ez a folyamat endoterm (hőelnyelő) csúcsot és ezzel egyidejűleg újabb tömegvesztést okoz [11].

A közönséges betonok esetén a kvarc $\alpha \rightarrow \beta$ kristályátalakulása 573°C-on okoz kis intenzitású endoterm csúcsot. A kvarc átalakulása 5,7% os térfogat-növekedéssel jár [12], ami a beton lényeges károsodását eredményezi. Ettől a ponttól a beton nem teherhordó.

700°C-on a CSH (kalcium-szilikát-hidrát) vegyületek vízleadással bomlanak, ami szintén térfogat-növekedéssel jár [12]. A beton pórusszerkezete három részből áll: a cementkő porozitása, az adalékanyag felülete és a cementkő közötti (kontaktzóna) porozitás, valamint az adalékanyag porozitása. (Az utóbbi csak nagy porozitású adalékanyagoknál játszik szerepet, pl.: könnyűbetonoknál).

A kvarckavics adalékanyagú betonoknál 150°C-ig a cementkő porozitása, valamint az adalékanyag és a cementkő közötti kontaktzóna porozitása nő. A kontaktzónában 150°C ig repedések keletkezhetnek, amit az adalékanyag és cementkő különböző hőtágulásával magyarázhatunk. A cementkő struktúrája 450°C ig stabil, de mikrorepedések már e hőmérséklet alatt is kialakulhatnak. 450°C 550°C között azonban a portlandit bomlása miatt a pórusok száma megnő. Ezután 650°C ig a cementkő felépítése nem változik. E felett a CSH vegyületek bomlása megkezdődik és a kapillárisok száma megnő. 750°C felett a pórusok átmérője nagymértékben növekszik. A mikrorepedések mérete nagymértékben függ az adalékanyag legnagyobb szemmagyságától [13].

2. 2. A betonfelület réteges leválása

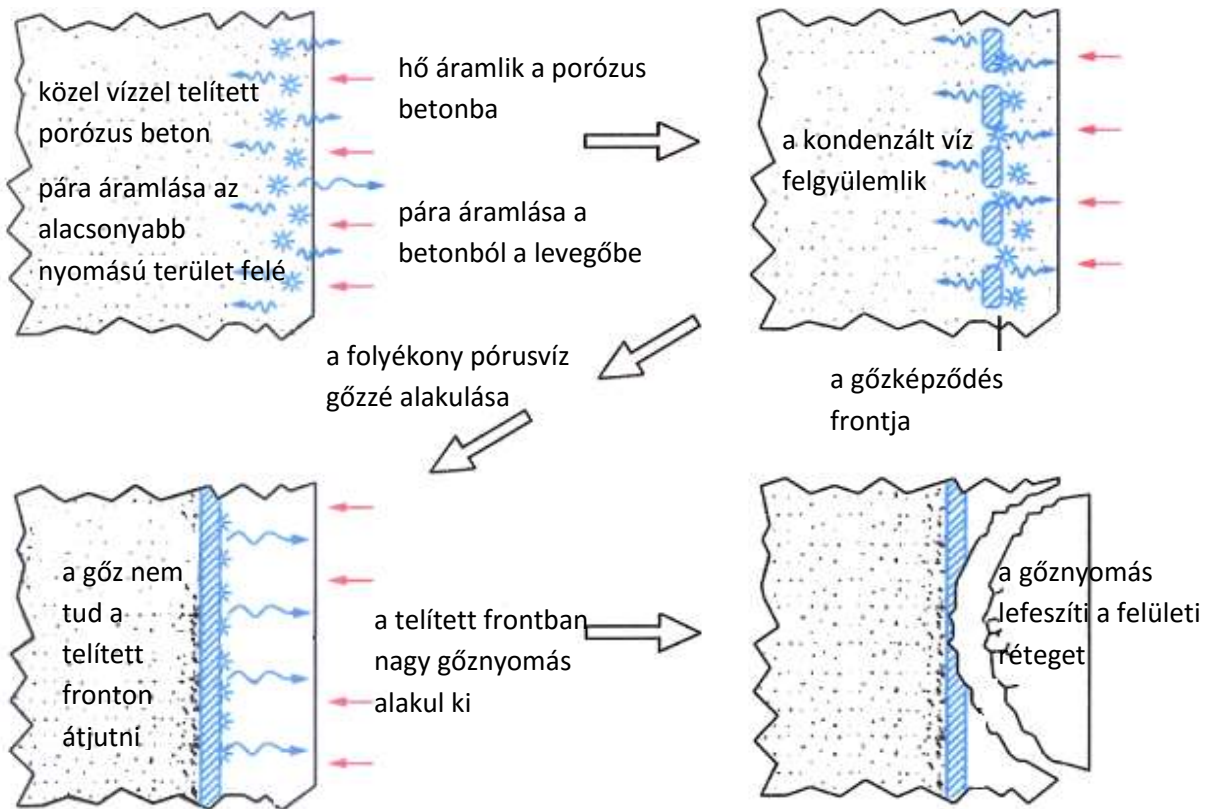
A betonfelületek réteges leválásának két oka lehet:

- (1) a betonból távozó vízgőz lefeszíti a felületi rétegeket;
- (2) a terhelt zóna már nem tudja a hőtágulásból származó újabb erőket felvenni és lemorzsolódik, leválik.

A nagyszilárdságú betonok felületének leválását általában a hőmérséklet emelkedésének hatására bekövetkező feszültségek okozzák; normálbetonok esetén általában a betonból távozó vízgőz feszíti le a felületi rétegeket. A betonfelület leválásának mechanizmusát a *1. ábrán* láthatjuk: a betonfelület egyik oldalát hőterhelés éri, a betonból távozó vízgőz hatására egy vízgőzzel telített réteg alakul ki, ahol a vízgőz nyomása egyre nő és lefeszíti a betonrétegeket.

A betonfelület réteges leválásának az esélyét a következő tényezők befolyásolják:

- külső tényezők: a tűz jellege, a szerkezetre ható külső terhek nagysága;
- geometriai jellemzők: a szerkezet geometriai adatai, a betonfedés nagysága, a vasbetétek száma és elhelyezkedése;
- a beton összetétele: az adalékanyag mérete és típusa, a cement és a kiegészítő anyag típusa, a pórusok száma, a polipropilén száladagolás, az acél szálerősítés, a beton nedvességtartalma, áteresztőképessége és szilárdsága [14].



1. ábra: A betonfelület leválásának mechanizmusa [15]

Vasbetonszerkezetek esetén, különösen az extrémebb tűzterhelésnek kitett alagúttűzek esetén fontos, hogy a betonfelületek réteges leválása tűz esetén lehetőség szerint ne következzen be. Számos kísérlet igazolta, hogy a betonfelület leválásának veszélye műanyagszálak alkalmazása esetén lényegesen kisebb, mivel a szálváz kiégése során létrejövő pórusszerkezet a szétrepedés veszélyét csökkenti [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23,24].

Mörth, Haberland, Horvath és Mayer [25] alagútelemekekkel (hosszúság 11 m, magasság 2 m) végzett kísérletei igazolták, hogy a polipropilén szálakkal erősített betonok felületének réteges leválása a tűz hatására (1200°C-os hőterhelésesetén) nem következett be (2. és 3. ábra).

Hasonló eredményre jutott Ausztriában egy másik kutatócsoport is [21], amely nyomott lemezeket vizsgált. A hagyományos betonnál két órás tűzterhelés hatására következett be a betonfelület réteges leválása, a polipropilén száladagolással készített lemez esetében viszont ez nem volt észlelhető (4. és 5. ábra).



2. ábra: Száladagolás nélkül készült alagútelem
1200°C-os hőterhelés után [25]



3. ábra: 2 kg/m³ polipropilén
száladagolással készült alagútelem 1200°C-
os hőterhelés után [25]

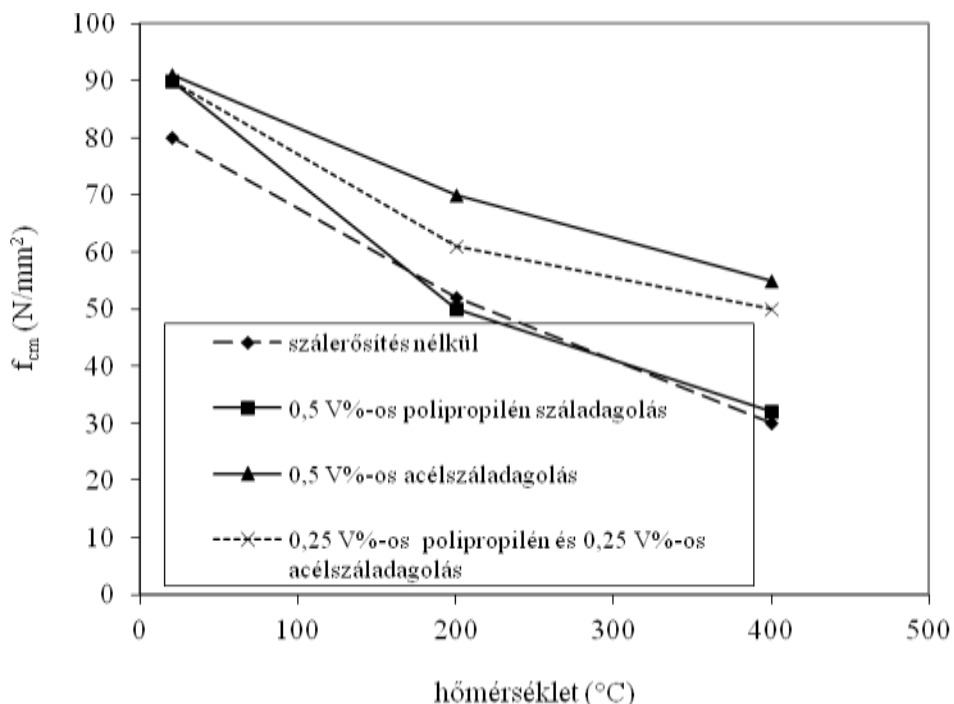


4. ábra: Száladagolás nélkül készült lemez felülete 2 órás tűzterhelés után [21]



5. ábra: Műanyag száladagolással készült lemez felülete 2 órás tűzterhelés után [21]

Lényeges kérdés azonban, hogy – mindezen előnyös tulajdonságok mellett – a szálerősítésű beton nyomószilárdságának csökkenése se legyen drasztikus a szokványos betonhoz képest. Horiguchi (2005) a szálerősített betonok nyomószilárdságát vizsgálta magas hőmérsékleti tartományokban (6. ábra). A nyomószilárdságot 100 mm átmérőjű, 200 mm magas Hengereken, szobahőmérsékletre visszahűlve vizsgálta. A felfűtés sebessége 10°C/perc volt, a próbatesteket 1 órán át tartotta az adott hőmérsékleten. Az alkalmazott beton víz-cement tényezője 0,3 volt (583 kg/m³-es cementadagolással). Az első beton szálerősítés nélkül, készült, a második 0,5 V%-os polipropilén száladagolással, a harmadik 0,5 V%-os acélszáladagolással, a negyedik 0,25 V%-os polipropilén és 0,25 V%-os acélszáladagolással készült.



6. ábra: A szálerősítésű betonok nyomószilárdságának változása magas hőmérsékleten [23,24]

A nyomószilárdság értékei a szálerősítés nélküli és a szálerősítésű betonok esetén hasonló tendenciát mutatnak. A szálerősítés nélküli és a műanyag száladagolású betonok esetén jóval alacsonyabb értékek figyelhetők meg a 200°C-os, illetve a 400°C-os hőterhelést követően, mint az acélszál, illetve a hibrid (0,25 V%-os polipropilén és 0,25 V%-os acél) száladagolás esetén. A fokozott szilárdságcsökkenést a műanyagszálak alkalmazása esetén műanyagszál-váz kiégése, valamint a kiégés során megnövekedett porozitás okozhatja

A betonösszetétel tehát jelentős mértékben befolyásolhatja a beton tűzállóságát. A műanyagszálak kedvező hatása kedvezően befolyásolja a betonfelületek leválásának elkerülését. A szakirodalom az acélszálakat kedvezőtlennek tekinti [19,20], ez az acél tűz alatti viselkedésével, illetve az acél hővezetőképességével magyaráznak. Számos szakirodalmi adat áll rendelkezésre acél-, illetve műanyagszálak tűzállóságra gyakorolt hatására, de a szálak geometriájának hatásával kapcsolatban nem található elegendő kutatási eredmény. A szálak geometriájának azonban hatása lehet a tűzállóságra, ezért fontos ennek ismerte. Felmerül a kérdés, hogy

ennyiben befolyásolja a szálgeometria, és mennyiben a szál anyaga a tűz alatti eltérő viselkedést? Erre a kérdésre kerestem kutatásom során a választ.






3. KUTATÁS MÓDSZERE

3.1. Alkalmazott anyagok

A szál anyagának és geometriájának hatását 5 különböző száltípus ugyanazon beton keverékhez való adagolásával vizsgáltam (1. táblázat M0-M5). A betonhoz kétféle műanyagszálat: „szál 1” $l=40$ mm, $d=1,1$ mm, hullámos (M2); „szál 2” $l=18$ mm, $d=0,032$ mm, egyenes (M1); háromféle acélszálat: „szál 3” $l=35$ mm, $d=0,9$ mm, hullámos (M3); „szál 4” $l=35$ mm, $d=0,75$ mm, kampós végű (M4); „szál 5” $l=12,5$ mm, $d=0,3$ mm, egyenes (M5) adagoltam. A kísérlet során hőlépcsőnként (20 °C, 50 °C, 150 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 800 °C) 3-3 próbatestet vizsgáltam.

1. táblázat: Betonösszetétel

	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
cement (kg/m ³)	350	350	350	350	350	350	386	386
víz	151	151	151	151	151	151	181	181
adalékanyag 0-4 mm (kg/m ³)	912	912	912	912	912	912	1024	1015
adalékanyag 4-8 mm (kg/m ³)	485	485	485	485	485	485	302 LW1	390 LW2
adalékanyag 8-16 mm (kg/m ³)	544	544	544	544	544	544	-	-
folyósító (kg/m ³)	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	5	5
szálak jelölése	-	szál 1	szál 2	szál 3	szál 4	szál 5	-	-

és mennyisége (kg/m ³)		1	1	35	35	35		
szál anyaga		műanyag	műanyag	acél	acél	acél		
szál alakja és geometirai méretei (mm)								
		$l=18$ $d=0,032$	$l=40$ $d=1,1$	$l=35$ $d=0,9$	$l=35$ $d=0,75$	$l=12,5$ $d=0,3$		

LW1 Liapor 5N, LW2 Liapor 7N (könnyű adalékanyagok)

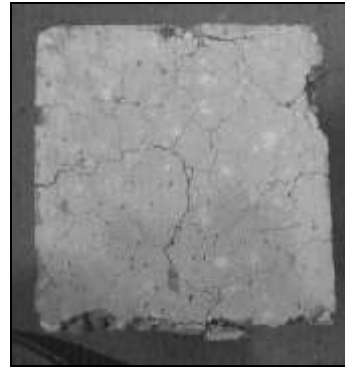
3.2. Alkalmazott vizsgálati módszerek

Vizsgálatok során a próbatesteket szemrevételeztem, és meghatároztam a maradó nyomószilárdságot. A nyomószilárdság vizsgálatot szabványos 150 mm élhosszúságú kockákon végeztem. A 150 x 150 x 150 mm-es próbakockáinkat a felfűtés után 2 órás hőterhelést követően szobahőmérsékleten törtük. A beton kockák nyomószilárdság vizsgálatát erővezérelten működő „Amsler” típusú törőgépen végeztem.

4. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

4.1. Szemrevételezés

Kis átmérőjű, rövid acél vagy műanyag szálak alkalmazása esetén a 800 °C-os hőterhelés eredményeként sem figyeltem meg jelentős elváltozást a beton felületén (7. ábra). A száladagolás nélkül készült betonok esetén a 800 °C-os hőterhelést követően felületi repedések jelentek meg.



7. ábra: A beton felülete a 800 °C-os hőterhelést követően
(betonösszetételt lásd *1. táblázatban*)

- a) Kisméretű szálakkal (M1 keverék) b) száladagolás nélkül (M0 keverék)

Nagy átmérőjű, hosszú műanyag szálak a 200 °C és 300 °C-os hőterhelés során a szálak megolvadása következtében (*8. ábra a), b)*) a felület károsodását okozták. A 400 °C-os hőterhelést követően a beton felületével párhuzamosan elhelyezkedő szálak - égésnyomokat hagyva - a felületen kiégtek. Nagy átmérőjű, hosszú acélszálak alkalmazása esetén a 800 °C hőterhelés során a szálak elfeketedtek, és a beton helyenként megrepedt.



a) 200 °C-os hőterhelést követően

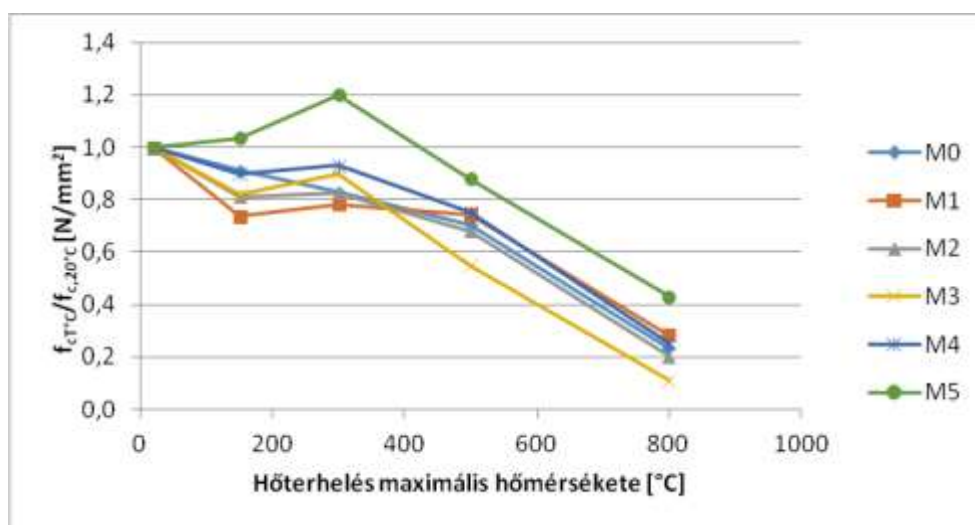


b) 500 °C-os hőterhelést követően

8. ábra: Műanyag szálak megjelenése a betonelem felületén nagy átmérőjű, hosszú szálak esetén (M2 keverék) (betonösszetételt lásd az *1. táblázatban*)

4.2. Nyomószilárdság alakulása

A hőterhelés utáni maradó nyomószilárdság szempontjából a kisméretű (kis átmérőjű, rövid) acélszálak bizonyultak a legkedvezőbbnek (M5 keverék, 9. ábra), nagyméretű (nagy átmérőjű, hosszú) acélszálak a legkedvezőtlenebbnek (M3 keverék). Ez is bizonyítja, hogy csupán a szál anyagának ismerete nem elegendő a szálerősítésű betonok tűz utáni viselkedésének megállapítására, hanem a szál geometriája is fontos.



M0 (etalon)
M1 1 kg/m ³ rövid műanyagszál
M2 1 kg/m ³ hosszú műanyagszál
M3 35 kg/m ³ hosszú acélszál
M4 35 kg/m ³ hosszú acélszál
M5 35 kg/m ³ rövid acélszál

9. ábra: A maradó nyomószilárdság alakulása a hőterhelés hőmérsékletének függvényében

(Az M0-M5 betonkeverékek összetevői 1. táblázatban láthatóak, minden pont 3 mérési eredmény átlagát mutatja)

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A betonfelület réteges leválása a mentési és a tűzoltási folyamatokat is lényegesen lassíthatja, ezért a betonfelület réteges leválását meg kell akadályozni. A betonfelületek réteges leválásának esélyét szálerősítésű betonok alkalmazásával lehet csökkenteni. A szálerősítésű betonok alkalmazása során azonban a beton maradó nyomószilárdságának változását figyelemmel kell kísérni. Kutatásom során a szálerősítésű betonok maradó nyomószilárdságát, valamint a beton felületének változását vizsgáltam hőterhelés után labor hőmérsékletre visszahűtött állapotban.

A szál anyagának és geometriájának hatását 5 különböző száltípus ugyanazon beton keverékhez való adagolásával vizsgáltam. A betonhoz kétféle műanyagszálat, háromféle acélszálat adagoltam.

Kísérletileg igazoltam, hogy a szálerősítésű betonok tűzállóságára a szálak mennyiségén és anyagán túlmenően a szálak geometriai jellemzői is jelentős hatással vannak. A relatíve nagy átmérőjű és hosszúságú szálak kevésbé kedvezőek, mint a kis átmérőjű rövid szálak. A tűzállóság acélszalak alkalmazása esetén is kedvezően befolyásolható kis átmérőjű és kis hosszúságú szálakkal. Tehát a szakirodalommal ellentétben a betonfelületek réteges leválásnak esélyét a kis átmérőjű rövid acélszalak is kedvezően befolyásolják.

6. HIVATKOZÁSOK

- [1] Balázs L. Gy. – Polgár L.: „A szálerősítésű betonok múltja, jelene és jövője”, VASBETONÉPÍTÉS 1999/1, pp. 3-10., www.fib.bme.hu
- [2] Romualdi, J.P., Batson, G.B.: „Behaviour of Reinforced Concrete Beams with Closely Spaced Reinforcement”, ACI Journal, June/1963, pp. 775-790.
- [3] Romualdi, J.P., Mandel, J.: „Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed Short Lengths of Wire Reinforcement”, ACI Journal, June/1964, pp. 657-671.
- [4] ACI (2002), State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, Reported by ACI Committee 544, reapproved in 2002
- [5] Kerekes Zs.: “The oxygen index of oxidised fibres and influencing factors”, Annual News

- [6] Kerekes Zs., Tólos Jánosné (2006): Oxidált szálak éghetőségének vizsgálata és minősítése, Magyar Textiltechnika LIX. évf., 3.sz., pp.: 84-87
- [7] Restás, Á., „Decision making method in emergency”, Pro Publico Bono: Magyar Közigazgatás; Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2014:(3) pp. 126-136. (2014) ISSN: 2063-9058
- [8] Pántya P., Horváth L., Restás Á.,” Disaster management from the viewpoint of fire protection in Hungary: From the effectiveness of fire prevention to the safety of firefighters: Complexity of the firefighters’ work in crisis situations”, Advances in Environmental Sciences: Int. Journal of the Bioflux Society 7:(2) 2015 pp. 272-276. (2015) Online ISSN 2066-7647. Print ISSN 2066-7620
- [9] Kordina, K (1997): Über das Brandverhalten punktgeschützter Stahlbetonbalken, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 479, ISSN 0171-7197, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [10] Thielen, K., Ch.(1994): Strength and Deformation of Concrete Subjected to high Temperature and Biaxial Stress-Test and Modeling, (Festigkeit und Verformung von Beton bei hoher Temperatur und biaxialer Beanspruchung Versuche und Modellbildung), Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 437, ISSN 0171-7197, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [11] Khoury, G. A., Grainger, B. N., Sullivan P. J. E., (1985): Transient thermal strain of concrete: literature review, conditions within specimen and behaviour of individual constituents, Magazine of Concrete Research, Vol 37, No. 132
- [12] Schneider U., Weiß R. (1977), „Kinetische Betrachtungen über den thermischen Abbau zementgebundener Betone und dessen mechanische Auswirkungen, Cement and Concrete Research, Vol 11, pp. 22-29
- [13] Hinrichsmeyer, K. (1987): Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton, Heft 74 IBMB, Braunschweig
- [14] Silfwerbrad J. (2004): Guidelines for preventing explosive spalling in concrete structures exposed to fire, Proceedings of Keep Concrete Attractive, Hungarian Group of fib. 23 25

May 2005, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, 2005, pp.: 1148-1156, ISBN 963 420 837 1

- [15] Winterberg R., Dietze, R., (2004): Efficient passive fire protection systems for high performance shotcrete, Proceeding for the Second International Conference on Engineering Developments in Shotcrete, Cairns, Australia, October, 2004 ISBN: 0415358981
- [16] Høj, N. P.: Keep concrete attractive - Fire design of concrete structures, Proceedings of fib symposium on Keep concrete attractive, edited by Gy. L. Balázs, A. Borosnyói , 23-25 May 2005, Budapest: pp.1097-1105
- [17] Janson, R., Boström, L.: Experimental investigation on concrete spalling in fire, Proceedings for Workshop on Fire Design of Concrete Structures: What now?, What next?, December 2-3, 2004, Milano, (Eds. P. G. Gambarova, R. Felicetti, A. Meda, P. Riva): pp. 2-42
- [18] Wille, K., Schneider, H.: Investigation of fibre reinforced High Strength Concrete (HSC) under fire, particularly with regard to the real behaviour of polypropylene fibres, 2002, Lacer Nr. 7: pp. 61-70
- [19] Dehn, F., Wille, K.: Micro analytical investigations on the effect of polypropylene fibres in fire exposed high performance concrete (HPC), Proceedings of International RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concretes, BEFIB 2004 20-22 September, Varrenna, Italy (Eds. Prisco, M., Felicetti, R., Plizzari, G. A.): pp. 659-678
- [20] Dehn, F., Werther, N.: Fire tests on tunnel elements for M 30 tunnel in Madrid (Brandversuche an Tunnelinnenschallenbetonen für den M 30- Nordtunnel in Madrid), Beton und Stahlbetonbau, 101/9, 2006, Berlin, ISSN 0005-9900 (in German)
- [21] Walter, R., Kari, H., Kusterle, W., Lindlbauer, W.: Analysis of the Load-bearing Capacity of Fibre Reinforced Concrete During Fire, Proceedings of Central European Congress on Concrete Engineering 8-9 Sept. 2005, (Ed. Pauser, M.), Graz: pp. 54-59.
- [22] Dehn, F., König, G.: Fire resistance of different fibre reinforced high performance concretes, Proceedings of International Workshop High Performance Fibre Reinforced Cement Composites, (Eds. Naaman, A. E., Reinhardt, H., W.), 2003: pp. 189-204

- [23] Horiguchi, T.: Fire resistance of hybrid fibre reinforced high strength concrete, Proceedings of International RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concretes, (Eds. Prisco, M., Felicity, R. Pizzeria, G. A.), 2004: pp. 1-18
- [24] Horiguchi, T.: Combination of Synthetic and Steel Fibres Reinforcement for Fire Resistance of High Strength Concrete, Proceedings of Central European Congress on Concrete Engineering, 8-9. Sept. 2005, (Ed.: Pauser, M.), Graz: pp. 59-64
- [25] Mörth, W., Haberland Ch., Horvath J., Mayer A., (2005): Behaviour of Optimized Tunnel Concrete with Special Aggregates at High Temperature, Proceedings of Central European Congress on Concrete Engineering 8.-9. Sept. 2005, Graz, pp.: 41-50

Dr. Lubloy Éva PhD

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Budapest University of Technology and Economics

lubloy.eva@epito.bme.hu

ORCID: 0000-0001-9628-1318