



Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar
Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék
Budapest, XI., Műegyetem rkp. 3

MAKRO SZÁLAK HATÁSA A BETON HŐTERHELÉSÉT KÖVETŐ JELLEMZŐIRE

Készítette: Kerényi Ramóna

(BSc hallgató)

Konzulensek: Czoboly Olivér, doktorandusz

Dr. Majorosné Dr. Lublós Éva Eszter, adjunktus

Dr. Balázs L. György, egyetemi tanár, tanszékvezető

Budapest, 2014. október 22.

TARTALOM

1. BEVEZETÉS	2
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	3
2.1. Szálerősítésű beton	3
2.2. Tűz hatása a vasbeton szerkezetekre	7
2.2.1. Tűz hatása a betonra	7
2.2.2. Tűz okozta katasztrófák.....	10
3. VIZSGÁLATAIM CÉLKITŰZÉSEI	14
4. KÍSÉRLETI ANYAGOK.....	15
4.1. Alkalmazott szálak és azok jellemzői.....	15
4.2. Alkalmazott betonösszetétel.....	17
5. KÍSÉRLET ELVÉGZÉSI MÓDJAI.....	19
5.1. Kísérleti mátrix.....	19
5.2. Próbatetek készítése	20
5.3. Próbatetek hőterhelése	21
5.4. Próbatetek vizsgálatai	22
5.4.1. Nyomószilárdság vizsgálat.....	22
5.4.2. Hasító-húzószilárdság vizsgálat	23
5.4.3. Látszólagos porozitás mérés.....	24
6. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK	25
6.1. Szemrevételezés	25
6.2. Nyomószilárdság vizsgálat.....	29
6.3. Hasító-húzószilárdság vizsgálat	35
6.4. Látszólagos porozitás és testsűrűség	40
7. ÖSSZEFOGLALÁS	45
8. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS.....	48
9. HIVATKOZÁSOK	49
10. MELLÉKLET	51
10.1. Nyomószilárdság mérési eredményei.....	51
10.2. Hasító-húzószilárdság mérési eredményei	56
10.3. Látszólagos porozitás mérési eredményei	60

1. BEVEZETÉS

A beton egy korai formája már az ókori Rómában is megjelent, a rómaiak úgynevezett románcementet használtak utak, fürdők és vízvezetékek építéséhez. Ahogy változtak a mérnöki létesítményekkel szemben támasztott elvárások, követelmények, úgy fejlődött a betonösszetétel is.

Napjainkra a beton (vasbeton) az egyik legnépszerűbb építőanyaggá vált, mivel szinte bármilyen szerkezetet kedvező áron el lehet készíteni beton alkalmazásával. Betonból (vasbetonból) épülnek a legkülönfélébb építmények, mint például az alagutak, hidak, magas épületek (felhőkarcolók), ipari épületek. Ma a mérnöki létesítmények mintegy 2/3-a vasbetonból készül, ezért nagyon fontos a beton tulajdonságait ismernünk.

A mérnöki létesítményekkel szemben támasztott egyre magasabb követelmények miatt a beton, mint építőanyag állandó fejlesztést igényel. A beton egyik fejlesztési iránya a szálerősítésű beton. A betonhoz különböző méretű és anyagú szálakat adagolunk. Általánosan alkalmazunk acélszálakat a húzóerő felvételére például ipari padlóknál. Az acélszálak alkalmazásánál komoly problémát jelenthet a felület közeli acélszálak korróziója, mely esztétikai problémát, illetve tartóssági problémát is jelent. Emiatt régóta keresnek megoldást az acélszálak korróziójának csökkentésére, illetve kiküszöbölésére.

Számos tüzeset (melyeket részletesebben a 2.2.2. fejezetben ismertetek) igazolja, hogy a felhasznált építőanyagok tűzzel szembeni viselkedésének ismerete fontos. Gyakorta alkalmaznak mikro műanyagszálakat (a szálak pontos megnevezéseit a 2.1. fejezetben ismertetem) a tűzállóság növelésére olyan szerkezeteknél, melyek fokozott figyelmet igényelnek tűzterherre való méretezésnél, mint például az alagutak.

Egyre elterjedtebb a makro műanyagszál (2.1. fejezet) alkalmazása, melyet esetenként acélszál helyettesítésére igyekeznek használni. Kedvező tulajdonságai közé tartozik az acélszállal szemben, hogy nem korrodálódik.

Kutatásom témája, hogy az acélszál helyettesítésére használt makro műanyagszálak milyen hatással vannak a beton tulajdonságaira hőterhelést követően.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Szálerősítésű beton

Szálerősített építőanyagokat régóta használunk. Az emberiség tapasztalati úton rájött, hogy szálakkal csökkenthető az anyagok ridegsége és a repedésre való érzékenysége. Berand, 1874-ben fémhulladékot tett a betonba, és ezt az eljárást szabadalmaztatta. Ezt tekinthetjük a szálerősítésű beton alkalmazás kezdetének. A szálerősítésű beton használata 1960-as évek elején kezdte elterjedését [Balázs, 2004].

Néhány példa a szálerősítésű beton alkalmazására:

- Félix Candela valenciai Oceánográfiai Múzeuma olyan héjszerkezet, ahol a feszített vasbetont és az acélszálak használatát kombinálták. A mindössze 60 mm vastag tartószerkezet acélszálerősítésű lövellt betonból készült [Bergmeister, Figerloos, Wörner, 2011] (2.2. ábra).



2.2. ábra: Acélszálerősítésű héjszerkezet, Valencia, Spanyolország [<http://100dorog.ru>]

- A kanadai Sherbrooke-híd (2.3. ábra) és a dél-kórei Seonyu-híd (2.4. ábra) nagyszilárdságú szálerősítésű betonból készültek [Bergmeister, Figerloos, Wörner, 2011].



2.3. ábra: Sherbrooke-híd [structurae.net]



2.4. ábra: Seonyu-híd [ductual.com]

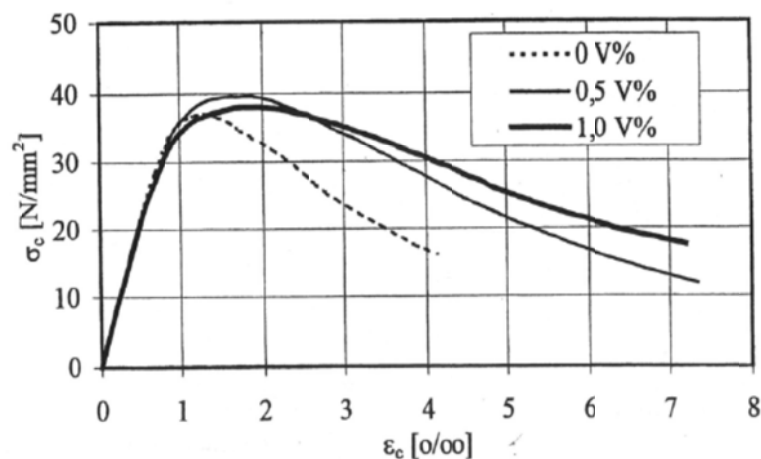
Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

Az ASTM C 116 -03, szabvány a szálerősítésű betont 3 általános osztályba sorolja [*elastoplastic.com*]:

- 1. típus: acélszál erősítésű beton
- 2. típus: üvegszál erősítésű beton
- 3. típus: szintetikusszál erősítésű beton.

Legelterjedtebb az acélszálak használata, de ezeken kívül különböző anyagú, például: műanyag-, üveg- vagy szénszálakat is alkalmaznak.

Az **acélszálak** betonhoz való adagolása esetén megváltoznak a beton mechanikai tulajdonságai. A szálak mennyiségétől és típusától függően nő a beton szívóssága (energiaelnyelő képessége), nő a beton törési összenyomódása (2.5. ábra), fáradási szilárdsága, ütőmunka bírása, repedésáthidaló képessége.



2.5. ábra: Beton σ - ϵ diagramja a száltartalom növekedés függvényében

[Balázs, Polgár, 1999]

Az acélszál, a betonacél helyettesítésének, vagy annak kiegészítésének céljából kerül a betonba. Az acélszál feladata a keletkező maradó húzóerők felvétele, hatékonyak a berepedés utáni állapotban, hiszen a tartó nem szakad le egyből [Horst, Volkner, 2004].

Az acélszálak általánosan elterjedt felhasználási területei [Balázs, Lublóy, 2006]:

- ipari padlók és kültéri betonlemezek,
- alagút elemek,
- lövellt betonok,
- csőelemek,
- vékony előregyártott elemek,
- páncélszekrények, páncéltermek falának betonja.

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

Az acélszálak alkalmazásánál komoly problémát jelenthet a felület közeli acélszálak korróziója, mely esztétikai problémát, illetve tartóssági problémát is jelent. Emiatt régóta keresnek megoldást az acélszálak korróziójának csökkentésére, kiküszöbölésére. Egyik lehetőség, hogy galvanizált acélszálakat alkalmaznak, másik lehetőség hogy korrózióra kevésbé, vagy egyáltalán nem hajlamos anyagokkal helyettesítik az acélszálakat.

A **műanyagszálakat** az egyes szabványok eltérőképpen csoportosítják. A Magyarországon érvényben levő MSZ EN 14889-2 (2007) szabvány alapján a polimer (például poliolefin, polipropilén vagy polietilén, poliészter, nylon, PVA, aramidok) szálakat két fő csoportba sorolja:

I. osztály: mikro szálak:

- I.a osztály: mikro szálak <0,3 mm átmérőjű, mono-szálak,
- I.b osztály: mikro szálak <0,3 mm átmérőjű, fibrillált szálak.

II. osztály: makro szálak > 0,3 mm átmérőjű szálak.

A mikro műanyagszálak, a kísérleti tapasztalatok alapján, jól használhatók friss beton képlékeny zsugorodásával összefüggő repedések számának és tágasságának csökkentésére, illetve teljes kiküszöbölésére.

A mikro műanyagszálak ismert hatásai a következők [*Balázs, Lublós, 2006*]:

- csökkentik a kivézés mértékét,
- gátolják a szétesztályozódást a beton szállításánál, bedolgozásánál, szállítása és bedolgozása során,
- védik a vakolatot a zsugorodási repedésektől, mivel a szálak felveszik a kötési fázisban zsugorodás következtében fellépő húzó igénybevételek egy részét,
- lövellt technológia esetén csökkentik a visszahullási anyagvesztéséget,
- kevesebb repedés keletkezik a megszilárdulás során, ezért fokozzák a betonok vízzáróságát, csökkentik a vízfelvételt, ezzel növelik a fagyállóságot és az olvasztó sózással szembeni ellenállóságot, növelik a beton fáradási szilárdságát, hanggátló és hangelnyelő képességét,
- lehetővé teszik a vakolás rétegvastagságának növelését,
- növelik a beton tűzállóságát, mivel a szálak kiégése segíti a betonba zárt vízpára távozását, így csökkenti a belső feszítőerőt. (Részletesebben a 2.2. fejezetben ismertetem ezt a jelenséget.)

A mikro műanyagszálak fő felhasználási területei: vakolatok, esztrichek, lövellt betonok és kis terhelésű ipari padlók.

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

További ígéretes lehetőség a **makro műanyagszálak** alkalmazása. A II. osztályba sorolt szerkezeti makroszál használható repedések áthidalására, acélháló, vagy szerkezeti acél helyettesítésére [elastoplastic.com]. A műanyag szálak kedvező tulajdonságai az acélszálakkal szemben, hogy sav és alkáli állóak, nem vezetnek az elektromos áramot, nem korrodálnak, és nem indukálnak mágneses teret.

Kezdetben a makro műanyagszálakkal nem voltak kedvező tapasztalatok a megszilárdult beton tulajdonságának javításánál, mert a betonhoz képest lényegesen kisebb rugalmassági modulussal rendelkeztek, emellett húzószilárdságuk is lényegesen kisebb volt, mint az acélszálaké. A műanyagok technológiai fejlődésének köszönhetően mára sikerült nagyobb rugalmassági modulusú (pl.: poliolefinből készült műanyag > 10 GPa) szálakat előállítani.

Több megépült szerkezetben is használtak acélszál helyettesítésére makro műanyagszálat. A felhasználásra érdekes példa, hogy a debreceni Nagyerdei Stadion előregyártott feszített vasbeton tribünelemeihez 5 kg/m^3 BarChip48 makro műanyagszálat (módosított olefin) használtak a nyírási vasalás csökkentésére. A Nagyerdei Stadion húszezer fős kapacitással és 28700 m^2 beépített területtel rendelkezik (2.6. ábra)[Czoboly, Lublós, Balázs, 2014].



2.6. ábra: debreceni Nagyerdei Stadion
[civishir.hu/sport/labdarugas]

A mikro műanyagszálak esetén közismert, hogy a tűzállóságot javítják, illetve mérséklik a tűz utáni réteges leválás (spalling) veszélyét. Látni kell azonban, hogy a makro műanyagszálak más műanyagból és nagyobb átmérővel készülnek. Joggal merül fel a kérdés, hogy a makro műanyagszálak milyen hatással vannak a beton tűzzel szembeni viselkedésére?

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

2.2. Tűz hatása a vasbeton szerkezetekre

A betonösszetétel tervezése hagyományosan a megfelelő nyomószilárdság elérésére összpontosított. Ma azonban a beton egyéb tulajdonságaira is nagy hangsúlyt fektetünk, mint például a fagyállóságra, tűzállóságra, várható használati élettartamra [Czoboly, Lublós, 2012].

2.2.1. Tűz hatása a betonra

A hőmérséklet növekedésével a betonban olyan kémiai folyamatok mennek végbe, melyek hatására romlanak a beton szilárdsági jellemzői, és a lehűlést követően sem nyeri vissza eredeti tulajdonságait. Ezek visszafordíthatatlan folyamatok az anyagban [Czoboly, Lublós, Balázs, 2013] (2.1. táblázat).

Tűzterherre való méretezés vizsgálat során fontos, hogy mennyi ideig és milyen magas hőmérséklet éri a szerkezetet.

A betonszerkezetek tönkremenetele két okra vezethető vissza [Lublós, 2008]:

- a beton összetevőinek kémiai átalakulásaira,
- a betonfelület réteges leválására.

2.1. táblázat: A betonban lejátszódó folyamatok a hőmérséklet függvényében

[Czoboly, Lublós, Balázs, 2013]

Beton hőmérséklete [°C]	Folyamatok
1400	a beton megolvad
1200	az olvadás kezdete
800	kerámiakötés bomlása
700	kalcium-szilikát-hidrátok
600	a kúszás erőteljes növekedése
500	kalcium-hidroxid bomlása
100-400	a betonfelületek réteges leválása szempontjából kritikus tartomány
300	kvarckavics adalékanyagú betonok szilárdságvesztésének kezdete, néhány adalékanyag dehidratációja
100	hidro-termikus reakciók, a kémiailag kötött víz távozásának kezdete

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A betonban lejátszódó kémiai folyamatok alakulását a hőmérséklet növekedésének hatására termoanalitikai módszerekkel vizsgálhatjuk.

Magas hőmérsékleten a beton szilárdsági tulajdonságainak változása függ:

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

Lublóy (2008) és Balázs (2010) szerint a beton szerkezete és ásványtani összetétele magas hőmérséklet hatására megváltozik:

100 °C körül a makro-pórusokból távozó víz okozza a tömegvesztést.

50 °C és 110 °C között következik be az ettringit ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$) bomlása. 200°C körül további dehidratációs folyamatok mennek végbe, ami a tömegvesztés újabb kismértékű növekedéséhez vezet. Amíg a pórusvíz és a kémiaileg kötött víz eltávozik, addig a különböző kiinduló nedvességtartalmú próbatestek tömegvesztése eltérő lesz.

250 °C-300 °C között a kiinduló nedvességtartalomtól függő további tömegvesztés már nem érzékelhető.

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

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

700 °C-on a CSH (kalcium-szilikát-hidrát) vegyületek vízleadással bomlanak, amely szintén térfogat-növekedéssel jár. Ez a folyamat jelentős szilárdságsökkenést okoz.

A beton pórusszerkezete három összetevőből áll: cementkő porozitása, az adalékanyag felülete és a cementkő közötti kontaktzóna porozitás, valamint az adalékanyag porozitása. (Az utóbbi csak azoknál az adalékanyagoknál játszik jelentős szerepet, amelyek nagy porozitással rendelkeznek. Pl.: könnyűbetonoknál).

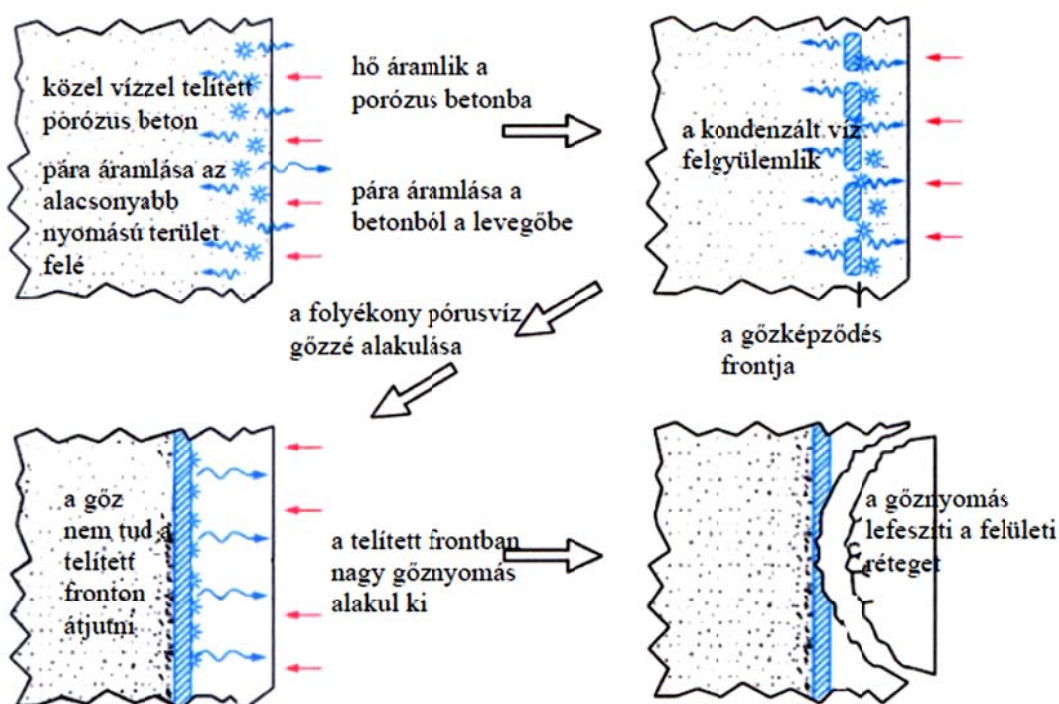
150 °C-ig a cementkő porozitása, valamint az adalékanyag és a cementkő közötti kontaktzóna porozitása nő a kvarckavics adalékanyagú betonoknál. A kontaktzónában 150°C-ig repedések keletkezhetnek, amit az adalékanyag és cementkő különböző

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

hőtágulásával magyarázhatunk. 450 °C-ig stabil a cementkő struktúrája, de mikrorepedések már e hőmérséklet alatt is kialakulhatnak. 450 °C-550 °C között a portlandit bomlása miatt a pórusok száma jelentősen megnő.

650 °C-ig a cementkő felépítése nem változik. 650 °C-os hőmérséklet felett azonban a CSH vegyületek bomlása megkezdődik és a kapillárisok száma is megnő. A 750 °C-ot meghaladva a pórusok átmérője nagymértékben megnő. Az adalékanyag legnagyobb szemnagyságától nagymértékben függ a mikrorepedések mérete

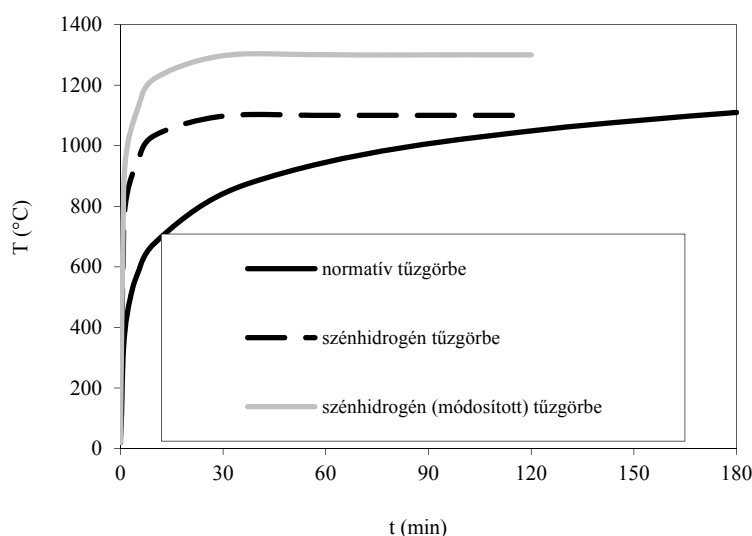
Alagúttüzek esetén megfigyelhető volt a **betonfelület réteges, nagy darabokban való leválása**. Ez a jelenség két okra vezethető vissza: a hőmérséklet hatására gőzzé alakult víz lefeszíti a felületi rétegeket, vagy a hőtágulásból származó újabb nyomóerőt már nem képes a nyomott zóna felvenni és ezért leválik. Az első eset a hagyományos betonokra jellemző, míg a második a nagyszilárdságú betonoknál okozza a leválást [Balázs, 2010] (2.5. ábra).



2.5. ábra: Betonfelület leválásának mechanizmusa [Balázs, 2010]

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A tűzterhelést az építőanyagokra és szerkezeti anyagokra szabványosított tűzgörbékkel tudjuk megadni. Normatív tűzgörbét alkalmazunk magasépítési épületek és ipari épületek esetén. Alagutak vizsgálatánál szénhidrogén és módosított szénhidrogén görbéket használunk, mivel a létesítmény alakja és az égő anyagok (közlekedési járművek üzemanyaga) hőmérséklete sokkal gyorsabban emelkedik, mint a magasépítési épületek esetében (2.4. ábra) [Lublóy, 2008].



2.4. ábra: Néhány szabványosított tűzgörbe [Lublóy, 2008]

2.2.2. Tűz okozta katasztrófák

Az elmúlt néhány évtizedben történt épületeket érő tüzesetek, illetve alagúttüzek okozta katasztrófák - melyek számos esetben emberéletet követeltek, és jelentős anyagi károkat okoztak- rávilágítanak arra, hogy milyen fontos a tűz, illetve hőhatás építőanyagok tulajdonságaira gyakorolt hatásának kutatása.

A regisztrált tüzesetek száma csak Magyarországon 2000. és 2005. között meghaladja az évi átlag 24000 esetet, melynek több mint 25%-a lakóingatlanokban bekövetkezett tűz [langlovagok.hu].

Az elmúlt években több súlyos tüzeset következett be. Ezek közül csak néhányat említek példaként:

- A Mount-Blanc alagútban, 1999. március 24-én, ahol 40 ember halt meg egy teherautó által okozott tüzesetben. A teherautó már füstölgő rakománnyal hajtott be az alagútba,

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

az olasz oldalon. A magas fokozaton lévő szellőzés felélesztette a tüzet. Összesen 24 teherautó, 9 személyautó, egy motorkerékpár és két tűzoltóautó égett ki. Az alagút faláról nagyméretű betondarabok váltak le, a szerkezet jelentős károkat szenvedett [index.hu/alagut/](2.5. ábra).



2.5. ábra: Mount-Blanc alagút a tüzeset után
[tunneltalk.com/Fire-safety/]

- A Budapest Sportcsarnokban, 1999. december 15-én, ahol a karácsonyi vásárban égve felejtett gyertya okozott tüzet. A tüzesetben senki nem sérült meg, azonban az épület helyreállítása szerkezeti károk miatt nem volt lehetséges [wikipedia.org/BudapestSportcsarnok/](2.6. ábra).



2.6. ábra: Budapest Sportcsarnok
[wikipedia.org/BudapestSportcsarnok/]

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

- A Szent-Gotthárd alagútban, 2001 októberében 10 ember halt meg és többen súlyosan megsérültek, a két kamion frontális ütközése által keletkezett alagúttűzben. A baleset a 17 kilométer hosszú alagút egyik végétől másfél kilométerre történ. A tűz hatására a beton, sok helyen a vasalással együtt, nagyméretű darabokban vált le a födémről [index.hu/kulfold/alagut](2.7. ábra).



2.7. ábra.: Szent-Gotthárd alagút a katasztrófa után
[<http://index.hu/kulfold/alagut>]

- Svájcban, Gretzenbachban, 2004. november 27-én egy mélygarázsban tűz keletkezett. A tűz kezdete után nem egészen egy órával az építmény födémátszűrődással ment tönkre [<http://www.feuerwehrmagazin.de/>](2.8. ábra).



2.8. ábra: Svájc, Gretzenbach, mélygarázs a tűz után
[<http://www.blick.ch/news/schweiz>]

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

- A Delfti Egyetem Építészmérnöki karán, 2008. május 23-án bekövetkező épülettűz során, az épület teljesen kiégett. Az építmény körül vizesárok volt, ám a tűzoltók nem tudták eloltani a tüzet. A szerkezet szinte teljesen tönkrement, így az épület újjáépítése nem volt célszerű [*epiteszforum.hu*] (2.9. ábra).



2.9. ábra: A Delfti Egyetem Építészmérnöki kara lángokba borulva [*archdaily.com*]

- Az egyik legújabb, nagy budapesti (Bp. VI. ker., Andrassy út- Szív utca sarkán keletkezett) épülettűz, 2014. július 15-én történt. A tűz hatására az épület életveszélyessé vált, ezért a lakóknak el kellett hagyniuk az épületet. A tüzet több órás oltás után sikerült a tűzoltóknak megfékezniük [*origo.hu/itthon*] [*langlovagok.hu*](2.10. ábra).



2.10. ábra: Az Andrassy úti palota [*langlovagok.hu*]

Ezek a tüzesetek is jól példázzák, hogy a szerkezetek tűzállósága, a szerkezeti anyagok tűzzel és magas hőmérséklettel szembeni viselkedése mekkora jelentőségű.

3. VIZSGÁLATAIM CÉLKITŰZÉSEI

A szakirodalom szerint a mikro műanyagszálak hatékonyak tűz esetén, viszont az acélszálak hatékonysága megkérdőjelezhető. Napjainkban azonban a makro műanyagszálakat egyre szélesebb körben, acélszálak helyettesítésére alkalmazzák. Ezek alapján feltehetjük azt a kérdést, hogy vajon a makro műanyagszál is javítja-e a beton hő- illetve tűzállóságát, hasonlóképpen, mint a mikro műanyag szálak?

Vizsgálataim célja a makro műanyagszálak hatásának kísérleti meghatározása a beton tüzeset utáni maradó szilárdságára (maradó nyomószilárdság és maradó hasítóhúzószilárdság), látszólagos porozitására és testsűrűségére.

A kísérleteim során **393 darab próbatestet** vizsgáltam (lásd 4. pontban részletesen). Kilenc féle keveréket készítettem, melyek közül az egyik szál nélküli referencia beton volt.

A kísérletek során

állandó paraméterek voltak:

- cement típus és mennyiség,
- víz mennyiség,
- adalékanyag típus és mennyiség,
- illetve az adalékszer típusa;

változó paraméterek voltak:

- száltípus (4 féle: 3 makro műanyag- és 1 acélszál),
- száltartalom (0,5 V% és 1,0 V%).

A próbatestek hőterhelését követően a maradó nyomószilárdság és maradó hasítóhúzószilárdság értékeit hasonlítottam össze a szál nélküli betonnal:

- száltartalom szerint,
- szál típusa szerint.

A látszólagos porozitás és testsűrűség hőterhelés hatására bekövetkezett változásának mértékét hasonlítottam össze különböző szálak alkalmazásakor.

Az elvégzett vizsgálatok alapján kívánom meghatározni, hogy a makro műanyagszálak kedvezőbben viselkednek-e hőterhelés hatására, mint az acélszálak? Továbbá választ kívánok találni arra, hogy az általam vizsgált makro műanyagszálak közül melyik szálnak nagyobb a hőterhelés nélküli, illetve a hőterhelést követő maradó (nyomó- és hasító-húzó-) szilárdsága?

Ezek ismeretében körültekintőbben lehet kiválasztani, hogy érdemes-e és milyen esetekben makro műanyagszálakkal helyettesíteni az acélszálakat?

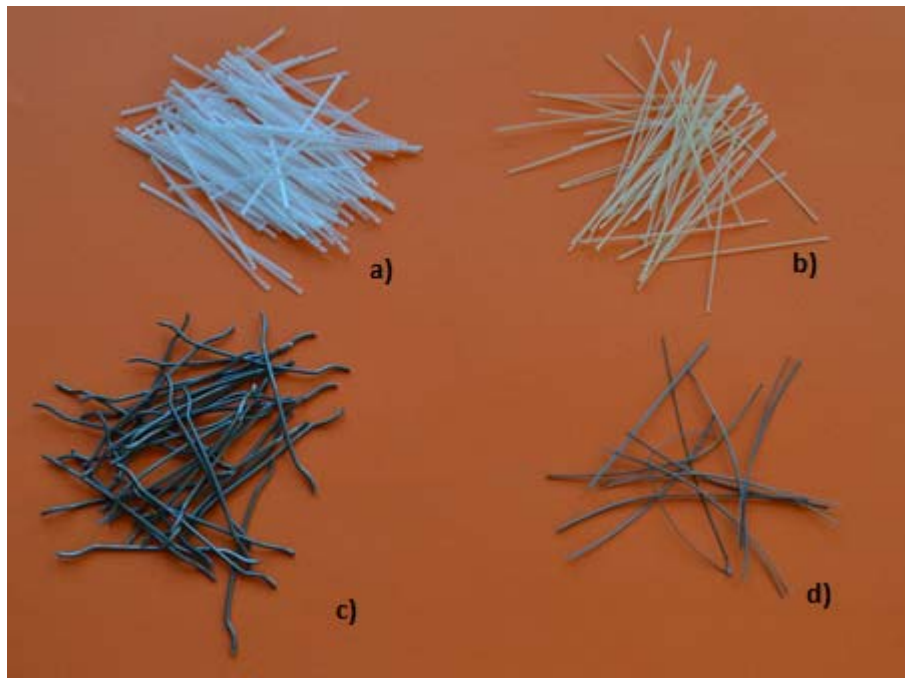
4. KÍSÉRLETI ANYAGOK

Minden keverékhez azonos cementet, adalékanyagot és adalékszert használtunk, amelyek a következők voltak:

- cement: CEM I 42,5 N típusú tiszta portlandcement (Duna-Dráva Cement Kft.),
- adalékanyag: 0/4 frakciójú kvarchomok és 4/8 frakciójú kvarckavics,
- adalékszer: Glenium C300 (BASF Hungária Kft.),
- 4 féle szál (melyeket részletesen a 4.1. fejezetben ismertetem).

4.1. Alkalmazott szálak és azok jellemzői

Kutatásom során 4 féle szálát alkalmaztam (4.1. ábra). Három különböző makro műanyag- és egy acélszálát, annak vizsgálatára, hogy az acélszál helyettesítésére alkalmazott makro műanyagszálak milyen hatással vannak a beton tulajdonságaira a hőterhelést követően. A szál nélküli betont és az acélszálás betont viszonyítási alapnak tekintettem. Mind a négy féle szálát 0,5 V% és 1,0 V%-os mennyiségben adagoltam a betonhoz (4.1. táblázat).



4.1. ábra: Alkalmazott szálak, a) BarChip48, b) Concrix, c) Humix 50, d) Mapefibre CN54

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

4.1. táblázat: Alkalmazott szálak jellemzői (a gyártók által megadott adatok alapján)

Szál neve	BarChip48	Concrix	Mapefibre CN54	Humix 50
Kivitel		Bikomponensű makrószál, Mag-köpeny típusú		Hidegen húzott acélhuzalszál
Anyag	Módosított olefin	Poliiolefin	Szintetikus polifil	Hidegen húzott acélhuzalszál
Alak	Dombornyomott	Strukturált szál		Hidegen húzott, végeiken meghajlított
Sűrűség	0,90-0,92	0,91	0,91 +/- 0,02	7,85
Hossz [mm]	48	50 +/-5%	54+/-5%	50+/-1,5
Szín	Fehér	Sárga	Fekete	Ezüst
Sav-és lúgállóság		Kiváló	Kiváló	
Húzó- /szakítószilárdság [N/mm ²]	640	510	> 500	1000-1200
Rugalmassági modulus [GPa]	10	>10	> 5	206
Lágyulási pont [°C]	159-179	~150	165 +/- 5	
Gyulladás pont [°C]	>450			
Átmérő [μm]		500	320+/-5%	1000+/-20

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

4.2. Alkalmazott betonösszetétel

A vizsgálataimhoz kilenc féle betonösszetételt alkalmaztam (4.2.a táblázat, 4.2.b táblázat). A kilenc fajta beton receptúrában a szálak típusa és mennyisége és a folyósítószer mennyisége kivételével azonosak voltak. Tehát a víz, a cement és az adalékanyag típusa és százalékos aránya minden keverékben azonos, ezzel törekedve arra, hogy valóban a szálak hatékonysága tűnjön ki a vizsgálatok során. A betonreceptúrákban a tervezett levegőtartalom 15 l/m^3 volt.

4.2.a táblázat: Betonösszetétel MIX1-MIX5

C35/45-8-F4			MIX1	MIX2	MIX3	MIX4	MIX5
ANYAG	FAJTA/FRAKCIÓ		TÖMEG	TÖMEG	TÖMEG	TÖMEG	TÖMEG
			[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
Adalékanyagok	0/4mm frakció	45%	830	824	818	824	818
	4/8mm frakció	55%	1015	1008	1000	1008	1000
	Összesen	100%	1845	1832	1819	1832	1819
Cement	CEM I 42,5 N		380				
Szál	neve		0	Humix 50		BarChip48	
	V%		0	0,5	1,0	0,5	1,0
	mennyiség		0	39	78	4,55	9,1
Víz	$m_w/m_c=$	43%	163				
Adalékszer [cem.m%]		0,70%	2,66				
Tényleges adalékszer mennyiség			187	147	143	203	233
Összesen			2391	2417	2443	2383	2374

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

4.2.b táblázat: Betonösszetétel MIX6-MIX9

C35/45-8-F4			MIX6	MIX7	MIX8	MIX9
ANYAG	FAJTA/FRAKCIÓ		TÖMEG	TÖMEG	TÖMEG	TÖMEG
			[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
Adalékanyagok	0/4mm frakció	45%	824	818	824	818
	4/8mm frakció	55%	1008	1000	1008	1000
	Összesen	100%	1832	1819	1832	1819
Cement	CEM I 42,5 N		380			
Szál	neve		Concix		Mapefibre CN54	
	V%		0,5	1,0	0,5	1,0
	mennyiség		4,55	9,1	4,4	8,8
Víz	$m_w/m_c=$	43%	163			
Adalékszer [cem.m%]		0,70%	2,66			
Tényleges adalékszer mennyiség			293	1280	210	330
Összesen			2383	2374	2383	2374

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

5. KÍSÉRLET ELVÉGZÉSI MÓDJAI

5.1. Kísérleti mátrix

A kísérleteimhez használt próbatesteket az 5.1. táblázatban foglaltam össze.

5.1.a táblázat: Beton próbatestek mennyiségének összesítése

Fejlécben Maximális hőterhelés értéke alábbiakban: Hőterhelés maximális hőmérséklete formában szerepel

Betonösszetétel jele	Maximális hőterhelés értéke [°C]	Nyomószilárdság vizsgálathoz		Hasító-húzó szilárdság vizsgálatokhoz	Látzólagos porozitás és testsűrűség méréshez
		150 mm élhosszúságú kocka [db]	100 mm élhosszúságú kocka [db]	150 mm élhosszúságú kocka [db]	75-75-150 mm élhosszúságú hasáb [db]
MIX1	20	3	3	3	3
	150	-	3	3	3
	300	-	3	3	3
	500	-	3	3	3
	800	-	3	3	3
MIX2	20	3	3	3	3
	150	-	3	3	3
	300	-	3	3	3
	500	-	3	3	3
	800	-	3	3	3
MIX3	20	3	3	3	3
	150	-	3	3	3
	300	-	3	3	3
	500	-	3	3	3
	800	-	3	3	3
MIX4	20	3	3	3	3
	150	-	3	3	3
	300	-	3	3	3
	500	-	3	3	3
	800	-	3	3	3
MIX5	20	3	3	3	3
	150	-	3	3	3
	300	-	3	3	3
	500	-	3	3	3
	800	-	3	3	3
MIX6	20	3	3	3	3
	150	-	3	3	3
	300	-	3	3	3
	500	-	3	3	3
	800	-	3	3	3
MIX7	20	3	3	3	3
	150	-	3	3	3
	300	-	3	3	3
	500	-	3	3	3
	800	-	3	3	3
MIX8	20	3	3	3	3
	150	-	3	3	3
	300	-	3	3	3
	500	-	3	3	3
	800	-	3	3	3
MIX9	20	0	3	0	0
	150	-	3	0	0
	300	-	3	0	0
	500	-	0	0	0
	800	-	0	0	0
Összes		24	129	120	120
Összes próbatest				393	

5.2. Próbatestek készítése

Az adalékanyagot, mind a 0/4 mind a 4/8-as frakciót szárítókemencében (60 °C-on), illetve napon szárítottam, az adalékanyagot. Ezt követően fedett helyen tároltam és légszár az állapotában használtam fel az adalékanyagot.

A beton keverésénél figyelembe vettem az egyes száltípusokra vonatkozó gyári előírásokat. A szál nélküli referencia beton (MIX1), a Humix 50 (MIX2, MIX3), a Concrix (MIX6, MIX7) és a Mapefibre CN54 (MIX8, MIX9) szálakkal készült keverékek esetén a keverőbe való adagolás a következő volt: először a 4/8-as frakciót, majd a 0/4-es frakciót helyeztem a keverődobba. Ezeket követte a cement, majd a víz, végül pedig az adalékszer.

A BarChip48-as szál (MIX4, MIX5) esetén a gyártói előírás ettől eltért, így először 1 percig kevertem és csak ezt követően adtam hozzá a 4/8-as és 0/4-es frakciójú adalékanyagot, utána a cementet és az adalékszert.



5.1. ábra: Concrix szálak adagolása a betonhoz

Az így elkészült betonkeverékeknek megmértem a konzisztenciáját, majd hozzá adtam a szálakat is (5.1. ábra) (kivéve MIX1 referencia betonnál, mely nem tartalmazott szálakat és a BarChip48 szál esetén, ahol a szálakat és a vizet helyeztem a keverődobba).

A száladagolású beton konzisztenciáját területméréssel és roskadásméréssel is ellenőriztem. A konzisztenciát a területméréshez állítottam be a folyósítószerrel. A cél az F4 konzisztencia 490-550 mm-es terület elérése volt (az MSZ 4798-1:2004 szerint értelmezve). Ez a konzisztencia a Concrix száznál 1,0 V%-os adagolás esetén nem volt biztosítható, a szálak túlságosan fogták a betont, legfeljebb 375-390 mm területet tudtam elérni.

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A friss beton zsalukba való tömörítése két lépcsőben történt. Először a feléig töltöttem a zsalut betonnal és vibroasztalon 10 másodpercig tömörítettem, majd teleraktam és újra 10 másodpercen keresztül tömörítettem.

Egy nap szilárdulás után történt meg a próbatestek kizsaluzása. Ezt követően 7 napos korukig vízben, majd 28 napos korukig szobahőmérsékleten tároltam a próbatesteket.

Minden keverékből 22 db 150 mm élhosszúságú kocka, és 4db 100-100-600 mm-es hasáb készült. Az elkészült próbatestek vágására 28 napos korban került sor. Minden hasábból, a két szélét levágva 4db 100mm élhosszúságú kocka készült. Az általam felhasznált 100 mm élhosszúságú kockák száma 15 db volt minden keverékből. 4 db kockát pedig 4 részbe vágva kaptam 75-75-150 mm-es hasábokat, melyek közül betonkeverékenként 15 db-ot használtam fel a látszólagos porozitás vizsgálatához.

5.3. Próbatestek hőterhelése

A próbatesteket 29 napos koruktól kezdve hőterheltem (5.2. ábra). Minden betonkeverékből minden hőterhelési lépcsőnél

- 3 db 150 mm élhosszúságú kockát,
- 3 db 100 mm élhosszúságú kockát, valamint
- 3 db 75-75-150 mm-es hasábot

hőterheltem. Az egyes hőterhelési lépcsők maximális hőmérséklete: 150 °C, 300 °C, 500 °C és 800 °C volt. Továbbá referenciának 6db 150 mm élhosszúságú kockát, 3 db 100 mm élhosszúságú kockát, valamint 75-75-150 mm méretű hasábot laborlevegőn tároltam.



5.2. ábra: 800 °C-os kemence próbatestekkel az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék Laboratóriumában

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A próbatesteket a szobahőmérsékletű kemencébe helyeztem, majd egyenletes sebességgel fűtöttem fel a cél hőmérsékletre, amelyen egy órán keresztül tartottam. Egy óra elteltével kivettem a próbatesteket a kemencéből és hagytam, hogy labor hőmérsékletre hűljenek.

5.4. Próbatestek vizsgálatai

A hőterhelést követően megkezdtem a próbatestek szilárdsági vizsgálatait.

5.4.1. Nyomószilárdság vizsgálat

Nyomószilárdságot keverékenként 3 db 150 mm élhosszúságú, 20 °C-os próbatesten és 15 db (minden hőterhelési lépcsőnél 3 db-ot) 100 mm élhosszúságú kockán mértem. A nyomószilárdságot ALPHA-3-3000 S típusú törőgéppel vizsgáltam (5.3. ábra). Először a próbatestek hőterhelés utáni méreteit mértem le század pontossággal, tolómérővel, tömegüket pedig gramm pontosságú kalibrált mérleggel, majd ez után elvégeztem a nyomószilárdsági vizsgálatot, 5 kN/s terhelési sebességgel a 100 mm élhosszúságú kockákon és 11,25 kN/s terhelési sebességgel a 150 mm élhosszúságú kockákon.



5.3. ábra: Nyomószilárdság vizsgálat ALPHA-3-3000 S típusú törőgéppel az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék Laboratóriumában

5.4.2. Hasító-húzószilárdság vizsgálat

A hasító-húzószilárdságot a 150 mm élhosszúságú próbatesteken végeztem, ALPHA-3-3000 S típusú törőgéppel.

Először lemértem a próbakockák hőterhelés utáni méreteit század mm pontossággal tolómérővel, majd a tömegüket gramm pontosságú kalibrált mérlegen. Ezt követően hagytam a próbatesteket kihűlni és elvégeztem a hasító-húzószilárdsági vizsgálatot, 3,5 kN/s törési sebességgel, szabványos kialakítású törőfejjel (5.4. ábra). A törési eredményeket dokumentáltam.



5.4. ábra: ALPHA-3-3000 S típusú törőgép, szabványos törőfejjel az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék Laboratóriumában

5.4.3. Látszólagos porozitás mérés

Látszólagos porozitást a 75-75-150 mm-es hasábokon mértem. Minden keverékből 15 db próbatesten. A hasábok tömegét tized gramm pontosságú mérlegem mértem. A hasábok tömegét 28 napos korukban, laborhőmérsékleten megmértem. Ezt követően elvégeztem a próbatestek hőterhelését. Az 1 órás hőterhelés hőmérsékleti szintjei a következők 150 °C, 300°C, 500 °C és 800 °C. Minden hőterhelési szinten, 3 db próbatestet terheltem. Minden keverékből 3 db próbatestet tartottam 20 °C hőmérsékleten. A hőterhelést követően ismét megmértem a tömegüket, majd a szárítószekrényben 60 °C-on tömegállandóságig szárítottam őket. Ez után ismét megmértem a tömegüket, majd vízzel telített kádba tettem a próbatesteket és a tömegállandóságuk elérével víz alatti és nedves tömeget mértem.

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

6. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

A vizsgálati eredmények értelmezéséhez a 6.1. táblázatban összefoglaltam az alkalmazott szálakat típus és mennyiség szerint.

6.1. táblázat: Alkalmazott szálak típusa és mennyisége

Keverék	Szál neve	Szál anyaga	Szálmennyiség [V%]
MIX1	nincs szál		
MIX2	Humix 50	Acél	0,5
MIX3	Humix 50	Acél	1,0
MIX4	BarChip48	Módosított olefin	0,5
MIX5	BarChip48	Módosított olefin	1,0
MIX6	Concrix	Poliolefin	0,5
MIX7	Concrix	Poliolefin	1,0
MIX8	Mapefibre CN54	Szintetikus polifil	0,5
MIX9	Mapefibre CN54	Szintetikus polifil	1,0

6.1. Szemrevételezés

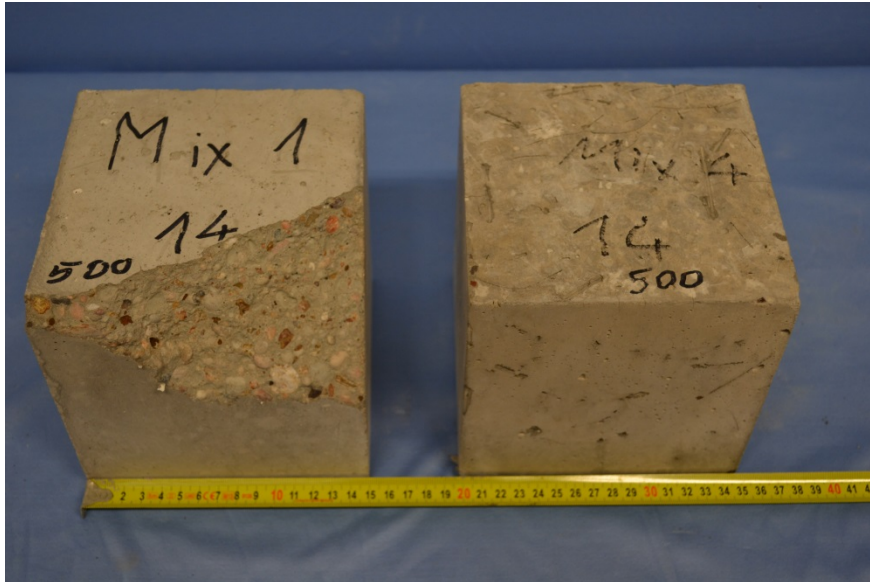
A hőterhelést és vágást követően összehasonlítottam a hőterhelést kapott próbatesteket a 20 °C-on tárolt próbatestekkel. A 150 °C maximális hőterheléssel terhelt próbatestnél színbeli eltérést nem tapasztaltam. A 300 °C-on hőterhelt makro műanyagszálas próbatestek felületén a szál olvadt volt, megfolyt, de még nem égett ki (6.1. ábra).



6.1. ábra: MIX7 keverékből készült próbatest 300 °C hőterhelés után

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

500 °C feletti hőteher esetén (6.2. ábra) a beton színe kivilágosodott, az adalékanyag pirosas lett, a műanyag szálak teljesen kiégtek, a nyomuk jól látszódott a beton felületen. A felületen hajszálrepedések mutatkoztak. 800 °C-on hőterhelt próbatestek enyhén sárgás színűek lettek, felületük repedezett volt, könnyen morzsolódtak (6.3. ábra).



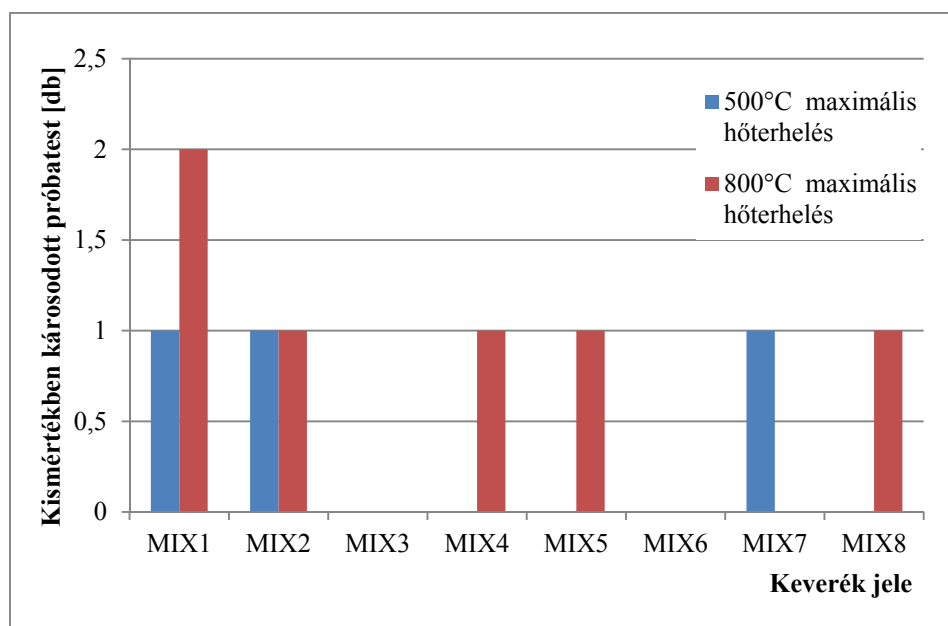
6.2. ábra: 150 mm élhosszúságú kockák hőterhelést követően



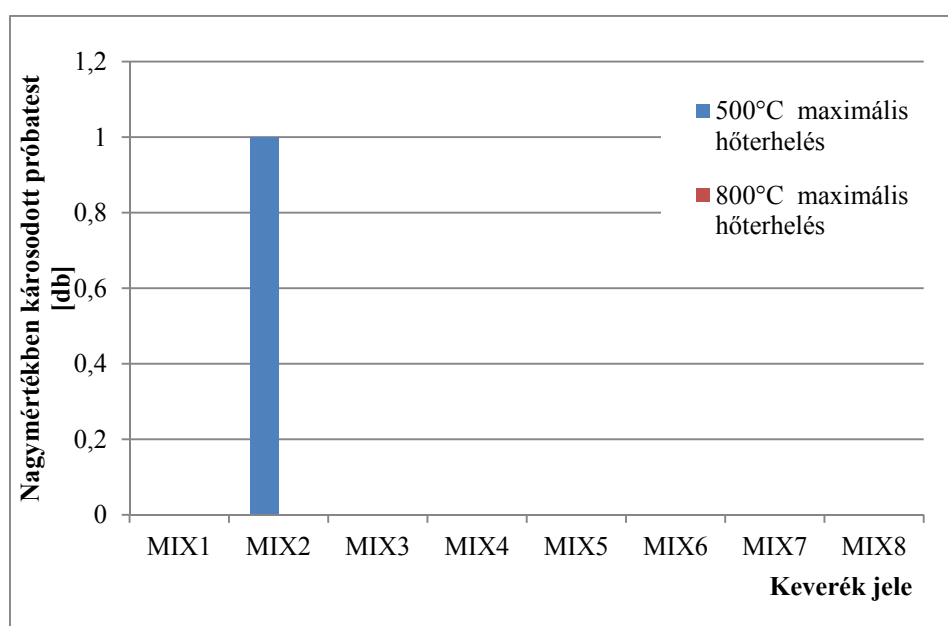
6.3. ábra: 100 mm élhosszúságú, vágott kockák hőterhelést követően

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A 150 mm élhosszúságú kockák hőterhelése folyamán gyakran keletkeztek kismértékű károsodások (a próbatest széle vagy sarka letört). A szál nélküli beton (MIX1), a 0,5 V% száltartalmú acélszálalás beton (MIX2) és az 1,0 V% száltartalmú Concrix szálalás beton (MIX7) már 500 °C-on kismértékben károsodott. 800 °C-on hőterhelve a BarChip48 (MIX4 és MIX5) és a Mapefibre CN54 (MIX8) szállal készített próbatestek is kismértékben károsodtak (6.4. ábra). A 150 mm élhosszúságú próbatestek közül a hőterhelés során 1 db 500 °C-on hőterhelt 0,5 V% acélszáltartalmú (MIX2) beton kocka robbanásszerűen tönkrement (6.5. ábra).



6.4. ábra: Kismértékben károsodott 150 mm élhosszúságú kockák

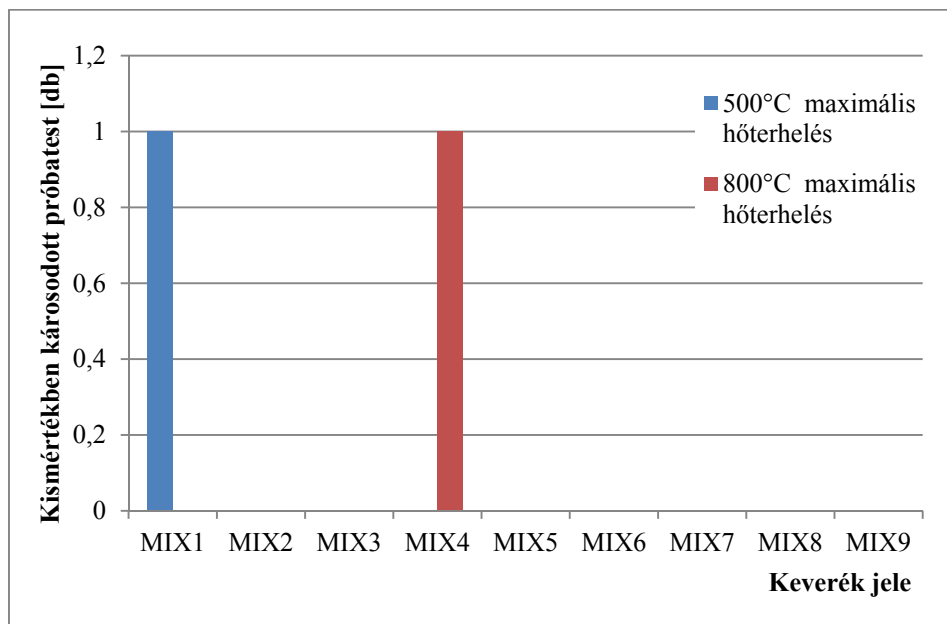


6.5. ábra: Nagymértékben károsodott 150 mm élhosszúságú kockák

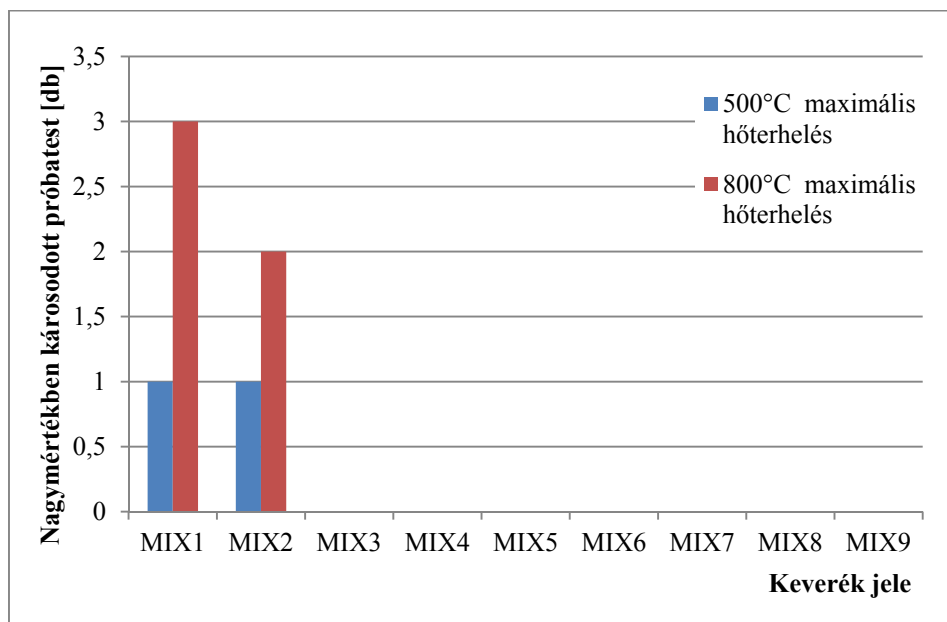
Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A 100 mm élhosszúságú kockák közül kismértékben károsodott 500 °C hőmérséklet hatására egy szál nélküli betonkocka (MIX1), 800 °C hőmérséklet hatására pedig egy 0,5 V%, BarChip48 szálal betonkocka (MIX4) (6.6. ábra).

500 °C-on egy-egy próbatétel ment teljesen tönkre, míg a 800 °C-os hőterhelnél a szál nélküli kockák (MIX1) közül 3 db (az összes), az acélszálal kockák (MIX2) közül pedig 2 db ment tönkre robbanásszerűen (6.7. ábra).



6.6. ábra: Kis mértékben károsodott 100 mm élhosszúságú kockák



6.7. ábra: Nagy mértékben károsodott 100 mm élhosszúságú kockák

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

6.2. Nyomószilárdság vizsgálat

A beton próbatestek maradó nyomószilárdság vizsgálata során kapott eredményeket átlagoltam, és a 6.2. táblázatban gyűjtöttem össze. A maradó nyomószilárdsági értékekből kiszámítottam a maradó nyomószilárdság relatív átlagértékeit, melyeket a hőterhelés nélküli nyomószilárdsághoz viszonyított értéként határoztam meg. A maradó nyomószilárdság átlagainak relatív értékét a 6.3. táblázatban ismertetem. Vizsgálataim részletes eredményeit a melléklet 10.1. fejezetében ismertetem.

6.2. táblázat: Maradó nyomószilárdság átlagértéke

Hőterhelés maximális hőmérséklete [°C]	Maradó nyomószilárdság átlagértéke [N/mm ²]								
	MIX1	MIX2	MIX3	MIX4	MIX5	MIX6	MIX7	MIX8	MIX9
20	74,60	66,80	56,30	81,27	81,55	82,64	82,36	82,70	73,99
150	62,03	60,43	52,27	66,67	71,53	76,93	67,16	66,05	72,43
300	76,16	53,53	43,39	66,32	69,90	72,14	77,04	65,66	72,76
500	52,39	64,44	47,10	70,76	60,18	68,97	73,33	61,49	-
800	0,00	38,88	15,27	20,35	19,45	30,10	27,13	15,48	-

6.3. táblázat: Maradó nyomószilárdság relatív átlagértéke

Hőterhelés maximális hőmérséklete [°C]	Maradó nyomószilárdság relatív átlagértéke [-]								
	MIX1	MIX2	MIX3	MIX4	MIX5	MIX6	MIX7	MIX8	MIX9
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
150	0,83	0,90	0,93	0,82	0,88	0,93	0,82	0,80	0,98
300	1,02	0,80	0,77	0,82	0,86	0,87	0,94	0,79	0,98
500	0,70	0,96	0,84	0,87	0,74	0,83	0,89	0,74	-
800	0,00	0,58	0,27	0,25	0,24	0,36	0,33	0,19	-

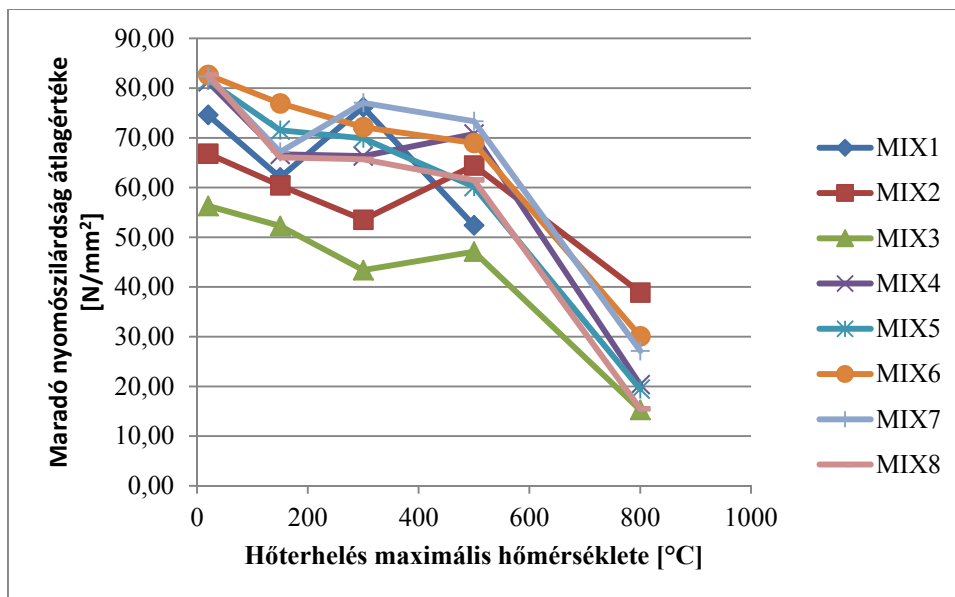
A próbatestek kiértékelését az alábbi szempontok szerint végeztem el:

- a szálak V% szerint,
- a szálak típusa szerint.

A 6.2 táblázatban ismertetem a maradó nyomószilárdság átlagértékeit. Az átlagérték minden pont 3 mérési eredmény átlagát mutatja. 20 °C hőmérsékleten a műanyagszál erősítésű betonok maradó nyomószilárdsága nagyobb volt, mint a szál nélküli és az acél

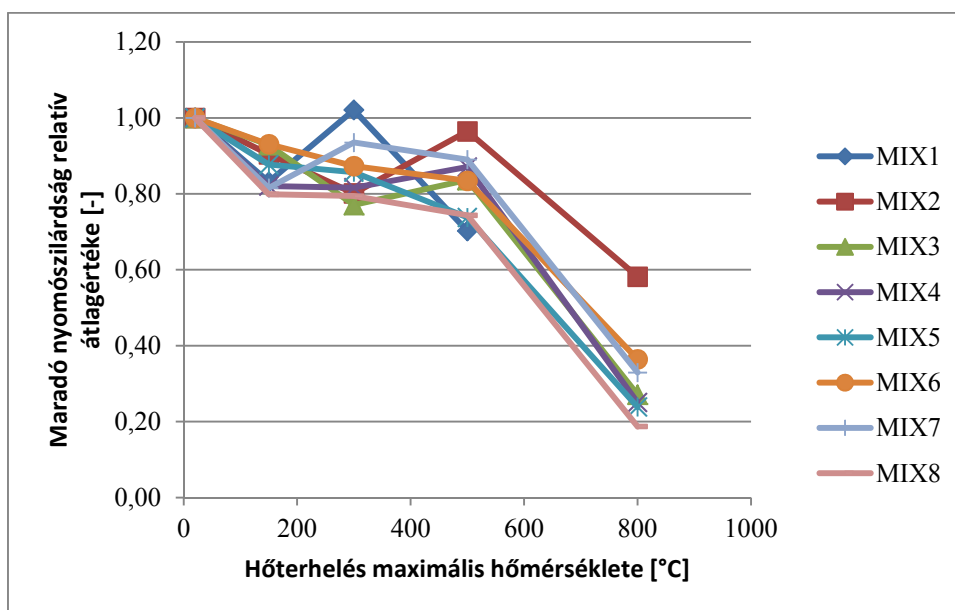
Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

szállal készült keverékeknek. 800 °C hőtehernél a műanyagszál erősítésű betonok maradó nyomószilárdsága nagymértékben csökkent.



6.9. ábra: Maradó nyomószilárdság átlagértéke, összes keverék

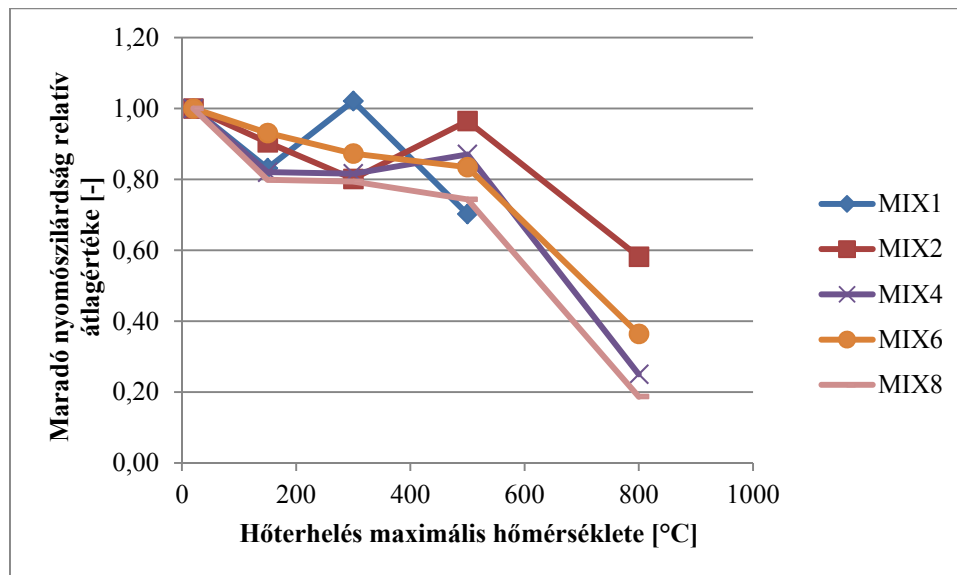
A 6.10. ábrán a maradó nyomószilárdság relatív átlagértékeit ábrázoltam. A relatív érték alatt azt értjük, hogy az adott hőmérsékletű hőterhelés, majd visszahűlés után mért értékeket osztjuk a 20 °C-on mért értékkel.



6.10. ábra: Maradó nyomószilárdság relatív átlagértéke, összes keverék

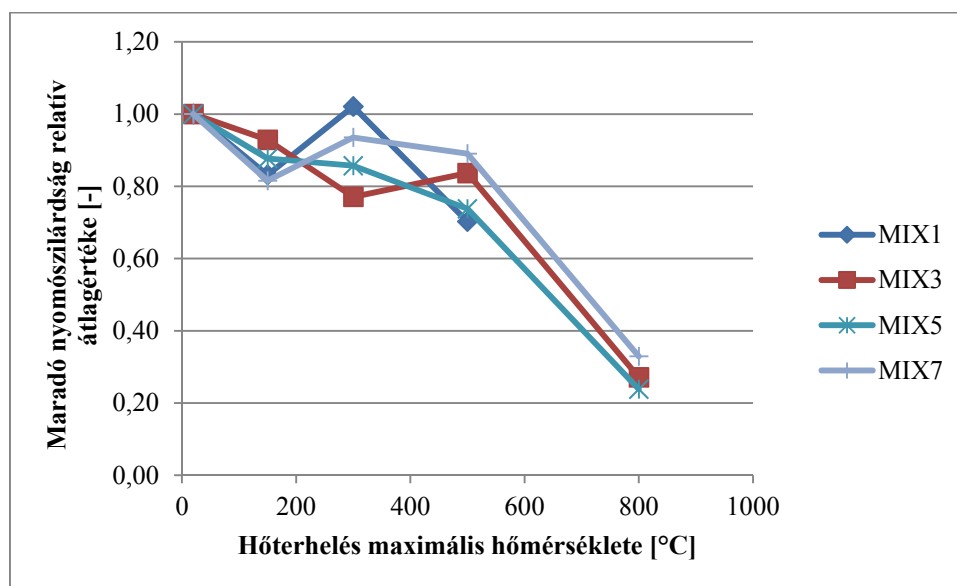
Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A 6.11. ábrán látható a 0,5 V% száltartalommal készült keverékek. Megfigyelhető, hogy 300 °C hőterhelés esetén a szál nélküli keveréknél egy lokális relatív nyomószilárdság növekedés tapasztalható minden, míg 0,5 V% száltartalmú keverék esetén ez a relatív nyomószilárdság növekedés nem mutatható ki.



6.11. ábra: Maradó nyomószilárdság relatív átlagértéke, 0,5 V% száltartalmú keverékek

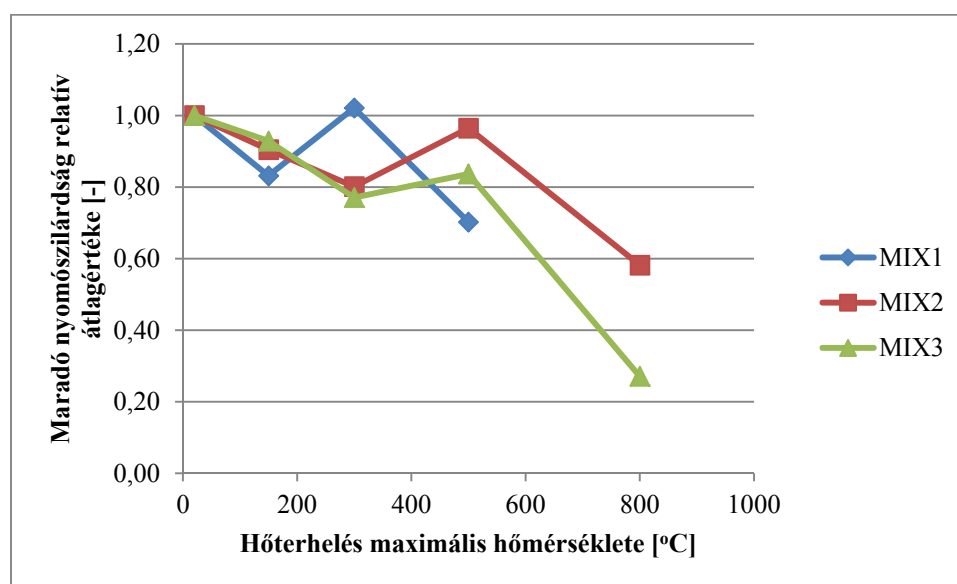
Az 1,0 V% térfogatszázalék esetén a műanyagszál tartalmú (MIX5 és MIX7) keverékek esetén a 150 °C hőterheléshez képest egy relatív maradó nyomószilárdság növekedés tapasztalható, míg az acélszál tartalmú (MIX3) keverék esetén a görbe lokális minimumpontja és az azt követő relatív maradó nyomószilárdság növekedés eltolódott (6.12. ábra). A növekedést 300 °C hőterhelési érték helyett 500 °C hőterhelésnél tapasztaltam.



6.12 ábra: Maradó nyomószilárdság relatív átlagértéke, 1,0 V% száltartalmú keverékek

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A **Humix 50** acélszál felhasználásával készült keverékek hőterhelés nélküli és 300°C alatti maximális hőterhelés esetén kisebb maradó nyomószilárdságot tapasztaltunk, mint a szálerősítés nélküli keveréknél. A relatív maradó nyomószilárdság (6.13. ábra) értékeiből látható, hogy az acélszál adagolása megváltoztatta a relatív maradó nyomószilárdság alakulását a hőmérséklet függvényében. A görbében tapasztalható lokális minimumpont 150°C-ról 300°C-ra tolódott el mind az 1,0 V%, mind a 0,5 V% acélszál adagolás esetén. Az 1,0 V% száladagolás kevésbé volt kedvező a beton hőterhelést követő maradó nyomószilárdságának és relatív maradó nyomószilárdságának szempontjából, mint a 0,5 V%. A szál nélküli beton 300 °C körül eléri az átmeneti szilárdságnövekedés maximális értékét, majd megindul a szilárdság csökkenés. Az acélszálás beton átmeneti szilárdságnövekedésének végértékét 500 °C körül éri el, mely 0,5 V% száltartalom esetén megközelíti a kezdeti szilárdság értéket. 500 °C feletti hőmérséklet esetén az acélszál tartalmú beton maradó nyomószilárdság szempontjából kedvezőbb, mint a szál nélküli beton. Fontos azonban, hogy a nyomószilárdság vizsgálatára készített acélszál erősítésű beton próbatestek közül 1 db robbanásszerűen tönkrement az 500 °C maximális hőterhelés esetén, míg 2 db robbanásszerűen tönkrement a 800°C maximális hőterhelés esetént. Ez azt bizonyítja, hogy noha a maradó nyomószilárdság szempontjából az acélszál kedvező hatású volt, azonban nagyobb a felület réteges leválásának (spalling) veszélye, mint a műanyag szállal készült keverékek esetén.



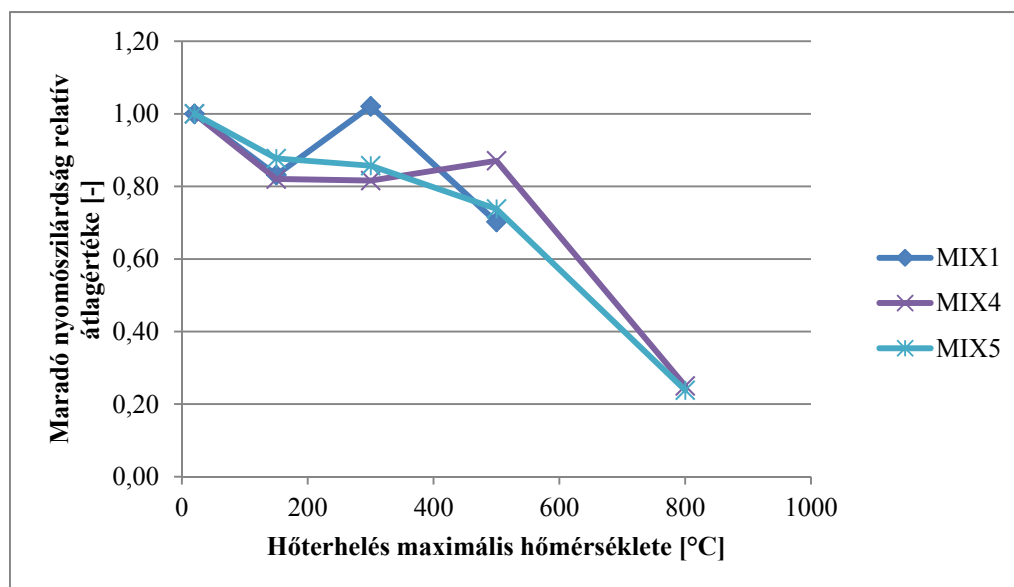
6.13. ábra: Maradó nyomószilárdság relatív átlagértéke Humix 50 acélszál alkalmazásánál

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A **BarChip48 műanyagszál** (6.14. ábra) alkalmazása a relatív maradó nyomószilárdság szempontjából a 0,5 V% kedvezőbb volt, mint az 1,0 V% szálmennyiség alkalmazása. Az átmeneti szilárdságnövekedés mértéke az 1,0 V% száltartalomnál kismértékű. A műanyag szálak a 150 °C-os hőterhelést követően már elkezdnek olvadni.

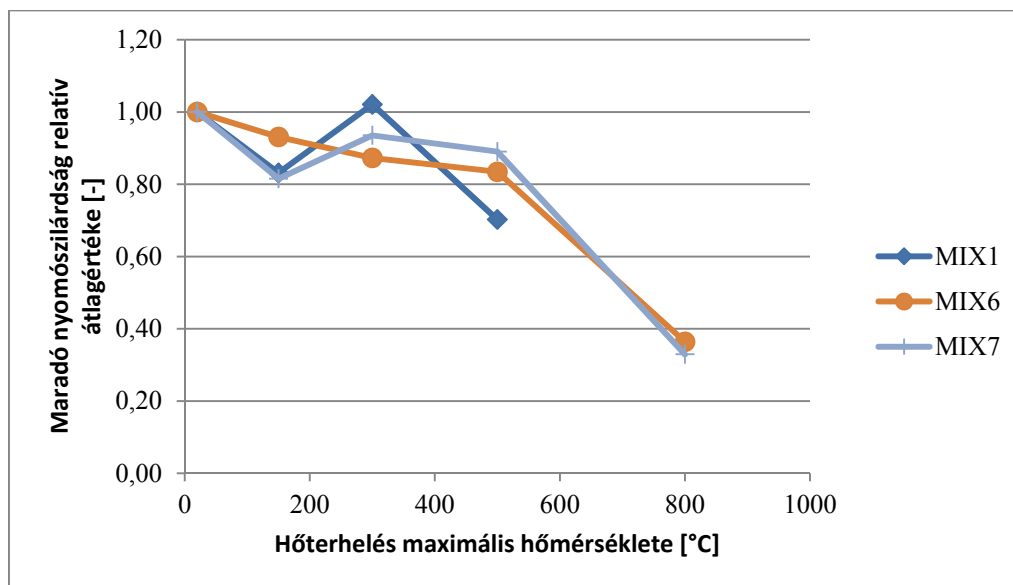
A **Concrix műanyagszál** (6.15. ábra) 0,5 V% szálmennyiség alkalmazása esetén nem volt kimutatható az átmeneti szilárdság növekedés, melyet a szál nélküli keveréknél 300 °C-nál tapasztaltunk. 1,0 V% száltartalomnál a 150 °C-nál tapasztalható völgy mértéke szinte azonos a szál nélküli betonéval, de az átmeneti szilárdságnövekedés mértéke már kisebb volt. A műanyag szálak a 150 °C-os hőterhelést követően már elkezdnek olvadni.

A **Mapecifibre CN54 műanyagszálnál** 1,0 V% mennyiség adagolása nem volt lehetséges, mivel a beton a keverés során szétosztályozódott. A 0,5 V% száladagolásnál a kezdeti szilárdságcsökkenés hasonló mértékben következik be, mint a szál nélküli betonnál. Az átmeneti szilárdságnövekedés azonban vizsgálati eredményeimből nem kimutatható. A Mapecifibre CN45 típusú szállal (6.16. ábra) készült beton kedvezőtlenebb relatív maradó nyomószilárdsági tulajdonságokkal rendelkezik, mint a BarChip48, illetve a Concrix típusú szállal készült betonok.

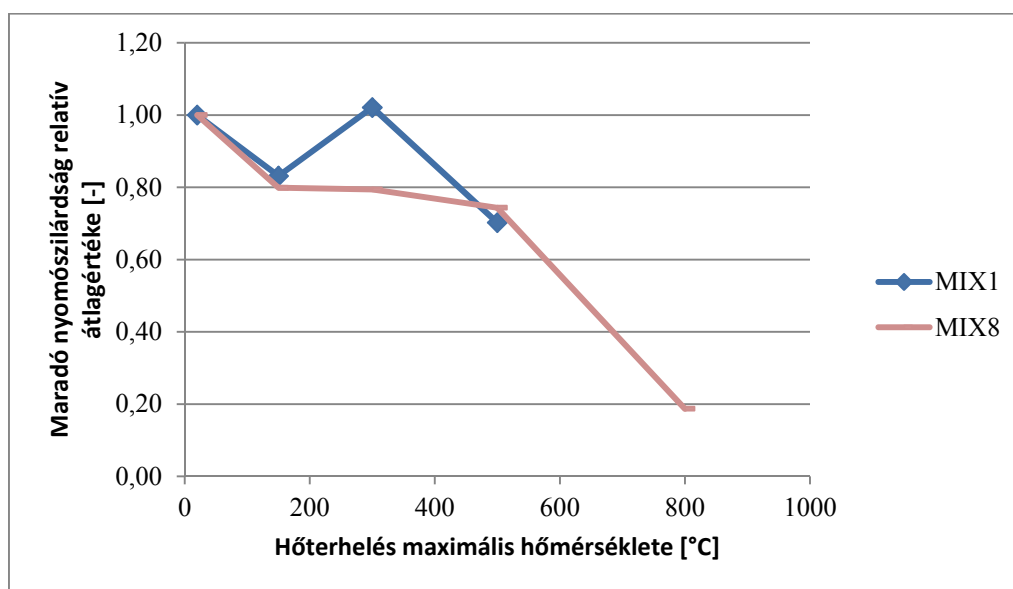


6.14. ábra: Maradó nyomószilárdság relatív átlagértéke BarChip48 szál alkalmazásánál

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire



6.15. ábra: Maradó nyomószilárdság relatív átlagértéke a Concrix szál alkalmazásánál



6.16. ábra: Maradó nyomószilárdság relatív átlagértéke a Mapefibre CN54 szál alkalmazásánál

Kísérleti eredményeim szerint a vizsgált szálak közül a maradó nyomószilárdság szempontjából a Concrix (műanyag) és a Humix 50 (acél) szálak alkalmazásánál a legkedvezőbbek az eredmények, azonban az acélszál alkalmazása esetén nem csökkent a felület réteges leválásának a veszélye, mely műnyagszál alkalmazása esetén jelentősen csökkent.

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

6.3. Hasító-húzószilárdság vizsgálat

A beton próbatestek maradó hasító-húzószilárdság vizsgálata során kapott eredményeket átlagoltam, és a 6.4. táblázatba gyűjtöttem össze. A szilárdsági értékekből kiszámítottam a maradó hasító-húzószilárdság relatív átlagértékeit. Ezeket a 6.5. táblázatban ismertetem. Vizsgálataim részletes eredményeit a melléklet 10.2. fejezetében ismertetem.

6.4. táblázat: Maradó hasító-húzószilárdság átlagértéke

Maradó hasító-húzószilárdság átlagérték [N/mm²]								
Hőterhelés [°C]	MIX1	MIX2	MIX3	MIX4	MIX5	MIX6	MIX7	MIX8
20	6,76	7,95	8,18	7,32	8,35	7,79	7,30	7,51
150	5,72	7,21	6,51	6,96	8,06	7,93	7,49	7,35
300	7,01	5,73	5,93	6,45	7,52	7,64	7,86	6,42
500	5,47	3,59	4,94	5,03	5,31	5,61	5,08	4,43
800	0,79	1,71	2,17	0,64	0,48	1,02	0,68	0,42

6.5. táblázat: Maradó hasító-húzószilárdság relatív átlagértéke

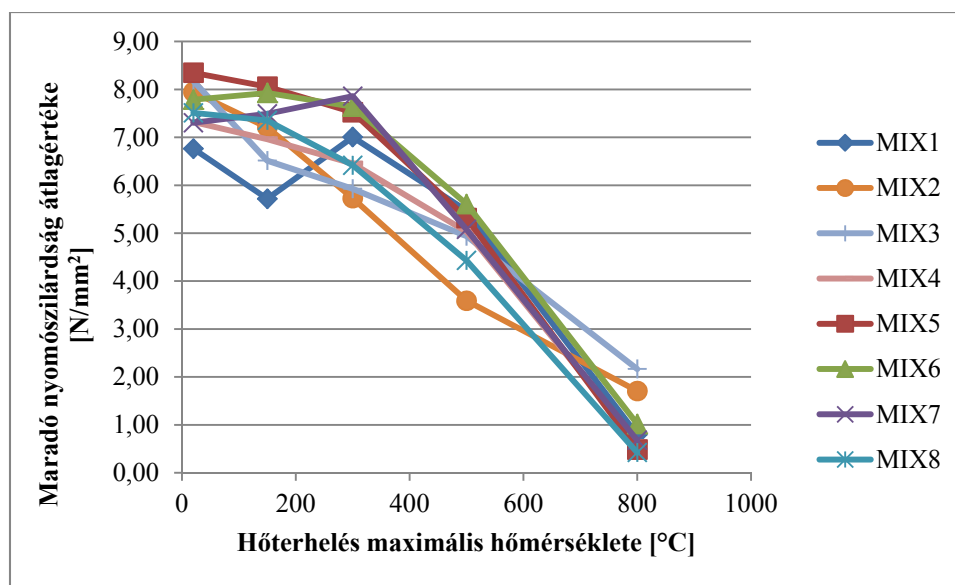
Maradó hasító-szilárdság relatív átlag érték [-]								
Hőterhelés [°C]	MIX1	MIX2	MIX3	MIX4	MIX5	MIX6	MIX7	MIX8
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
150	0,85	0,91	0,80	0,95	0,97	1,02	1,03	0,98
300	1,04	0,72	0,72	0,88	0,90	0,98	1,08	0,85
500	0,81	0,45	0,60	0,69	0,64	0,72	0,70	0,59
800	0,12	0,21	0,26	0,09	0,06	0,13	0,09	0,06

A próbatestek kiértékelését a maradó hasító-húzószilárdság esetén a következő szempontok szerint végeztem el:

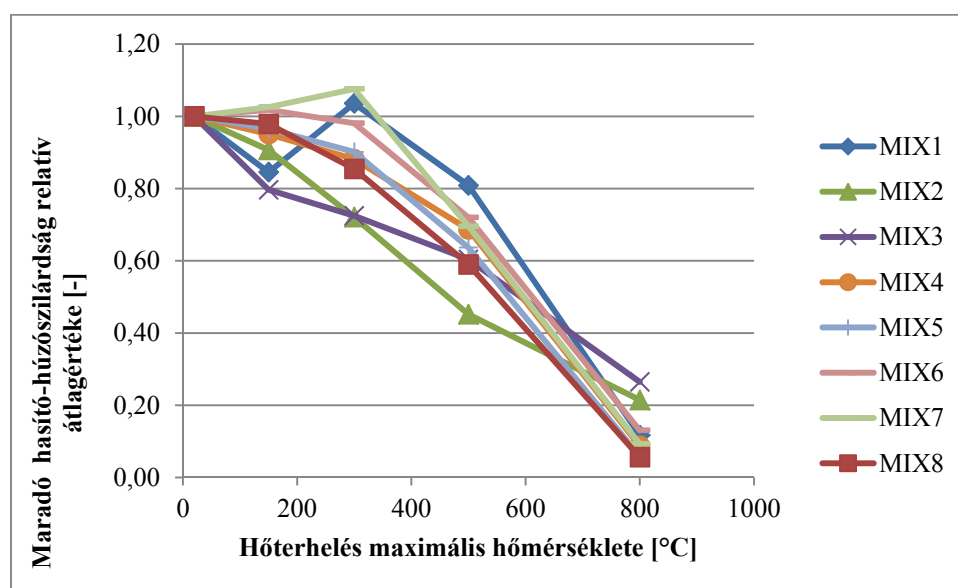
- a szálak V% szerint,
- a szálak típusa szerint.

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A 20 °C-on mért hasító-húzószilárdsági (abszolút) átlagértékek (6.17 ábra) kevésbé térnek el egymástól, mint a nyomószilárdsági (abszolút) átlagértékek, tehát a száladagolásnak kisebb hatása volt a hasító-húzószilárdságra, mint a nyomószilárdságra. Legkisebb hasító-húzószilárdság értéket a MIX1 (szál nélküli) betonnál kaptuk. Legnagyobb hasító-húzószilárdság szilárdsága a MIX5 (1,0 V% acélszál) keveréknél adódott. A kezdeti (150°C) szilárdságcsökkenés és átmeneti szilárdságnövekedés (300 °C) csak a szál nélküli betonnál rajzolódott ki élesen.



6.17. ábra: Maradó hasító-húzószilárdság átlagértéke, összes keverék

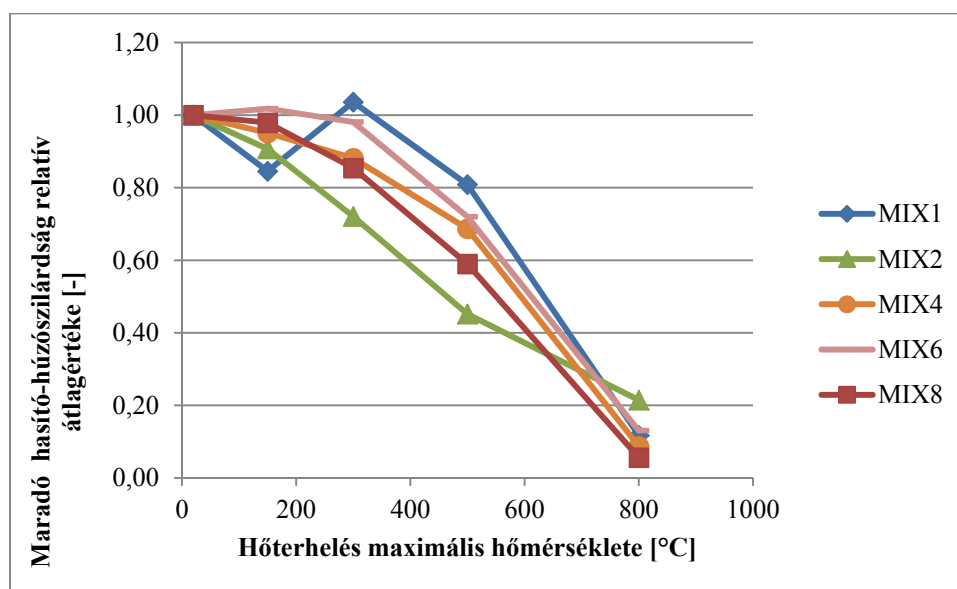


6.18. ábra: Maradó hasító-húzószilárdság relatív átlagértéke, összes keverék

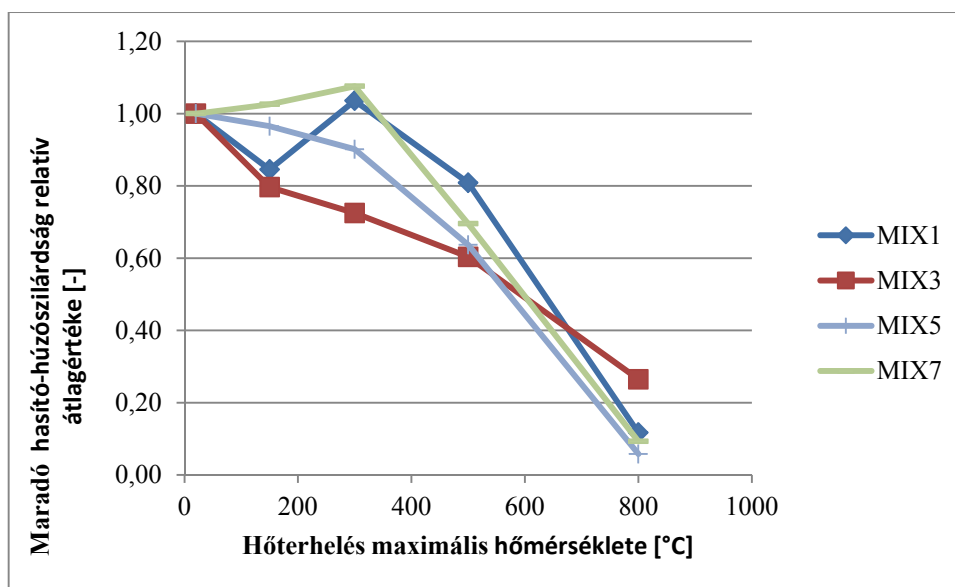
Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A **0,5 V% szálmennyiség** esetén a maradó hasító-húzószilárdság relatív értékeit a 6.19. ábrán adom meg. A műanyag szálerősítésű betonoknak kisebb a hasító-húzószilárdság relatív átlagértéke, mint a szál nélküli betonnak 300 °C és 800 °C közötti tartományban.

Az **1,0 V% szálmennyiségnél** az acélszál erősítésű betonnál a maradó hasító-húzószilárdság relatív értéke (6.20. ábra) a hőteher növekedésével folyamatosan csökken. A BarChip48 műanyagszál maradó hasító-húzószilárdsága kisebb mértékben csökken, mint acélszál alkalmazása esetén. Concrix szál alkalmazásakor 300 °C körüli hőmérsékletig a hasító-húzószilárdság, így a relatív érték is növekszik, és csak ezt követően kezd csökkenni.



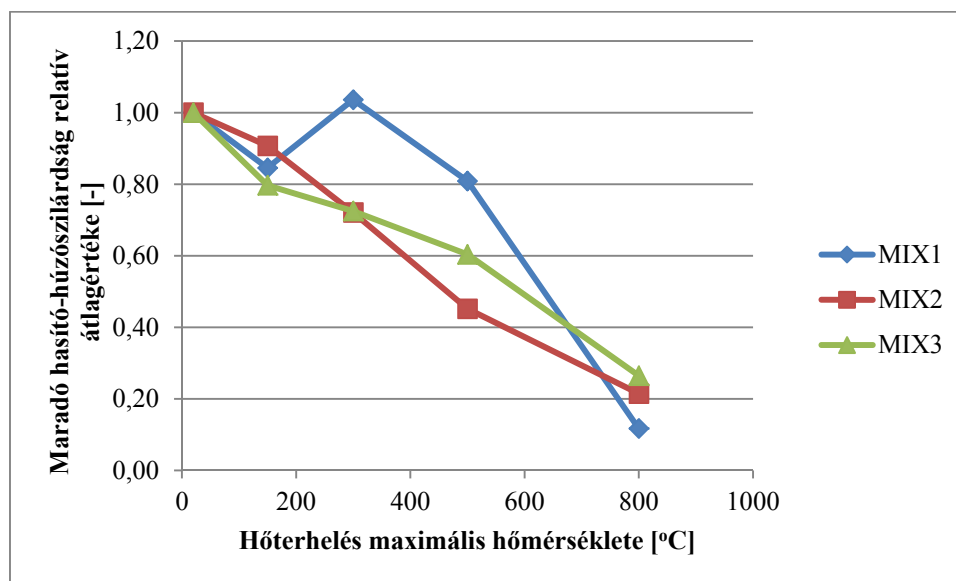
6.19. ábra: Maradó hasító-húzószilárdság relatív átlagértéke 0,5 V% szálmennyiség esetén



6.20. ábra: Maradó hasító-húzószilárdság relatív átlagértéke 1,0 V% szálmennyiség esetén

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

A **Humix 50** acélszál tartalmú beton maradó hasító-húzószilárdságának relatív értékei (6.21. ábra) 300 °C és 500 °C maximális hőterhelésnél a szálnélküli beton hasító-húzószilárdságának relatív értékei alatt maradnak. 800 °C maximális hőterhelésnél azonban a maradó hasító-húzószilárdság relatív értékei az acélszál alkalmazása esetén nagyobb szilárdsági értékeket adtak.



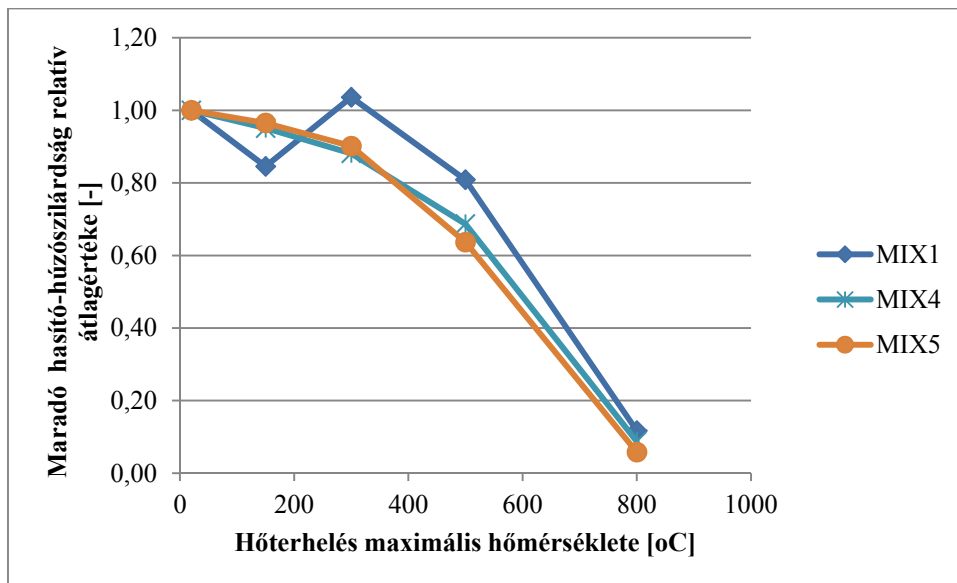
6.21. ábra: Maradó hasító-húzószilárdság relatív átlagértéke, Humix 50 szál alkalmazása esetén

A **BarChip48** száltartalmú beton (6.22. ábra) maradó hasító-húzószilárdságának relatív értéke szinte azonos mértékben csökken mind a 0,5 V%, mind az 1,0 V% száladagolás esetén. BarChip48 alkalmazásakor nem mutatható ki a lokális minimumpont és az utána tapasztalható átmeneti hasító-húzószilárdság relatív értékének növekedése.

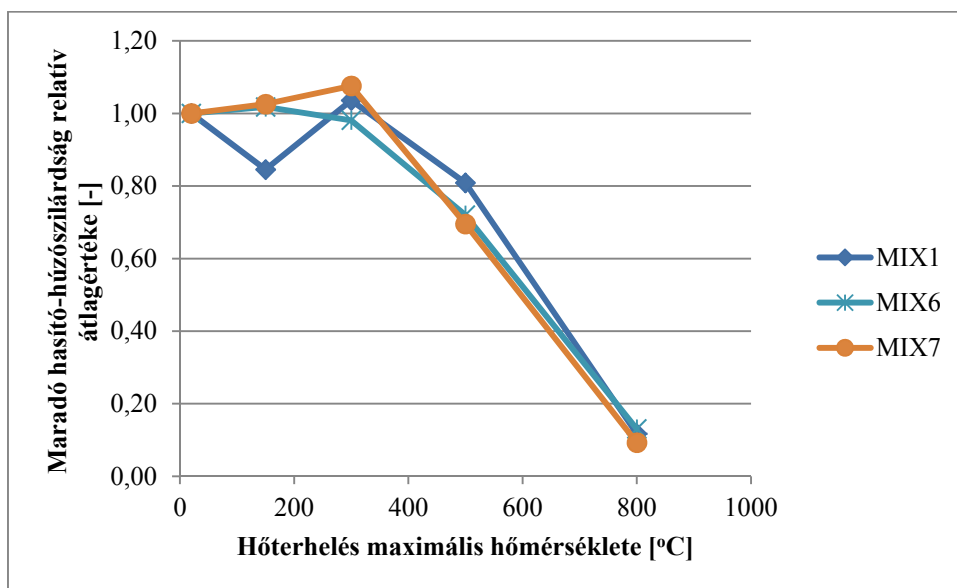
A **Concrix** makro műanyagszállal készült betonnak (6.23. ábra) is szinte azonos mértékben csökken a hasító-húzószilárdság relatív értéke 0,5 V% és 1,0 V% esetén. 300 °C felett nem mutatható ki a száltartalom hatása a hasító-húzószilárdság relatív értékére.

A **Mapefibre CN54** száladagolású beton (6.24. ábra) esetén a hasító-húzószilárdság relatív értéke hasonló tendenciát mutat, mint a többi makró műanyagszállal készített keverék.

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire



6.22. ábra: Maradó hasító-húzószilárdság relatív átlagértéke, BarChip48 szál alkalmazása esetén



6.23. ábra: Maradó hasító-húzószilárdság relatív átlagértéke, Concris szál alkalmazása esetén

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

6.4. Látszólagos porozitás és testsűrűség

A 6.6. táblázatban ismertetem a **látszólagos** porozitás térfogat százalékos értékeit. Vizsgálataim részletes eredményeit a melléklet 10.3. fejezetében ismertetem.

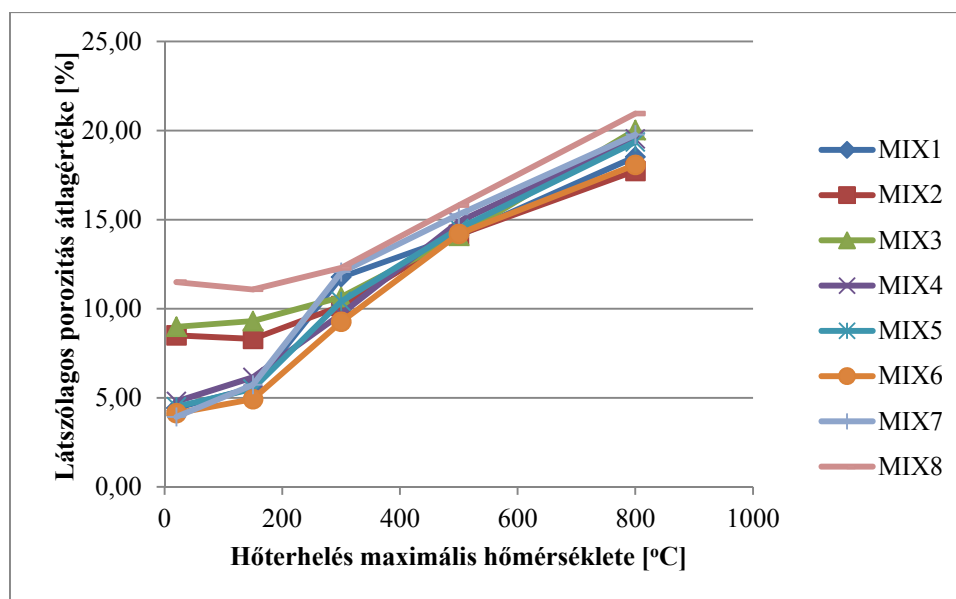
A MIX8 műanyagszál erősítésű betonnak volt a legnagyobb a látszólagos porozitása minden hőterhelési érték esetén. Ennek oka lehet a nehéz bedolgozhatóság. A szál nélküli beton és a makro műanyagszálas betonok (kivéve a Mapefibre CN54) látszólagos porozitásának térfogat százalékos értékei minden hőterhelési lépcsőn közel azonosak voltak. Az acélszál erősítésű próbatestek hőterhelés nélküli próbatesten mért látszólagos porozitása kétszerese a szál nélküli beton látszólagos porozitásának. 150 °C-os hőterhelés hatására az acélszál erősítésű beton látszólagos porozitása is lényegesen nagyobb, mint a szál nélküli beton porozitása, de már kisebb az eltérés, mint a hőterhelés nélküli keverékek esetén. Ennek oka feltehetően a nehéz bedolgozhatóság. Az acélszál erősítésű betonok látszólagos porozitása 300 °C-os hőmérséklet hatás felett közel meggyezik a szál nélküli beton látszólagos porozitás térfogat százalékos értékével.

6.6. táblázat: Látszólagos porozitás

Látszólagos porozitás [%]								
Hőterhelés [°C]	MIX1	MIX2	MIX3	MIX4	MIX5	MIX6	MIX7	MIX8
20	4,43	8,50	8,99	4,79	4,50	4,14	3,93	11,49
150	5,56	8,31	9,31	6,15	5,50	4,92	5,73	11,08
300	11,77	10,15	10,66	9,71	10,41	9,27	12,05	12,29
500	14,11	14,15	14,09	14,89	14,51	14,20	15,29	15,81
800	18,52	17,73	20,03	19,53	19,36	18,08	19,77	19,08

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

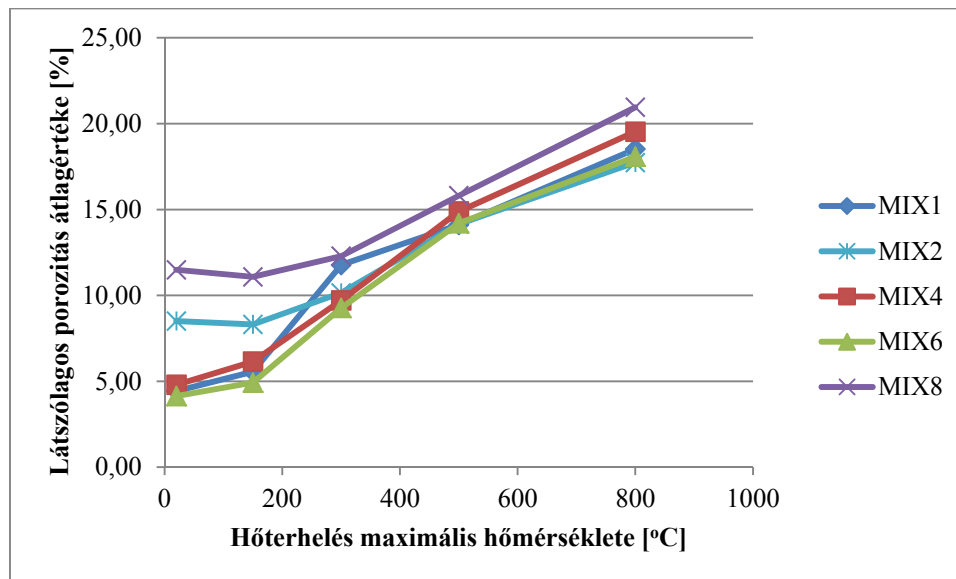
A látszólagos porozitás (6.24. ábra) a hőterhelés hatására minden keverék esetén nőtt. A műanyagszálas keverékek látszólagos porozitása szinte azonos mértékben nőtték, mint a szál nélküli beton látszólagos porozitása. A MIX8 20 °C hőmérsékleten mért látszólagos porozitása lényegesen magasabb, mint a többi szállal készült betoné. Ennek oka feltételezhetően a beton nehéz bedolgozása (a Mapefibre CN54 szálat 1,0 V%-os arányban nem volt alkalmazható). 300 °C hőmérséklet feletti hőteher hatására a MIX8 betonkeverék látszólagos porozitása kiegyenlítődik, amit a szálak kiégése, és a betonban hő hatására végező folyamatok magyarázhatnak.



6.24. ábra: Látszólagos porozitás átlagértéke, összes keverék

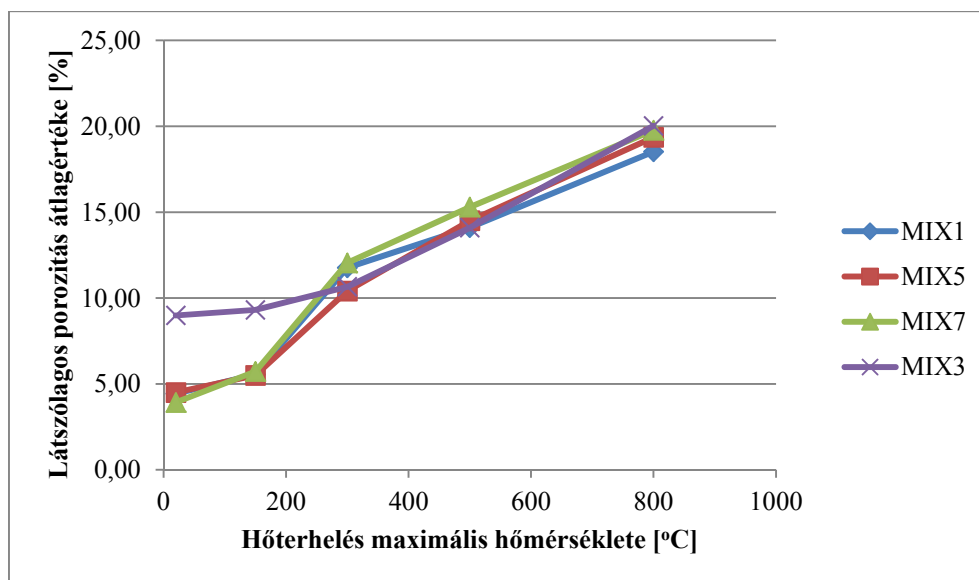
0,5 V% szálarányú szálerősítésű (6.25. ábra) betonok alkalmazásakor a látszólagos porozitás a hőmérséklet hatására közel egyenletesen nő 300°C-nál magasabb hőterhelés esetén. Az ábra jól mutatja, hogy az acélszál erősítésű beton látszólagos porozitása 20 °C hőmérsékleten a szál nélküli beton porozitásának kétszerese. 150 °C hőterhelésnél az acélszálak és a szál nélküli beton látszólagos porozitása kisebb a különbség, mint a 20 °C-on látszólagos porozítások között. 300 °C maximális hőterhelési hőmérsékleten és annál nagyobb hőterhelési érték esetén az acélszálás beton látszólagos porozitása akkora értékek körül alakul, mint a szál nélküli és a műanyagszál erősítésű beton látszólagos porozitása.

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire



6.25. ábra: Látszólagos porozitás átlagértéke, 0,5 V% szálmennyiség esetén

Az 1,0 V% műanyagszál tartalmú betonok látszólagos porozitás (6.26. ábra) tekintetében hasonló viselkedést mutat, mint a szál nélküli beton. Az acélszál erősítésű beton látszólagos porozitása 1,0 V% száltartalom esetén azonos, mint 0,5 V% száltartalom esetén.



6.26. ábra: Látszólagos porozitás átlagértéke [%], 1,0 V% szálmennyiség esetén

Vizsgálataim alapján kijelenthető, hogy a szálak mennyisége 0,5 V% és 1,0 V% esetén nem befolyásolta jelentős mértékben a látszólagos porozitást. Nagyobb hatása

Makro szálok hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

volt a látszólagos porozitás növekedésére a hőterhelés maximális értékének növekedésének és a beton hőmérséklet hatására bekövetkező változásának.

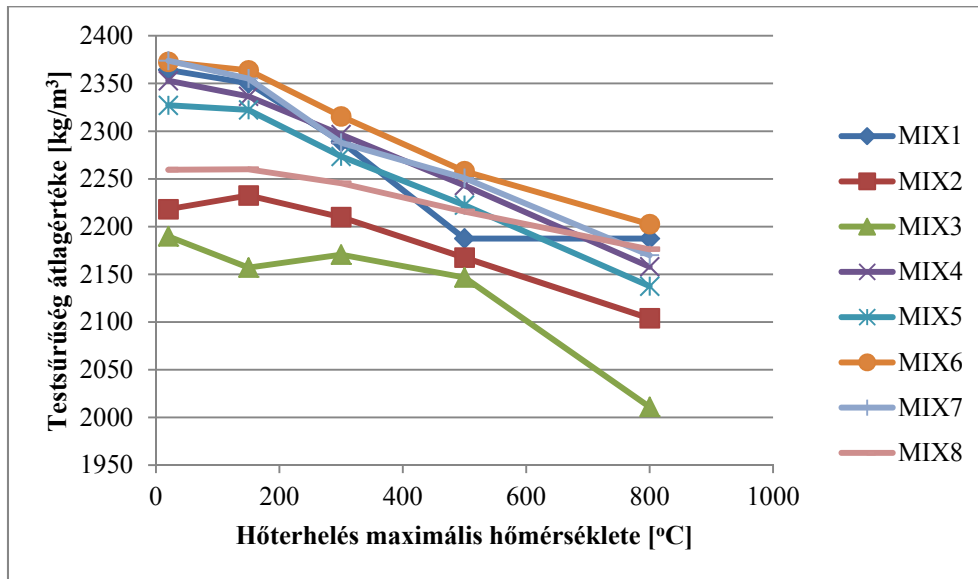
A 6.7. táblázatban adom meg a **testsűrűség** átlagértékeit a hőterhelés függvényében az egyes keverékek esetén.

6.7. táblázat: *Testsűrűség*

Testsűrűség átlagértéke [kg/m ³]								
Hőterhelés [°C]	MIX1	MIX2	MIX3	MIX4	MIX5	MIX6	MIX7	MIX8
20	2364	2218,24	2189,78	2353	2327	2373	2374	2260
150	2350	2232,62	2157,04	2337	2322	2364	2355	2260
300	2289	2209,95	2170,69	2296	2274	2315	2288	2245
500	2187	2167,44	2146,66	2243	2222	2258	2251	2216
800	2187	2103,87	2010,96	2158	2138	2203	2170	2176

A 6.27. ábra szerint beton testsűrűsége a hőterhelési hőmérséklet emelkedésének hatására csökken. A szálerősítésű betonok testsűrűsége közel lineárisan csökken, míg a szál nélküli beton 500 °C hőmérséklet után a testsűrűség állandónak tekinthető. A beton hőmérséklet hatására bekövetkező testsűrűség csökkenését a klinkerásványok bomlása és a víz távozása magyarázza. 500 °C hőmérsékletig végbemegy ez a folyamat, ezért a szál nélküli beton 500 °C feletti testsűrűsége állandó. A 20 °C hőmérsékleten mért MIX3, MIX2 és MIX8 betonkeverékek testsűrűsége a legkisebb. Ennek feltételezhető oka a beton gyengébb minőségű bedolgozhatósága volt. Megfigyelhető az acélszálak 20 °C-on mért nagy térfogat százalékos látszólagos porozitása és kis testsűrűsége, mely feltehetően a bedolgozhatósága miatt volt.

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire



6.27. ábra: Testsűrűség átlagértéke, összes keverék

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban egyre szélesebb körben használunk különböző mérnöki létesítmények építéséhez szálerősítésű betont. A szakirodalom szerint hatékonyan alkalmazhatók a mikro műanyagszálak tűzállóság növelésére. Az acélszálak helyett egyre gyakrabban alkalmaznak makro műanyagszálakat az acélszálak korróziós problémáinak kiküszöbölésére.

Vizsgálataim célja a makro műanyagszálak hatásának kísérleti meghatározása volt a beton tüzeset utáni maradó szilárdságára (maradó nyomószilárdság és maradó hasító-húzószilárdság), látszólagos porozitására és testsűrűségére.

A kísérleteim során **393 darab próbatestet** vizsgáltam. Kilenc féle keveréket készítettem, melyek közül az egyik szál nélküli referencia beton volt.

A kísérletek során

állandó paraméterek voltak:

- cement típus és mennyiség,
- víz mennyiség,
- adalékanyag típus és mennyiség,
- illetve az adalékszer típusa;

változó paraméterek voltak:

- száltípus (4 féle: 3 makro műanyag- és 1 acélszál),
- száltartalom (0,5 V% és 1,0 V%).

Az elvégzett vizsgálatokkal meg kívántam határozni, hogy a makro műanyagszálak kedvezőbben viselkednek-e hőterhelés hatására, mint az acélszálak? Továbbá választ kívántam találni arra, hogy az általam vizsgált makro műanyagszálak közül melyik szálnak nagyobb a hatása a hőterhelés nélküli, illetve a hőterhelést követő maradó nyomó- és hasító-húzószilárdsága?

Kutatásomban hőterheletlen, 150 °C-on, 300 °C-on, 500 °C-on, 800 °C-on hőterhelt próbatestek esetén mértem a próbatestek hőterhelést követő maradó nyomószilárdságát, maradó hasító-húzószilárdságát, látszólagos porozitását és testsűrűségét az egyes keverékek esetén.

- A műanyagszál erősítésű betonok nyomószilárdsága (hőterhelés nélkül) nagyobb volt, mint az acélszállal készült, illetve szál nélküli keveréké.
- A nyomószilárdság 20 °C hőmérsékleten az acélszálas betonoknál volt a legkisebb, mely feltehetően a bedolgozásból származó nagyobb porozitással magyarázható.

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

- **Az 500 °C és 800 °C maximális hőterhelés esetén tapasztalt maradó nyomószilárdság legnagyobb értéke a Concix száladagolású betonkeveréknek adódott.**
- **800 °C maximális hőterhelés esetén vizsgálataim szerint a maradó nyomószilárdság szempontjából a Concix (műanyag) és a Humix 50 (acél) szálak alkalmazásánál a legkedvezőbbek az eredmények a vizsgált szálak közül.** Fontos azonban megemlíteni, hogy a nyomószilárdság vizsgálatára készített acélszál erősítésű beton próbatestek jelentős mennyisége 500 °C felett robbanásszerűen tönkrement. Ez azt bizonyítja, hogy noha a maradó nyomószilárdság szempontjából az **acélszál** kedvező hatású volt, de **nem csökkent a felület réteges leválásának (spalling) veszélye** a szál nélküli keverékhez képest, **míg a makro műanyagszál alkalmazásával a felület réteges leválásának veszélye jelentősen csökkent.**
- **A műanyagszálakkal készült próbatestek maradó nyomószilárdsága 500°C hőmérsékleten közel akkora, mint a szál nélküli beton és az acélszál erősítésű beton hőterhelés nélküli nyomószilárdsága.**
- A hőterhelés nélküli próbatesteknél a száladagolásnak kisebb hatása volt a hasító-húzószilárdságra, mint a nyomószilárdságra.
- Maradó hasító-húzószilárdság vizsgálatokor műanyagszálak alkalmazásakor 300 °C-nál nagyobb hőterhelési érték esetén kisebb hatása van, mint 300°C, vagy annál kisebb hőterhelési értékek esetén.
- **A látszólagos porozításra nagyobb hatása volt a betonban végbemenő visszafordíthatatlan folyamatoknak, mint a makro műanyagszálak kiolvadásának.**
- **Az általam vizsgált makro műanyagszál erősítésű betonok testsűrűsége és hőmérséklet hatására bekövetkező testsűrűség csökkenése közel azonos.**

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

- Az acélszál erősítésű beton 20 °C hőmérsékleten a szál nélküli beton porozitásának kétszerese, ennek oka feltehetően a nehéz bedolgozhatóság volt. 150 °C hőterhelésnél az acélszálak és a szál nélküli beton látszólagos porozitásánál kisebb a különbség, mint a 20 °C-on mért látszólagos porozítások között. 300 °C körüli maximális hőterhelési hőmérséklettől az acélszállal készült beton látszólagos porozitása közel akkora, mint a szál nélküli és a műanyagszál erősítésű beton látszólagos porozitása.

Tehát kísérleteimmal kimutattam, hogy a makro műanyagszálak hatása a beton hőterhelését követő maradó nyomószilárdságára kedvezően hatnak. A beton réteges leválásának (spalling) kialakulási veszélyét jelentősen csökkentik a makro műanyagszálak. A beton látszólagos porozitását csak csekély mértékben befolyásolják. Hőterhelés hatására bekövetkező látszólagos porozitás növekedésére a makro műanyagszálak nincsenek jelentős hatással. A makro műanyagszálak hatása a beton testsűrűségére elhanyagolható mértékű.

Hőterhelés nélküli legnagyobb nyomószilárdsága a Concrix (0.5 V%) száladagolású, legnagyobb hasító húzószilárdsága pedig a BarChip48 (1,0V%) száladagolású betonnak volt.

Vizsgálataim szerint a maradó nyomószilárdság és maradó hasító-húzószilárdság szempontjából a Concrix és a Humix 50 szálak alkalmazásánál a legkedvezőbbek az eredmények, azonban az acélszál alkalmazása esetén nem csökkent a felület réteges leválásának a veszélye, mely műanyagszál alkalmazása esetén jelentősen csökkent.

Későbbiekben kutatásom folytatását tervezem, azonos betonreceptúrával mikro műanyagszálak és bizonyos szálak esetén maradó hajlító-húzószilárdság vizsgálatával.

8. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani azoknak, akik segítettek és támogatták munkámat

Külön köszönetet szeretnék mondani:

- konzulenseimnek: Czoboly Olivér Attila doktorandusznak, Dr. Majorosné Dr. Lublós Éva Eszter adjunktusnak, Dr. Balázs L. György tanszékvezető, egyetemi tanárnak TDK dolgozatom elkészítésében nyújtott szakmai és gyakorlati segítségükért, útmutató tanácsaikért,
- Dr. Salem G. Nehme egyetemi docensnek a vizsgalatai anyagok beszerzésében nyújtott segítségéért, és a betonreceptúra biztosításáért,
- az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék minden munkatársának segítségéért, tanácsaiért.

Végül szeretném megköszönni családom és barátaim támogatását és segítségüket a tanulmány ellenőrzésében.

9. HIVATKOZÁSOK

archdaily.com (letöltve: 2014. 07. 10.)

Balázs L. Gy. (2004): „Szálerősítésű betonok - Kutatástól az alkalmazásig”,

VASBETONÉPÍTÉS, 2004/4, IV. évf. 2.szám, pp. 98-99

Balázs L. Gy. szerk. (2010): „Szerkezetek tervezése tűzterherre az MSZEN szerint”, 174.p.

Balázs L. Gy., Polgár L. (1999): „A szálerősítésű betonok múltja, jelene és jövője”,

VASBETONÉPÍTÉS, 99/1, I. évf., 1. szám, pp. 3-10

Balázs L. Gy., Lublós É. (2006): „Műanyagszál adagolású betonok alkalmazási lehetőségei,

különös tekintettel a tűzállóságra”, *VASBETONÉPÍTÉS* 2006/2, VIII. évf., 2. szám, pp.

57-63

Bergmeister K., Figerloos F., Wörner J.D. (2011), Beton Kalender 2011, Kraftwerke

blick.ch/news/schweiz (letöltve: 2014. 07. 10.)

civishir.hu/sport/labdarugas (letöltve: 2014. 10. 11.)

Czoboly O., Lublós É. (2012), „Vasbeton szerkezetek tűzállósága”,

KATASZTRÓFAVÉDELMI SZEMLE, 12/5, XIX. évf., 5. szám, pp. 15-18

Czoboly O., Lublós É., Balázs L. Gy. (2013) „Építőanyagok választás hatása az épületek

tűzássóságára”, XVII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, pp. 74-80

Czoboly O., Lublós É., Balázs L. Gy. (2014) *fib* „Effectiveness of fibres for structural

elements” FRC2014, Joint ACI-*fib* International Workshop: Fibre Reinforced

Concrete: from Design to Structural Applications pp. 357-366

ductal.com (letöltve: 2014. 10. 11.)

elastoplastic.com (letöltve: 2014. 03. 31.)

epiteszforum.hu/leegett-a-delfti-egyetem-epiteszkara (letöltve: 2014. 07. 10.)

Ernst & Sohn, 822.p.langlovagok.hu/kepek (letöltve: 2014. 07. 10.)

feuerwehrmagazin.de/ (letöltve: 2014. 07. 10.)

Horst Falkner., Volkner Henke. (2004), „Acél szálerősítésű beton, a kutatástól a

szabványosításig” *VASBETONÉPÍTÉS* 2004/4 IV. évf. 4. szám, pp. 100-107

index.hu/kulfold/alagut (letöltve: 2014. 07. 10.)Faserbeton 2, ISBN: 978-3-433-02954-1,

langlovagok.hu (letöltve: 2014. 07. 10.)

langlovagok.hu/kepek (letöltve: 2014. 07. 10.)

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

Lublóy É., (2008), „Tűz hatása a betonszerkezetek anyagaira”, PhD értekezés, 100 p.

MSZ EN 14889-2 (2007): Magyar szabvány, szálak betonhoz, második rész: polimer

szálak, meghatározások, előírások és megfelelés, 27 p.

origo.hu/itthon (letöltve: 2014. 07. 10.)

structurae.net (letöltve: 2014. 10. 11.)

wikipedia.org/Budapest_Sportcsarnok (letöltve: 2014. 07. 10.)

tunneltalk.com/Fire-safety (letöltve: 2014. 07. 10.)

100dorog.ru (letöltve: 2014. 10. 11.)

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10. MELLÉKLET

10.1. Nyomószilárdság mérési eredményei

10.1. táblázat: Nyomószilárdság értékek MIX1 keveréknél

Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele:	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Törőerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Nyomószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	Magasság	Nyomott felület				Egyedi érték	Átlagérték	
			a	b	c							
150×150×150	20°C	01	7,854		149,59	148,66	149,65	1612	2360,03	72,46	74,11	
		02	8,023		150,03	149,92	150,11	1704	2376,24	75,72		
		03	7,921		149,87	149,86	149,93	1666	2352,29	74,15		
100×100×100	20°C	A	2,272		100,22	102,27	96,70	730	2292,34	73,82	74,60	
		B	2,361		100,30	103,25	99,73	764	2286,02	74,20		
		C	2,318		100,46	102,95	97,16	758	2306,78	75,78		
100×100×100	150°C	A	2,313	2,298	100,06	102,62	99,11	617	2258,08	60,66	62,03	
		B	2,260	2,247	100,28	97,31	100,75	638	2285,53	65,08		
		C	2,306	2,297	100,39	103,39	98,23	613	2252,93	60,36		
100×100×100	300°C	A	2,335	2,231	100,04	103,20	99,45	806	2172,91	78,53	76,16	
		B	2,406	2,304	100,39	104,98	99,18	812	2204,25	77,99		
		C	2,262	2,178	100,01	101,65	97,32	712	2201,43	71,97		
100×100×100	500°C	A	2,389	1,411							78,58	Felrobbant
		B	2,353	2,230	100,31	102,82	98,04	782	2205,36	77,58		Sarka levált
		C	2,248	2,150	100,19	101,99	95,84	778	2195,38	79,59		
100×100×100	800°C	A	2,281									Felrobbant
		B	2,423									Felrobbant
		C	2,277									Felrobbant

10.2. táblázat: Nyomószilárdság értékek MIX2 keveréknél

Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele:	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Törőerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Nyomószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	Magasság	Nyomott felület				Egyedi érték	Átlagérték	
			a	b	c							
150×150×150	20°C	01	7,868		150,52	153,47	149,49	1635	2278,42	71,27	71,46	
		02	7,929		149,87	150,80	150,05	1612	2338,12	71,24		
		03	7,898		150,00	150,09	149,74	1615	2342,81	71,86		
100×100×100	20°C	A	2,358		100,43	101,86	101,75	708	2265,39	68,31	66,80	
		B	2,332		100,52	100,37	100,24	756	2305,85	75,14		
		C	2,380		100,68	101,50	100,51	581	2317,17	56,95		
100×100×100	150°C	A	2,240	2,220	100,58	100,38	99,18	577	2217,02	57,96	60,43	
		B	2,323	2,302	100,40	97,90	100,94	662	2320,20	66,99		
		C	2,262	2,225	100,47	101,42	99,94	571	2184,90	56,33		
100×100×100	300°C	A	2,380	2,321	102,13	101,31	103,91	495	2158,80	47,02	53,53	
		B	2,294	2,251	100,50	100,55	99,96	489	2228,44	48,65		
		C	2,301	2,229	100,28	99,57	99,17	641	2251,06	64,92		
100×100×100	500°C	A	2,386								64,44	felrobbant
		B	2,277	2,154	100,22	98,05	98,87	638	2217,07	65,81		
		C	2,277	2,158	100,05	100,28	99,13	627	2169,78	63,07		
100×100×100	800°C	A	2,357								38,88	felrobbant
		B	2,218									felrobbant
		C	2,330	2,192	100,72	99,56	99,98	387	2186,39	38,88		

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.3. táblázat: Nyomószilárdság értékek MIX3 keveréknél

Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele:	Nyomószilárdság						Törőerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Nyomószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Tömege [kg]		Mérete [mm]			Egyedi érték			Átlagérték		
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	Magasság	Nyomott felület							
150×150×150	20°C	01	7,842		150,39	149,90	150,30	1549	2314,45	68,75	65,01		
		02	7,786		150,60	152,73	149,84	1413	2259,11	61,74			
		03	7,770		150,63	151,58	149,59	1463	2274,91	64,52			
100×100×100	20°C	A	2,313		100,23	100,59	100,89	553	2273,92	54,49	56,30		
		B	2,375		101,46	102,55	102,17	602	2234,14	57,46			
		C	2,363		101,77	102,25	99,96	582	2271,72	56,94			
100×100×100	150°C	A	2,330	2,312	100,19	101,12	102,96	564	2216,45	54,17	52,27		
		B	2,243	2,222	100,66	99,03	101,45	508	2197,19	50,56			
		C	2,251	2,214	100,51	100,98	99,44	523	2193,67	52,08			
100×100×100	300°C	A	2,247	2,165	100,46	100,39	100,62	461	2133,49	45,64	43,39		
		B	2,328	2,267	100,56	102,82	104,08	429	2106,60	40,09			
		C	2,378	2,314	100,39	102,54	103,76	473	2166,45	44,46			
100×100×100	500°C	A	2,273	2,157	100,65	100,82	100,56	450	2113,80	44,39	47,10		
		B	2,308	2,196	101,69	99,94	99,62	459	2169,04	46,10			
		C	2,326	2,211	100,89	100,97	100,38	515	2162,23	50,81			
100×100×100	800°C	A	2,308	2,149	101,51	102,06	102,99	145	2014,08	13,79	15,27		
		B	2,340	2,180	102,31	102,22	105,46	149	1976,58	13,82			
		C	2,374	2,226	101,88	101,67	102,74	190	2091,72	18,19			

10.4. táblázat: Nyomószilárdság értékek MIX4 keveréknél

Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele:	Nyomószilárdság						Törőerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Nyomószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Tömege [kg]		Mérete [mm]			Egyedi érték			Átlagérték		
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	Magasság	Nyomott felület							
150×150×150	20°C	01	8,055		150,20	149,79	150,38	1721	2380,80	76,40	77,03		
		02	8,022		149,86	149,76	150,82	1766	2369,97	78,19			
		03	8,004		149,87	149,85	149,17	1710	2389,21	76,50			
100×100×100	20°C	A	2,361		100,31	96,98	101,93	807	2381,04	81,64	81,27		
		B	2,414		102,26	100,99	99,91	788	2339,61	78,10			
		C	2,420		100,56	99,29	101,72	849	2382,75	84,06			
100×100×100	150°C	A	2,420	2,394	100,49	101,28	101,12	678	2326,17	66,20	66,67		
		B	2,482	2,463	100,51	102,89	103,26	742	2306,48	69,84			
		C	2,426	2,410	102,80	100,31	101,32	650	2306,66	63,95			
100×100×100	300°C	A	2,448	2,370	102,73	103,34	99,78	692	2237,38	67,11	66,32		
		B	2,387	2,335	100,65	99,05	99,62	646	2351,11	65,47			
		C	2,286	2,247	100,18	98,09	97,82	637	2337,60	66,39			
100×100×100	500°C	A	2,129	2,007	100,68	97,16	93,11	586	2203,54	64,78	70,76		
		B	2,214	2,091	101,55	98,88	94,47	673	2204,31	72,05			
		C	2,450	2,311	100,72	101,01	102,32	780	2220,03	75,47			
100×100×100	800°C	A	2,368	2,187	101,24	101,12	100,72	157	2121,02	15,42	20,35		
		B	2,369	2,190	100,87	100,14	101,22	228	2141,94	22,49			
		C	2,073	1,920	100,88	95,98	92,33	205	2147,69	23,13		Peremen kis lető	

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.5. táblázat: Nyomószilárdság értékek MIX5 keveréknél

Nyomószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele:	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Törőerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Nyomószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	Magasság	Nyomott felület				Egyedi érték	Átlagérték	
						a	b					
150×150×150	20°C	01	8,000		149,90	150,02	150,66	1688	2361,25	74,68		
		02	8,052		150,10	151,67	149,93	1751	2359,04	77,00		
		03	7,980		150,02	150,89	149,42	1675	2359,31	74,29	75,33	
100×100×100	20°C	A	2,387		100,34	99,88	101,28	816	2351,67	80,67		
		B	2,384		100,26	100,46	100,51	838	2354,92	82,99		
		C	2,171		100,86	102,43	90,52	751	2321,50	81,00	81,55	
100×100×100	150°C	A	2,422	2,411	100,67	101,03	101,16	711	2343,35	69,57		
		B	2,368	2,358	101,28	99,09	100,88	738	2329,08	73,83		
		C	2,375	2,363	100,47	98,40	103,47	725	2310,03	71,21	71,53	
100×100×100	300°C	A	2,508	2,455	100,51	102,64	104,15	727	2284,90	68,01		
		B	2,089	2,043	100,27	100,03	89,50	629	2275,85	70,26		
		C	2,385	2,296	100,53	100,53	102,37	735	2219,26	71,42	69,90	
100×100×100	500°C	A	2,411	2,269	100,39	100,66	102,82	541	2183,78	52,27		
		B	2,384	2,255	100,66	101,68	100,78	645	2186,15	62,94		
		C	2,436	2,304	100,46	101,03	103,17	681	2200,32	65,33	60,18	
100×100×100	800°C	A	2,361	2,180	100,40	99,80	101,23	157	2128,03	15,54		
		B	2,420	2,241	100,71	101,82	101,82	227	2146,36	21,90		
		C	2,105	1,950	101,23	102,88	88,74	191	2109,96	20,92	19,45	

10.6. táblázat: Nyomószilárdság értékek MIX6 keveréknél

Nyomószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele:	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Törőerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Nyomószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	Magasság	Nyomott felület				Egyedi érték	Átlagérték	
						a	b					
150×150×150	20°C	01	8,100		149,84	151,89	151,08	1872	2355,71	81,58		
		02	8,047		150,72	151,28	150,56	1837	2344,08	80,65		
		03	8,057		150,27	150,16	149,93	1860	2381,54	82,62	81,62	
100×100×100	20°C	A	2,403		100,39	100,51	99,89	850	2384,14	84,66		
		B	2,378		100,83	101,39	101,09	828	2301,01	80,78		
		C	2,384		100,40	98,76	100,67	820	2388,31	82,48	82,64	
100×100×100	150°C	A	2,383	2,374	100,77	99,96	100,55	778	2343,91	77,41		
		B	2,370	2,362	100,58	101,19	98,82	766	2348,47	76,60		
		C	2,454	2,448	101,39	100,46	104,50	806	2299,89	76,78	76,93	
100×100×100	300°C	A	2,354	2,283	100,69	100,26	98,25	737	2301,76	74,82		
		B	2,493	2,454	100,77	106,04	98,83	742	2323,73	70,80		
		C	2,603	2,563	100,50	100,27	107,74	765	2360,67	70,81	72,14	
100×100×100	500°C	A	2,355	2,218	100,36	99,02	99,81	618	2236,17	62,53		
		B	2,544	2,408	100,70	99,68	107,48	820	2231,99	76,54		
		C	2,405	2,275	100,43	101,28	101,02	694	2214,05	67,83	68,97	
100×100×100	800°C	A	2,122	1,973	100,96	99,24	90,76	213	2169,68	23,65		
		B	2,133	1,990	100,83	101,88	89,69	306	2159,88	33,49		
		C	2,148	2,007	101,08	100,69	90,17	301	2186,92	33,15	30,10	

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.7. táblázat: Nyomószilárdság értékek MIX7 keveréknél

Nyomószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele:	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Törőerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Nyomószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	Magasság	Nyomott felület				Egyedi érték	Átlagérték	
						a	b					
150×150×150	20°C	01	8,060		149,91	149,93	151,02	1880	2374,55	83,03		
		02	8,072		150,57	150,17	151,97	1847	2349,10	80,93		
		03	8,065		150,37	150,35	149,74	1790	2382,33	79,51	81,16	
100×100×100	20°C	A	2,369		100,50	100,89	99,58	786	2346,27	78,24		
		B	2,373		100,44	102,82	98,59	831	2330,67	81,98		
		C	2,379		100,44	102,60	98,50	878	2343,71	86,88	82,36	
100×100×100	150°C	A	2,335	2,317	100,32	100,02	99,01	634	2332,24	64,02		
		B	2,357	2,337	100,54	101,51	97,85	717	2340,18	72,19		
		C	2,341	2,315	100,34	100,72	97,48	641	2349,88	65,29	67,16	
100×100×100	300°C	A	2,378	2,275	100,33	100,93	99,83	881	2250,45	87,44		
		B	2,440	2,358	100,57	100,26	102,49	719	2281,74	69,97		
		C	2,381	2,321	100,64	101,53	98,88	740	2297,22	73,71	77,04	
100×100×100	500°C	A	2,315	2,188	100,13	99,56	97,71	748	2246,26	76,89		
		B	2,331	2,204	100,55	99,24	99,28	714	2224,75	72,47		
		C	2,343	2,217	100,68	101,71	98,12	705	2206,49	70,64	73,33	
100×100×100	800°C	A	2,360	2,169	101,25	101,55	98,13	215	2149,72	21,58		
		B	2,387	2,220	100,69	100,91	99,61	285	2193,46	28,35		
		C	2,391	2,220	100,39	100,71	99,74	316	2201,51	31,46	27,13	

10.8. táblázat: Nyomószilárdság értékek MIX8 keveréknél

Nyomószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele:	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Törőerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Nyomószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	Magasság	Nyomott felület				Egyedi érték	Átlagérték	
						a	b					
150×150×150	20°C	01	8,129		149,83	150,99	149,70	1950	2400,32	86,27		
		02	8,100		149,60	151,29	149,54	1971	2393,24	87,12		
		03	8,052		150,21	151,01	149,78	1820	2369,98	80,47	84,62	
100×100×100	20°C	A	2,271		100,38	97,20	100,28	803	2321,08	82,38		
		B	2,471		100,55	101,10	103,27	845	2353,78	80,93		
		C	2,406		100,29	99,56	100,34	847	2401,48	84,79	82,70	
100×100×100	150°C	A		2,369	100,34	100,97	99,33	558	2354,06	55,64		
		B		2,341	100,46	99,97	99,14	744	2351,20	75,07		
		C		2,397	100,66	101,83	101,05	694	2314,19	67,44	66,05	
100×100×100	300°C	A		2,314	100,73	99,92	100,86	712	2279,47	70,65		
		B		2,363	100,42	100,40	101,73	630	2303,88	61,68		
		C		2,306	100,36	100,83	99,71	650	2285,44	64,65	65,66	
100×100×100	500°C	A		2,261	100,55	101,45	100,80	623	2198,90	60,92		
		B		2,247	100,25	100,66	99,70	620	2233,40	61,78		
		C		2,337	100,51	102,06	103,10	650	2209,71	61,77	61,49	
100×100×100	800°C	A		2,214	101,40	101,86	102,08	157	2099,88	15,10		
		B		2,221	102,30	102,29	101,56	162	2089,86	15,59		
		C		2,146	101,23	100,72	100,28	159	2098,89	15,74	15,48	

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.9. táblázat: Nyomószilárdság értékek MIX9 keveréknél

Nyomószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele:	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Törőerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Nyomószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	Magasság a	Nyomott felület b c				Egyedi érték	Átlagérték	
100×100×100	20°C	A	2,376		100,34	102,80	100,12	575	2300,69	55,87	73,99	
		B	2,491		100,34	102,02	103,39	880	2353,62	83,43		
		C	2,548		100,52	104,39	104,64	903	2320,55	82,67		
100×100×100	150°C	A		2,382	100,24	101,21	100,06	675	2346,48	66,65	72,43	
		B		2,467	100,50	101,74	103,89	803	2322,40	75,97		
		C		2,463	100,29	103,42	103,09	796	2303,49	74,66		
100×100×100	300°C	A		2,326	100,26	101,04	101,48	753	2262,60	73,44	72,76	
		B		2,294	101,16	101,64	100,42	764	2221,77	74,85		
		C		2,244	100,69	100,98	100,03	707	2206,33	69,99		

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.2. Hasító-húzószilárdság mérési eredményei

10.10. táblázat: Hasító húzószilárdság értékek MIX1 keveréknél

Hasító-húzószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Hasítóerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Hasító-húzószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	a	b	c			Egyedi érték	Átlagérték	
150×150×150	20°C	04	7,938		150,29	150,37	149,89	152	2,34	6,77	6,76	
		05	7,937		150,83	147,68	150,22	151	2,37	6,67		
		06	7,933		150,54	152,22	150,20	155	2,30	6,85		
150×150×150	150°C	07	7,970	7,929	149,39	150,79	149,77	144	2,35	6,41	5,72	
		08	7,968	7,951	149,92	150,05	150,14	130	2,35	5,76		
		09	7,964	7,938	149,76	151,14	149,80	112	2,34	4,98		
150×150×150	300°C	10	7,982	7,829	149,90	151,78	150,15	150	2,29	6,66	7,01	
		11	8,028	7,842	149,90	149,97	149,48	175	2,33	7,82		
		12	8,034	7,933	149,33	151,81	149,63	146	2,34	6,54		
150×150×150	500°C	13	8,014	6,991	149,37	149,29	149,87	147	2,09	6,58	5,47	Éle letört
		14	7,989	7,165	150,35	149,81	150,28	76	2,12	3,37		Sarka letört, repec
		15	7,999	7,597	149,90	149,08	149,68	145	2,27	6,45		
150×150×150	800°C	16	8,029	6,822	149,90	149,83	149,16	27	2,04	1,19	0,79	Széle letört
		17	8,060	6,854	149,81	150,10	149,55	9	2,04	0,40		Széle letört
		18	8,041	7,510	149,76	149,94	150,96	18	2,22	0,79		

10.11. táblázat: Hasító húzószilárdság értékek MIX2 keveréknél

Hasító-húzószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Hasítóerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Hasító-húzószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	a	b	c			Egyedi érték	Átlagérték	
150×150×150	20°C	04	7,907		150,65	149,72	149,94	196	2,34	8,68	7,95	
		05	7,896		150,11	151,55	149,88	174	2,32	7,73		
		06	7,883		149,96	148,86	149,89	167	2,36	7,43		
150×150×150	150°C	07	7,853	7,807	150,00	150,89	150,15	142	2,30	6,30	7,21	
		08	7,866	7,834	149,93	150,68	150,02	173	2,31	7,69		
		09	7,852	7,806	151,33	150,54	149,88	173	2,29	7,63		
150×150×150	300°C	10	7,850	7,728	150,07	151,04	149,80	136	2,28	6,05	5,73	
		11	7,850	7,694	150,82	149,53	149,87	127	2,28	5,62		
		12	7,850	7,674	149,84	150,08	149,99	124	2,28	5,52		
150×150×150	500°C	13	7,829	-							3,59	felrobbant
		14	7,842	7,031	149,90	150,77	150,01	101	2,07	4,49		2 sarka letört
		15	7,789	7,407	151,19	150,21	150,10	61	2,17	2,69		
150×150×150	800°C	16	7,798	7,316	151,10	151,00	151,49	35	2,12	1,53	1,71	
		17	7,787	7,202	150,34	149,46	150,53	35	2,13	1,55		sarka letört
		18	7,807	7,298	150,11	151,70	150,10	46	2,14	2,04		

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.12. táblázat: Hasító húzószilárdság értékek MIX3 keveréknél

Hasító-húzószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Hasítóerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Hasító-húzószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	a	b	c			Egyedi érték	Átlagérték	
150×150×150	20°C	04	7,783		149,96	150,35	150,16	168	2,30	7,46	8,18	
		05	7,772		150,00	151,69	149,88	173	2,28	7,70		
		06	7,754		149,99	150,26	150,14	211	2,29	9,37		
150×150×150	150°C	07	7,746	7,715	149,73	151,84	149,61	139	2,27	6,21	6,51	
		08	7,767	7,710	149,98	151,91	149,82	134	2,26	5,96		
		09	7,735	7,679	149,83	150,41	149,38	165	2,28	7,37		
150×150×150	300°C	10	7,688	7,540	149,87	150,12	149,88	107	2,24	4,76	5,93	
		11	7,685	7,479	149,88	150,12	149,62	144	2,22	6,42		
		12	7,688	7,441	149,93	150,41	149,73	148	2,20	6,59		
150×150×150	500°C	13	7,641	7,309	150,35	150,49	149,72	97	2,16	4,31	4,94	
		14	7,678	7,326	150,10	149,95	149,91	120	2,17	5,33		
		15	7,651	7,289	149,96	150,52	149,76	116	2,16	5,17		
150×150×150	800°C	16	7,668	7,175	151,27	152,85	150,90	38	2,06	1,66	2,17	
		17	7,639	7,131	150,78	150,52	151,16	59	2,08	2,59		
		18	7,608	7,177	150,64	151,56	150,90	51	2,08	2,24		

10.13. táblázat: Hasító húzószilárdság értékek MIX4 keveréknél

Hasító-húzószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Hasítóerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Hasító-húzószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	a	b	c			Egyedi érték	Átlagérték	
150×150×150	20°C	04	7,996		149,82	150,14	150,22	154	2366,35	6,83	7,32	
		05	7,930		149,65	150,51	149,98	178	2347,46	7,92		
		06	8,001		150,39	151,54	149,83	163	2343,15	7,21		
150×150×150	150°C	07	7,972	7,930	149,94	149,74	150,15	151	2364,76	6,71	6,96	
		08	7,968	7,944	150,06	150,61	149,98	165	2350,70	7,34		
		09	7,945	7,894	150,01	148,48	149,85	154	2380,39	6,84		
150×150×150	300°C	10	7,986	7,839	149,99	151,89	149,82	135	2339,74	5,99	6,45	
		11	7,981	7,899	149,89	149,83	149,33	169	2379,79	7,55		
		12	7,969	7,867	150,03	149,20	149,74	131	2377,49	5,82		
150×150×150	500°C	13	7,951	7,542	149,72	149,00	149,64	112	2381,81	4,99	5,03	
		14	7,982	7,537	149,96	151,14	149,92	119	2349,08	5,31		
		15	8,027	7,586	150,13	151,69	150,14	108	2347,64	4,79		
150×150×150	800°C	16	7,975	7,400	149,85	150,01	150,11	9	2363,44	0,40	0,64	
		17	7,941	7,402	149,26	150,43	149,47	18	2366,16	0,80		
		18	7,935	7,352	149,96	148,39	150,01	17	2377,10	0,73		Szélén kipergett

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.14. táblázat: Hasító húzószilárdság értékek MIX5 keveréknél

Hasító-húzószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Hasítóerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Hasító-húzószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	a	b	c			Egyedi érték	Átlagérték	
150×150×150	20°C	04	8,017		150,71	150,47	149,97	185	2,36	8,20	8,35	
		05	8,002		152,71	150,14	150,06	173	2,33	7,54		
		06	7,991		150,35	149,86	149,88	210	2,37	9,30		
150×150×150	150°C	07	7,974	7,944	150,64	150,17	149,99	192	2,34	8,49	8,06	
		08	8,003	7,977	150,87	150,02	149,92	183	2,35	8,09		
		09	8,006	7,975	150,91	149,99	149,55	171	2,36	7,60		
150×150×150	300°C	10	7,981	7,851	151,25	150,05	149,90	173	2,31	7,62	7,52	
		11	7,967	7,826	152,33	150,02	149,83	169	2,29	7,40		
		12	7,936	7,798	151,31	150,28	150,05	171	2,29	7,55		
150×150×150	500°C	13	7,967	7,516	150,34	150,27	149,87	107	2,22	4,73	5,31	
		14	7,944	7,414	151,07	150,38	150,08	109	2,17	4,82		
		15	7,948	7,549	148,32	150,15	150,05	142	2,26	6,39		
150×150×150	800°C	16	7,927	7,364	151,90	149,36	150,04	15	2,16	0,67	0,48	széle letört
		17	7,923	6,998	150,58	149,60	150,40	9	2,07	0,39		
		18	7,910	7,352	151,31	150,03	149,85	9	2,16	0,39		

10.15. táblázat: Hasító húzószilárdság értékek MIX6 keveréknél

Hasító-húzószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Hasítóerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Hasító-húzószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	a	b	c			Egyedi érték	Átlagérték	
150×150×150	20°C	04	8,035		150,80	150,07	150,48	173	2,36	7,61	7,79	
		05	8,043		150,91	149,71	149,85	165	2,38	7,30		
		06	8,024		149,86	149,68	150,46	191	2,38	8,45		
150×150×150	150°C	07	8,019	7,991	149,65	149,94	151,13	193	2,36	8,54	7,93	
		08	8,044	8,020	149,93	150,15	152,59	171	2,33	7,49		
		09	8,004	7,965	149,77	149,78	149,90	174	2,37	7,75		
150×150×150	300°C	10	8,019	7,795	150,01	150,29	151,13	166	2,29	7,34	7,64	
		11	7,983	7,700	150,09	149,69	149,30	187	2,30	8,33		
		12	7,997	7,872	149,74	150,28	149,81	163	2,34	7,25		
150×150×150	500°C	13	7,990	7,580	150,06	149,97	154,18	110	2,18	4,78	5,61	
		14	7,957	7,533	149,53	149,90	157,36	160	2,14	6,80		
		15	7,994	7,555	150,14	149,98	150,05	118	2,24	5,24		
150×150×150	800°C	16	7,958	7,433	149,67	147,75	149,81	28	2,24	1,25	1,02	
		17	7,957	7,426	150,07	149,00	149,87	22	2,22	0,96		
		18	7,966	7,405	149,80	147,66	150,31	19	2,23	0,85		

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.16. táblázat: Hasító húzószilárdság értékek MIX7 keveréknél

Hasító-húzószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Hasítóerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Hasító-húzószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	a	b	c			Egyedi érték	Átlagérték	
150×150×150	20°C	04	8,083		150,15	150,04	151,98	173	2360,77	7,57	7,30	
		05	8,098		149,73	150,03	150,09	171	2401,81	7,63		
		06	8,095		149,67	150,34	151,69	152	2371,65	6,71		
150×150×150	150°C	07	8,082	8,064	149,86	150,48	150,62	188	2379,42	8,33	7,49	
		08	8,041	8,008	149,98	150,21	151,07	171	2362,65	7,57		
		09	8,049	8,016	149,71	149,86	150,84	149	2378,42	6,58		
150×150×150	300°C	10	8,026	7,896	149,70	149,99	150,10	173	2381,41	7,69	7,86	
		11	8,010	7,810	149,91	150,74	149,92	188	2364,36	8,36		
		12	8,047	7,955	150,12	150,20	150,71	170	2368,01	7,52		
150×150×150	500°C	13	8,029	7,615	149,62	149,65	151,06	130	2373,81	5,73	5,08	
		14	8,042	7,331	150,31	149,62	151,75	114	2356,45	5,01		Széle lehasadt
		15	8,035	7,568	149,97	150,50	150,81	102	2360,56	4,49		
150×150×150	800°C	16	8,028	7,434	150,14	149,62	148,62	14	2404,61	0,63	0,68	
		17	8,023	7,430	149,87	150,27	149,44	17	2383,87	0,74		
		18	8,008	7,434	149,79	149,86	151,12	15	2360,66	0,67		

10.17. táblázat: Hasító húzószilárdság értékek MIX8 keveréknél

Hasító-húzószilárdság												
Próbatest mérete [mm×mm]	Maximális hőterhelés [°C]	Próbatest jele	Tömege [kg]		Mérete [mm]			Hasítóerő [kN]	Testsűrűség [kg/m ³]	Hasító-húzószilárdság [N/mm ²]		Megjegyzés
			Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	a	b	c			Egyedi érték	Átlagérték	
150×150×150	20°C	04	7,982		149,69	152,09	150,42	162	2330,84	7,19	7,51	
		05	8,034		149,46	152,49	149,96	167	2350,66	7,45		
		06	8,035		149,82	150,60	149,84	177	2376,64	7,88		
150×150×150	150°C	07	7,980	7,915	149,74	149,69	150,06	172	2372,51	7,65	7,35	
		08	8,000	7,937	149,55	150,87	149,61	166	2369,95	7,42		
		09	8,005	7,942	149,95	151,04	149,94	157	2357,25	6,98		
150×150×150	300°C	10	7,972	7,741	149,84	150,56	150,41	147	2349,38	6,52	6,42	
		11	7,979	7,813	149,83	151,08	149,68	146	2354,94	6,51		
		12	7,959	7,766	149,73	150,38	150,44	140	2349,61	6,22		
150×150×150	500°C	13	7,968	7,595	150,00	151,42	149,59	131	2345,16	5,84	4,43	
		14	7,950	7,546	149,63	150,29	149,85	92	2359,18	4,10		
		15	7,958	7,554	149,34	150,92	150,02	75	2353,60	3,35		
150×150×150	800°C	16	7,929	7,401	150,88	152,06	150,85	6	2291,01	0,26	0,42	
		17	7,943	7,366	151,05	152,10	151,06	18	2288,68	0,79		
		18	7,937	7,161	152,69	152,33	152,59	5	2236,32	0,21		széle le volt hasadt

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.3. Látszólagos porozitás mérési eredményei

10.18. táblázat: Látszólagos porozitás és testsűrűség érték MIX1 keverékeknel

Próbateszt jele	Maximális hőterhelés	Tömeg [g]					Vízfelvétel, m%	Testsűrűség, Kg/m ³	Látszólagos porozitás, %	Megjegyzés
		Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	Száritás után	Víz alatti tömeg	Nedves tömeg				
A	20°C	1927,6		1915,1	1137,9	1948,0	1,72	2364	4,06	
B		1930,5		1917,0	1139,8	1950,0	1,72	2366	4,07	
C		1970,4		1954,9	1170,1	1997,6	2,18	2362	5,16	
A	150°C	1967,2	1957,9	1945,1	1160,1	1988,0	2,21	2349	5,18	
B		1824,2	1817,9	1805,8	1079,2	1844,7	2,15	2359	5,08	
C		1898,1	1890,4	1875,6	1126,2	1926,9	2,74	2342	6,41	
A	300°C	1908,1	1824,1	1827,0	1122,3	1922,1	5,21	2284	11,89	
B		1961,4	1881,0	1883,5	1156,1	1977,2	4,97	2294	11,41	
C		1890,4	1814,3	1817,7	1118,9	1913,1	5,25	2289	12,01	
A	500°C	1884,3	1314,6	1316,1	816,2	1400,2	6,39	2254	14,40	Felrobbant hőterhelés közben
B		1878,8	1791,5	1793,3	1112,2	1900,9	6,00	2274	13,64	
C		1965,3	1869,3	1871,1	1160,0	1989,6	6,33	2255	14,28	
A	800°C	1852,6	1732,7	1739,2	1088,9	1890,5	8,70	2170	18,87	
B		1971,2	1841,9	1846,9	1161,2	2001,6	8,38	2198	18,41	
C		1829,3	1715,9	1720,3	1079,9	1863,6	8,33	2195	18,29	

10.19. táblázat: Látszólagos porozitás és testsűrűség érték MIX2 keverékeknel

Próbateszt jele	Maximális hőterhelés	Tömeg [g]					Vízfelvétel, m%	Testsűrűség, Kg/m ³	Látszólagos porozitás, %	Megjegyzés
		Hőterhelés előtt	Hőterhelés után	Száritás után	Víz alatti tömeg	Nedves tömeg				
A	20°C	1783,4		1740,6	1018,7	1804,7	3,68	2214,50	8,15522	
B		1756,0		1712,4	1013,3	1777,9	3,83	2239,60	8,56657	
C		1741,6		1694,7	992,3	1762,4	3,99	2200,62	8,79107	
A	150°C	1829,3	1814,8	1782,3	1039,7	1849,6	3,78	2200,64	8,30967	
B		1919,4	1911,1	1875,4	1120,3	1942,4	3,57	2281,23	8,14986	
C		1771,8	1762,3	1725,8	1012,9	1791,7	3,82	2215,97	8,46174	
A	300°C	1853,0	1816,1	1794,3	1063,2	1872,5	4,36	2217,10	9,66267	
B		1806,1	1764,1	1745,4	1043,3	1825,5	4,59	2231,40	10,2403	
C		1854,1	1803,2	1788,7	1055,2	1875,2	4,84	2181,34	10,5488	
A	500°C	1802,2	1710,2	1710,2	1037,4	1823,3	6,61	2176,10	14,3911	
B		1787,6	1700,0	1699,3	1018,6	1807,3	6,36	2154,56	13,6934	
C		1770,1	1681,6	1681,3	1018,3	1792,5	6,61	2171,66	14,3632	
A	800°C	1789,6	1677,5	1677,1	1025,5	1816,3	8,30	2120,76	17,6024	
B		1777,5	1668,2	1668,0	1004,6	1806,5	8,30	2080,06	17,2715	
C		1686,5	1579,3	1577,6	967,2	1714,6	8,68	2110,78	18,3302	

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.20. táblázat: Látszólagos porozitás és testsűrűség érték MIX3 keverékeknél

Próbatest jele	Próbatest Maximális hőterhelés	Tömeg [g]					Vízfelvétel, m%	Testsűrűség, Kg/m ³	Látszólagos porozitás, %	Megjegyzés
		Hőterhelés és előtt	Hőterhelés és után	Száritás után	Víz alatti tömeg	Nedves tömeg				
A	20°C	1747,2		1702,5	997	1773,7	4,18	2191,97	9,17	
B		1684,4		1638,8	960,2	1705,7	4,08	2198,26	8,97	
C		1688,3		1644,8	956,6	1711,4	4,05	2179,12	8,82	
A	150°C	1835,0	1828,3	1787,3	1034	1860,9	4,12	2161,45	8,90	
B		1794,5	1777,0	1741,8	1015,1	1818,5	4,40	2168,04	9,55	
C		1590,6	1582,7	1548,2	893,8	1616,7	4,42	2141,65	9,48	
A	300°C	1791,3	1737,0	1722,8	1032,6	1807,5	4,92	2223,25	10,93	
B		1714,1	1670,1	1654,0	970	1735,6	4,93	2160,40	10,66	
C		1797,3	1759,0	1737,0	1005,6	1821,7	4,88	2128,42	10,38	
A	500°C	1686,4	1605,6	1603,5	972,5	1706,2	6,40	2185,50	14,00	
B		1761,6	1678,7	1676,6	1002,9	1787,4	6,61	2137,16	14,12	
C		1886,5	1794,2	1791,9	1065,4	1911,7	6,69	2117,33	14,16	
A	800°C	1842,3	1711,1	1699,9	1029,2	1864,4	9,68	2035,32	19,70	
B		1727,1	1605,5	1598,9	957	1748,9	9,38	2019,07	18,94	
C		1867,6	1735,4	1702,3	1026,4	1886,8	10,84	1978,50	21,44	

10.21. táblázat: Látszólagos porozitás és testsűrűség érték MIX4 keverékeknél

Próbatest jele	Maximális hőterhelés	Tömeg [g]					Vízfelvétel, m%	Testsűrűség, Kg/m ³	Megjegyzés
		Hőterhelés és előtt	Hőterhelés és után	Száritás után	Víz alatti tömeg	Nedves tömeg			
A	20°C	1971,8		1951,1	1159,8	1991,4	2,07	2346	
B		1836,0		1816,9	1079,4	1852,1	1,94	2351	
C		1953,0		1933,5	1155,4	1974,3	2,11	2361	
A	150°C	1832,9	1816,2	1800,3	1076,7	1850,1	2,77	2328	
B		1974,4	1963,3	1944,9	1160,2	1990,5	2,34	2342	
C		1965,5	1951,6	1933,3	1160,7	1987,1	2,78	2339	
A	300°C	1695,0	1635,6	1632,8	993,1	1707,9	4,60	2284	
B		1810,9	1764,2	1756,5	1062,0	1825,1	3,91	2302	
C		1985,0	1930,9	1926,0	1170,3	2006,5	4,18	2303	
A	500°C	1854,3	1747,2	1748,6	1083,7	1867,3	6,79	2231	
B		1750,3	1649,7	1651,3	1026,8	1763,7	6,81	2241	
C		1893,5	1797,7	1799,5	1115,9	1913,2	6,32	2257	
A	800°C	1795,1	1660,0	1644,4	1027,8	1796,5	9,25	2139	
B		1714,0	1584,6	1587,6	1001,3	1737,7	9,45	2156	
C		1821,4	1700,5	1705,0	1066,6	1849,2	8,46	2179	

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.22. táblázat: Látszólagos porozitás és testsűrűség érték MIX5 keverékeknel

Próbatest jele	Próbatest Maximális hőterhelés	Tömeg [g]					Vízfelvétel, m%	Látszólagos porozitás, %	Megjegyzés
		Hőterhelés és előtt	Hőterhelés és után	Szárítás után	Víz alatti tömeg	Nedves tömeg			
A	20°C	1684,8		1666,1	981,9	1699,1	1,98	4,60	
B		1917,1		1900,0	1119,8	1936,1	1,90	4,42	
C		1812,4		1794,2	1058,8	1828,7	1,92	4,48	
A	150°C	1842,2	1828,1	1812,5	1077,5	1859,1	2,57	5,96	
B		1900,5	1893,8	1878,0	1112,8	1920,3	2,25	5,24	
C		1701,9	1696,9	1681,0	995,4	1719,3	2,28	5,29	
A	300°C	1821,9	1759,8	1757,6	1064,8	1837,5	4,55	10,34	
B		1700,0	1646,2	1643,0	992,3	1714,1	4,33	9,85	
C		1984,6	1906,9	1907,5	1159,8	2000,2	4,86	11,03	
A	500°C	1933,8	1823,8	1825,7	1125,3	1948,5	6,73	14,92	
B		1949,2	1836,8	1839,1	1129,7	1958,7	6,50	14,43	
C		1765,1	1669,4	1671,8	1028,7	1778,0	6,35	14,17	
A	800°C	1811,9	1674,8	1667,2	1034,8	1821,0	9,23	19,56	szárítás közben morzsolódott
B		1895,1	1754,5	1755,0	1094,8	1914,7	9,10	19,48	
C		1886,5	1753,8	1755,9	1095,2	1911,3	8,85	19,04	

10.23. táblázat: Látszólagos porozitás és testsűrűség érték MIX6 keverékeknel

Próbatest jele	Maximális hőterhelés	Tömeg [g]					Testsűrűség, Kg/m ³	Látszólagos porozitás, %	Megjegyzés
		Hőterhelés és előtt	Hőterhelés és után	Szárítás után	Víz alatti tömeg	Nedves tömeg			
A	20°C	2174,6		2156,8	1283,6	2194,6	2368	4,15	
B		2211,1		2192,3	1306,7	2229,2	2376	4,00	
C		1673,0		1657,4	989,0	1687,2	2374	4,27	
A	150°C	1807,9	1800,6	1785,9	1067,4	1828,2	2347	5,56	
B		1800,8	1796,7	1782,4	1066,6	1817,7	2373	4,70	
C		1940,0	1935,5	1920,3	1146,9	1956,8	2371	4,51	
A	300°C	1914,4	1851,4	1849,2	1126,5	1930,4	2300	10,10	
B		1953,6	1907,0	1900,0	1155,6	1970,6	2331	8,66	
C		1746,2	1702,7	1696,8	1030,1	1763,1	2315	9,05	
A	500°C	1565,1	1479,4	1482,1	920,9	1581,1	2245	15,00	
B		1791,4	1694,5	1697,1	1054,1	1803,9	2263	14,24	
C		1764,4	1676,5	1679,6	1037,4	1778,7	2266	13,37	
A	800°C	1592,1	1485,2	1487,1	937,4	1610,9	2208	18,38	
B		2041,0	1905,1	1907,6	1195,8	2063,4	2199	17,96	
C		1935,2	1810,5	1807,5	1133,1	1954,4	2201	17,89	

Makro szálak hatása a beton hőterhelést követő jellemzőire

10.24. táblázat: Látszólagos porozitás és testsűrűség érték MIX7 keverékeknel

Próbatest jele	Maximális hőterhelés	Tömeg [g]					Testsűrűség, Kg/m ³	Látszólagos porozitás, %	Megjegyzés
		Hőterhelés és előtt	Hőterhelés és után	Szárítás után	Víz alatti tömeg	Nedves tömeg			
A	20°C	1841,5		1825,8	1085,2	1857,4	2364	4,09	
B		1841,7		1827,7	1087,6	1858,2	2372	3,96	
C		2113,1		2098,0	1251,3	2130,8	2385	3,73	
A	150°C	1823,1	1807,1	1796,4	1077,2	1841,0	2352	5,84	
B		1986,9	1968,9	1958,4	1172,9	2004,1	2356	5,50	
C		1853,9	1835,5	1826,1	1096,8	1871,4	2357	5,85	
A	300°C	1936,4	1846,0	1847,8	1138,6	1951,2	2274	12,72	
B		1890,8	1818,4	1819,1	1116,8	1906,1	2305	11,02	
C		1983,4	1898,0	1899,4	1171,2	2002,5	2285	12,40	
A	500°C	1910,6	1795,4	1796,4	1123,2	1924,7	2241	16,01	
B		1809,0	1709,1	1710,0	1065,9	1822,6	2260	14,88	
C		1874,6	1772,0	1773,0	1103,6	1891,1	2251	15,00	
A	800°C	1846,3	1713,9	1708,8	1072,2	1861,0	2166	19,30	
B		1806,6	1676,6	1677,4	1058,8	1829,9	2175	19,78	
C		1909,9	1767,9	1770,3	1119,1	1935,5	2168	20,24	

10.25. táblázat: Látszólagos porozitás és testsűrűség érték MIX8 keverékeknel

Próbatest jele	Maximális hőterhelés	Tömeg [g]					Testsűrűség, Kg/m ³	Látszólagos porozitás, %	Megjegyzés
		Hőterhelés és előtt	Hőterhelés és után	Szárítás után	Víz alatti tömeg	Nedves tömeg			
A	20°C	1884,1		1816,3	1103,7	1908,9	2256	11,50	
B		1824,0		1758,6	1068,1	1851,9	2244	11,90	
C		1862,6		1799,2	1097,2	1886,6	2279	11,07	
A	150°C		1828,2	1781,1	1081,1	1863,0	2278	10,47	
B			2008,8	1953,9	1181,2	2055,8	2234	11,65	
C			1842,9	1803,4	1096,7	1891,8	2268	11,12	
A	300°C		1835,0	1823,8	1110,8	1920,1	2254	11,90	
B			1726,5	1725,8	1049,9	1827,2	2220	13,05	
C			1813,5	1808,2	1104,2	1903,5	2262	11,92	
A	500°C		1795,6	1801,2	1110,8	1925,3	2211	15,24	
B			1818,1	1818,4	1129,8	1946,3	2227	15,66	
C			1801,1	1795,8	1117,1	1930,1	2209	16,52	
A	800°C		1746,1	1733,3	1068,8	1912,0	2056	21,19	
B			1739,7	1737,6	1068,3	1912,4	2059	20,71	
C			1812,4	1809,7	950,4	1699,9	2415	-14,65	