B U D A P E S T I M Ű S Z A K I É S G A Z D A S Á G T U D O M Á N Y I E G Y E T E M

É P Í T Ő M É R N Ö K I K A R

ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MAGASÉPÍTÉS TANSZÉK

1111 Budapest, XI., Műegyetem rkp. 3.

Tel.: 463-4068 • Fax: 463-3450 •

Habilitációs tézisek

Tűz hatása a beton anyagú szerkezeti elemekre

Dr. Majorosné dr. Lublóy Éva Eszter

Budapest, 2015. június

TARTALOMJEGYZEK

I. Bevezetés, előzmények

II. Célkitűzések, alkalmazott kutatási módszerek

III. Új tudományos eredmények

1. Tézis: Vasbeton szerkezetek tűzeset utáni vizsgálatakor alkalmazható új állapot-meghatározási mód kidolgozása CT felhasználásával

2. Tézis: A szálgeometria hatásának kísérleti igazolása a szálerősítésű betonok tűzállóságára

3. Tézis: Kísérleti eredményeimen alapuló módosítás kidolgozása a kapcsolati szilárdság és a nyomószilárdság összefüggésére az 500 – 800 °C hőmérsékleti tartományban

IV. Jövőbeni kutatások

V. Köszönetnyilvánítás

VI. A tézisek témakörében megjelent publikációk jegyzéke

VII. Hivatkozott irodalom

I. BEVEZETÉS, ELŐZMÉNYEK

Számos tűzkatasztrófa hívta fel az emberiség figyelmét arra, hogy a tűzhatás következményének ismerete sok emberéletet menthet meg. Az *1. ábrán* néhány jellegzetes tűzesetet gyűjtöttem össze. A felvételen jól látszik, hogy az épületek, építmények jelentősen károsodhatnak a tűzesetek során. A tűzvédelem szempontjából meg kell oldani az épületek tűz alatti állékonyságát, illetve az épületek tűz utáni rekonstrukcióját. Fontos, hogy az építőanyagok magas hőmérséklet alatti viselkedését megismerjük, valamint a tűz utáni anyagvizsgálatokkal lehetővé tegyük a károsodott szerkezetek rekonstrukcióját. A tűz utáni rekonstrukció tégla, beton, illetve vasbeton épületek esetén jöhet szóba.

a) Paneltűz Debrecen, 2007. 02. 26. [1]

b) Családi ház tűzesete 2014. 07. 27. [1] (Zalaszentbalázs)

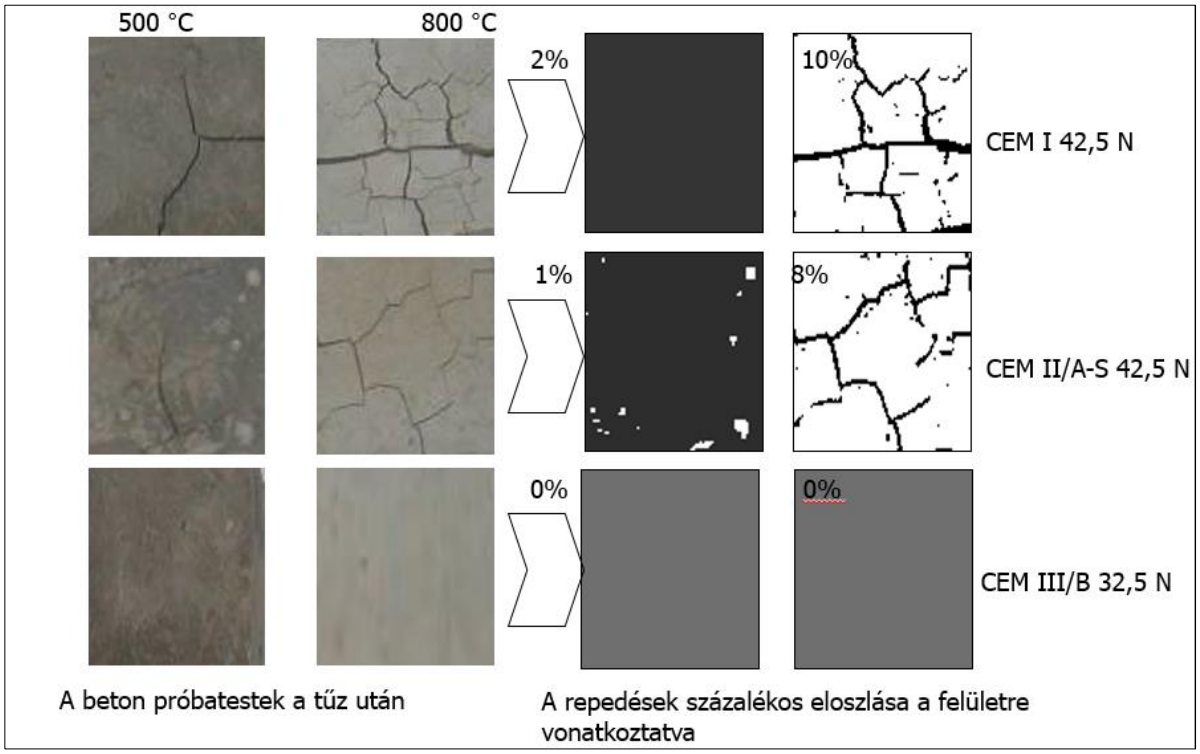
c) Budapest Sportcsarnok, 1999. 12. 15.

d) *Lángoló Fáklya*, Dubai, 2015. 02. 11. [2]

e) Alagúttűz 2011. 07. 12. [3]

1. ábra: Tűzesetek

PhD értekezésemben (*Tűz hatása a betonszerkezetek anyagaira*, 2008) részletesen foglalkoztam a betonösszetevők (cement, adalékanyag) hatásával a tűzállóságra *(2. ábra)*. PhD értekezésem keretein belül a betonösszetétel hatását is elemeztem a vasbeton szerkezetek viselkedésére, beleértve a kapcsolati szilárdságot (cementpép - adalékanyag és beton – betonacél között) is.



2. ábra: A repedéskép alakulása a cementtípus és a hőmérséklet függvényében [4]

Az elmúlt évek során számos esetben felkértek tűzkárosodott szerkezetek vizsgálatára (például *3. ábrán* látható esetekben).

a) Kecel, 2013.07.13.

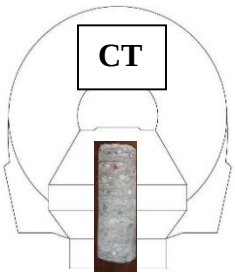
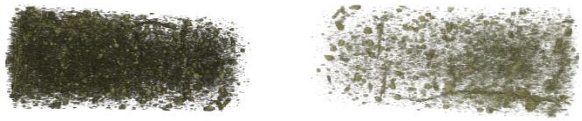
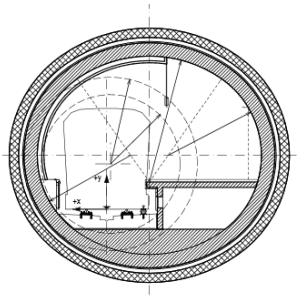
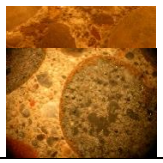
b) Budapest, 2012. 04.01.

3. ábra: Kerámia (a) és beton (b) béléstestek károsodása

II. CÉLKITŰZÉSEK, ALKALMAZOTT KUTATÁSI MÓDSZEREK

Habilitációs kutatásaim során a következő célkitűzéseket fogalmaztam meg (*4. ábra*):

1. Tézis: Vasbeton szerkezetek tűzeset utáni vizsgálatkor alkalmazható új állapot-meghatározási mód kidolgozása CT felhasználásával
2. Tézis: A szálgeometria hatásának kísérleti igazolása a szálerősítésű betonok tűzállóságára
3. Tézis: Kísérleti eredményeimen alapuló módosítás kidolgozása a kapcsolati szilárdság és a nyomószilárdság összefüggésére az 500 – 800 °C hőmérsékleti tartományban

TUDOMÁNYTERÜLETEK	Tudományos eredmény
 Vasbeton szerkezetek tűzeset utáni vizsgálatkor alkalmazható új állapot-meghatározási mód kidolgozása CT felhasználásával 	1. Tézis
A szálgeometria hatásának kísérleti igazolása a szálerősítésű betonok tűzállóságára 	2. Tézis
Kísérleti eredményeimen alapuló módosítás kidolgozása a kapcsolati szilárdság és a nyomószilárdság összefüggésére az 500 – 800 °C hőmérsékleti tartományban adalékanyag-cementkő  beton-betonacél szálak-cementkő	3. Tézis
ALAPVETŐ TULAJDONSÁGOK HATÁSA A TŰZÁLLÓSÁGRA - cement típus - adalékanyag típus - betonszilárdság	Előző kutatás PhD

4. ábra: A kutatás felépítése és a tézisek rendszere

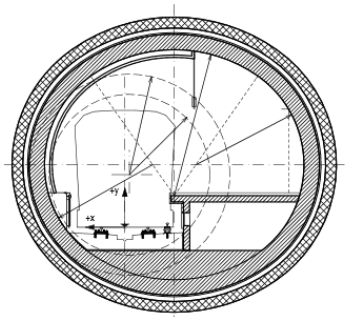
A következőkben részletesen bemutatom az egyes tézisekhez alkalmazott vizsgálati módszereket.

II.1 A vasbeton szerkezetek tűzeset utáni vizsgálatakor alkalmazható új állapot-meghatározási mód kidolgozása CT felhasználásával

A tűz utáni felújítás módjának tervezésekor az egyik legfontosabb feladat az épület károsodási mértékének meghatározása. Ez szorosan összefügg a szerkezet tűz alatti legmagasabb hőmérsékletével és a tűzhatás időtartamával. Amennyiben az épület felújítása szemrevételezés alapján szóba jöhet, akkor a roncsolásmentes vizsgálatokat részesítjük előnyben. Ennek érdekében egy olyan új vizsgálati módszert dolgoztam ki, ami tűzkárosult, vasbetonszerkezetű épületek esetén is alkalmazható.

Vizsgálataimat két lépcsőben végeztem el.
Az első lépcsőben ismert betonösszetételű (cement CEM I 42,5 N, 400 kg/m^3, víz 140 kg/m^3, 0/4 adalékanyag 755 kg/m^3, 4/8 adalékanyag 472 kg/m^3, 8/16 adalékanyag 661 kg/m^3) próbatesteket ismert hőterhelés után vizsgáltam A laboratóriumi mérések során a próbatesteket 5, egymástól független maximális hőmérsékleten (20 °C, 50 °C, 150 °C, 300 °C, 500 °C) tartottam 2-2 óra hosszat. A hőterhelés után meghatároztam a próbatestek nyomószilárdságát (50 mm átmérőjű, 100 mm magas hengereken), hajlító-húzószilárdságát, (70·70·250 mm méretű hasábokon) és í a testsűrűségét, valamint CT mérés segítségével meghatároztam a Hounsfield értéket (amely arányos a testsűrűséggel), és a porozitás eloszlását.

A második lépcsőben kifúrt magmintát vizsgáltam, amit M4 metró tűzterhelt tübingeleméből vettem (*5. ábra*). A tübingelem két órás hidrocarbon tűzterhelésnek volt kitéve (*6. ábra*). A furatmagmintákról CT felvételeket készítettem. A CT felvételek alapján meghatároztam az egyes szeleteken mért átlag Hounsfield érékeket és a szórást, amivel összefüggésbe hoztam a károsodás mértékét.



a)

b)

c)

5. ábra: Metro alagút
a) M4 metró alagútjának keresztmetszete
b) Beépített tübingelemek belső felülete
c) Mintavétel egy tübingelemből tűzterhelés után

6. ábra: A tübingelemből, tűzterhelés, után kifúrt magminta

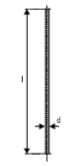
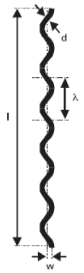
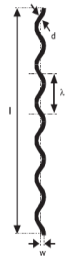
II.2. A szálgometria hatásának kísérleti igazolása a szálerősítésű betonok tűzállóságára

A betonösszetétel jelentős mértékben befolyásolhatja a beton tűzállóságát. A műanyagszálak kedvező hatása kedvezően befolyásolja a betonfelületek leválásának elkerülését [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. A szakirodalom az acélszálakat kedvezőtlenek tekinti [8, 9], ez az acél tűz alatti viselkedésével, illetve az acél hővezetőképességével magyaráznak. Számos szakirodalmi adat áll rendelkezésre acél-, illetve műanyagszálak tűzállóságra gyakorolt hatására, de a szálak geometriájának hatásával kapcsolatban nem található elegendő kutatási eredmény. A szálak

geometriájának azonban hatása lehet a tűzállóságra, ezért fontos ennek ismerte. Felmerül a kérdés, hogy *mennyiben befolyásolja a szálgeometria, és mennyiben a szál anyaga a tűz alatti eltérő viselkedést*?

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

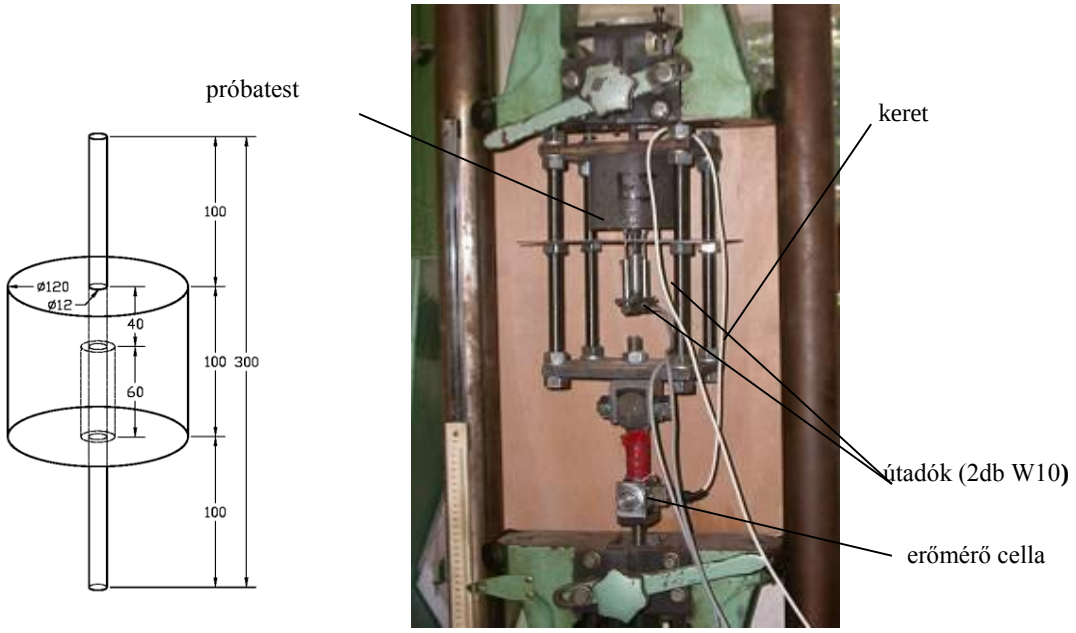
1. táblázat: Betonösszetétel

	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
cement (kg/m^3)	350	350	350	350	350	350	386	386
víz	151	151	151	151	151	151	181	181
adalékanyag 0-4 mm (kg/m^3)	912	912	912	912	912	912	1024	1015
adalékanyag 4-8 mm (kg/m^3)	485	485	485	485	485	485	302 LW1	390 LW2
adalékanyag 8-16 mm (kg/m^3)	544	544	544	544	544	544	-	-
folyósító (kg/m^3)	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	5	5
szálak jelölése és mennyisége (kg/m^3)	-	szál 1 1	szál 2 1	szál 3 35	szál 4 35	szál 5 35	-	-
szál anyaga		műanyag	műanyag	acél	acél	acél		
szál alakja és geometirai méretei (mm)		 ℓ=18 d=0,032	 ℓ=40 d=1,1	 ℓ=35 d=0,9	 ℓ=35 d=0,75	 ℓ=12,5 d=0,3		

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

II.3. Kísérleti eredményeimen alapuló módosítás kidolgozása a kapcsolati szilárdság és a nyomószilárdság összefüggésére az 500 – 800 °C hőmérsékleti tartományban

Kevés szakirodalmi adat [15, 16, 17, 18] áll rendelkezésre *a hőterhelés hatására*, a *beton és betonacél tapadásának változásról*, pedig ezt a szükséges lehorgonyzási hossz számításához fontos ezt ismernünk. A két anyag közötti együttdolgozás változása nem csak a teherbírást, hanem a repedések alakulását és jellegét is befolyásolja [19]. További fontos kérdés, hogy a két anyag közti együttdolgozás hogyan és milyen mértékben módosul magas hőmérséklet hatására. Kutatásaim során megvizsgáltam a beton-betonacél tapadásának alakulását a hőterhelést, majd lehűlést követően. Kísérleteim felépítésekor ügyeltem arra, hogy hasonló, de többfajta adalékanyagot (M0, M6, M7 keverékek), illetve szálerősítésű betonokat is vizsgáljak (M3, M6 keverékek). A kísérlet során alkalmazott betonösszetételek összefoglalását a *1. táblázatban* adom meg. Kísérleteim során a próbatesteket hőterheltem (felfűtés, majd két órás hőtartás: 20 °C, 50 °C, 150 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 800 °C-on), majd visszahűlt állapotban végeztem el a kihúzószilárdság és nyomószilárdság mérését (3-3 próbatesten). A kapcsolati szilárdság mérésére szolgáló próbatestek kialakítását, és a kísérleti elrendezést a *7. ábra* mutatja.



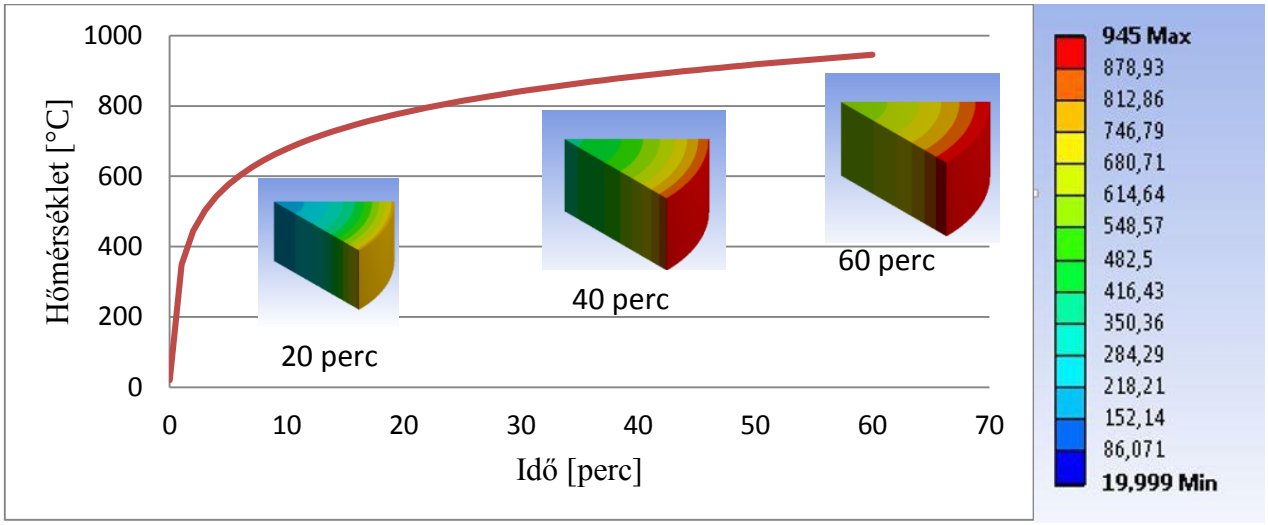
a) b)

7. ábra: A betonacél kapcsolati szilárdságának vizsgálata
a) próbatestek geometriája b) kísérleti elrendezés

A kísérleti eredmények alapján végeselemes modellt is készítettem a beton-betonacél tapadásának numerikus modellezésére, hogy lehetővé váljon kísérletek nélkül más átmérőjű betonacélok

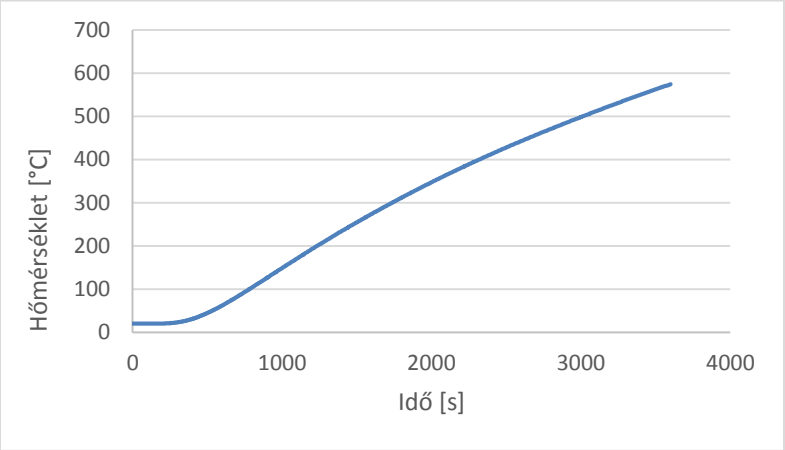
numerikus vizsgálata is. A numerikus analízishez az ANSYS 15 nemlineáris végeselemes szoftvert használtam. A számítás két különálló részből tevődik össze. Az első részben az idő függvényben a próbatest hővezetését modelleztem (termikus modell), majd ezekhez az eredményekhez társítva a második részben a próbatest statikus terhelése is megtörtént (statikus modell). A modell geometriai méretei követték a laboratóriumi összeállítás méreteit, viszont sok esetben jelentős egyszerűsítésre volt szükség. A laboratóriumi vizsgálatoknál használt próbatest modellezésénél a szimmetria miatt csak a keresztmetszet nyolcadát modelleztem, ahol három különböző anyagot definiáltam: acélt, betont és a kapcsolati zónát.

A beton és a betonacél közötti együttdolgozás vizsgálatára egy 1 mm vastagságú kapcsolati zónát vettem fel. A zóna szilárdságának hőmérsékletfüggő alakulását laboratóriumi kísérleteim alapján adtam meg. A hőterhelést időben változóként definiáltam. A terhelés összesen 60 percig (3600 s) tartott, a hőmérséklet változása megfelelt a szabványos ISO tűzgörbének [19] *(8. ábra)*, amit a laboratóriumi tűzterheléses kísérleteknél is használtam. A *8. ábrán* megadtam a tűzgörbe lefutását, illetve 20, 40, illetve 60 perces tűzhatás után a hőmérséklet keresztmetszeten belüli alakulását.



8. ábra: A hőmérséklet alakulása a keresztmetszeten belül az ISO tűzgörbe szerinti tűzhatásra

Lényeges kérdés a hőterhelés során az idő függvényében a kapcsolati zóna hőmérsékletváltozása, amit a *9. ábrán* adok meg.



9. ábra: A kapcsolati zóna hőmérsékletváltozása az idő függvényében

A statikus teher esetén a vizsgált elem fix megtámasztása az elem palástján történt, a teher (elmozdulás) az acél elem palástján hatott.

A számítások során több, különböző időpontban indított elmozdulás teherrel is számoltam (0. perc, 10. perc, 20. perc, 30. perc, 40. perc, 50. perc), hogy megtudjam, hogyan viselkedik a próbatest különböző hőmérsékleteken. A terhelés teljes időtartama ekkor is 60 perc volt, ugyanúgy, mint a termikus analízis esetén.

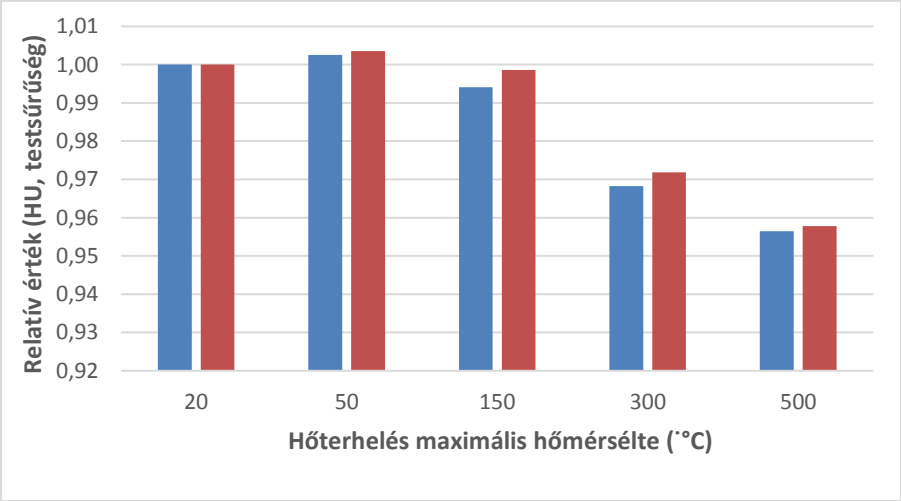
III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. *Tézis: Vasbetonszerkezetek tűzeset utáni vizsgálatkor alkalmazható új állapot meghatározási mód kidolgozása CT felhasználásával* [a, b, c, d]

1.1. altézis:

A testsűrűség és a CT (komputer tomográfiás) - egymástól független - mérésekkel igazoltam, hogy a hőterhelés maximális hőmérséklete beton anyagú elem esetén egy kivett mintán CT-vel megállapítható *(10. ábra).*

A CT elsődlegesen sűrűségkülönbség kimutatására alkalmas módszer. A CT-vel mért Hounsfield értékek alakulását és a testsűrűség mérés eredményeimet hasonlítottam össze a *10. ábrán*. *A* hőterhelés hatására jelentős, és közel azonos mértékű változás volt megfigyelhető mind a CT-vel mért testsűrűséggel arányos Hounsfield értékek, mind a laboratóriumban mért testsűrűség értékek esetén *(10. ábra)*. Ezzel igazoltam, hogy a CT mérési módszer egyértelműen alkalmas a hőterhelés hőmérsékletének megállapításra.



10. ábra: CT-vel mért HU érték és a laboratóriumi testűrűség csökkenésének mértéke a hőmérséket függvényében

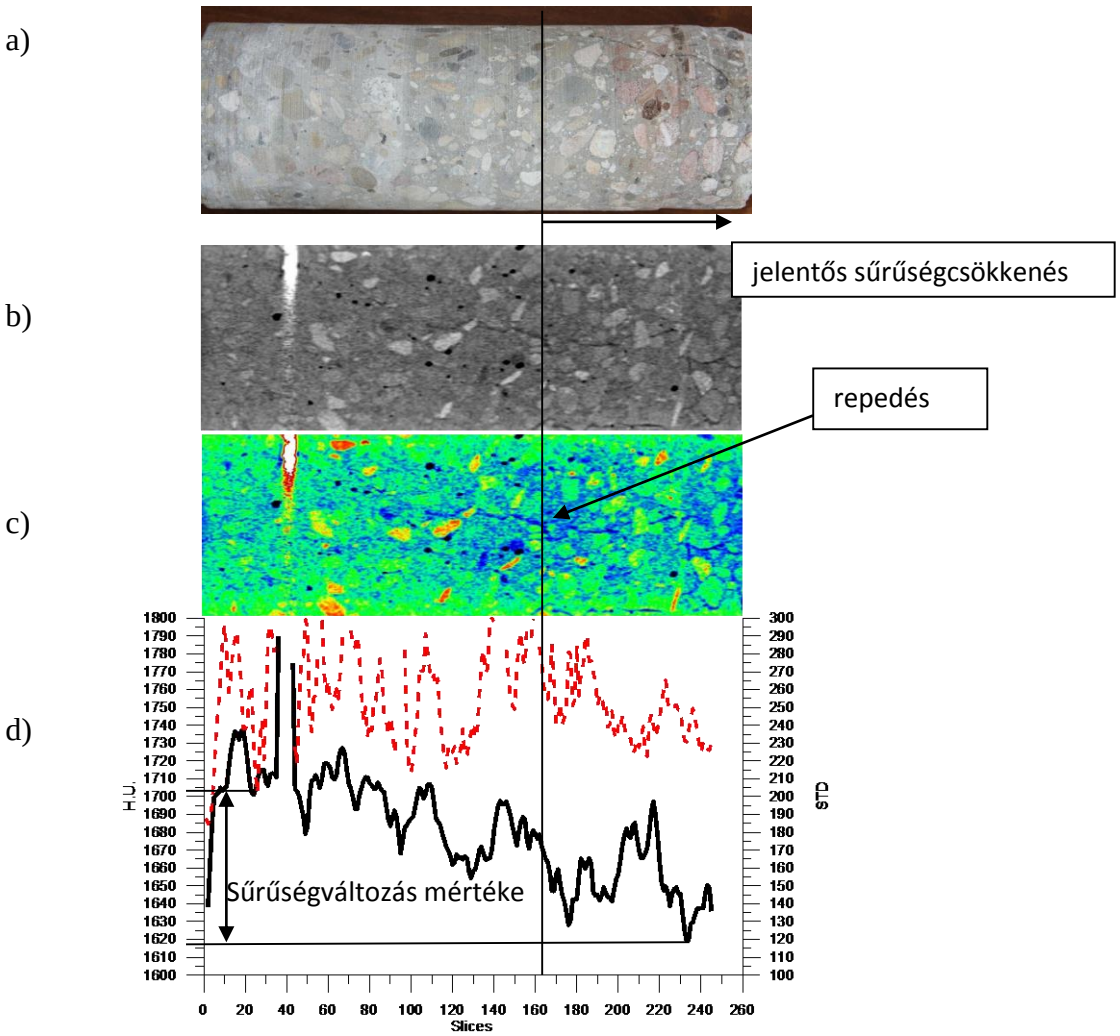
Jelmagyarázat:

piros oszlopok: CT mérésből kapott Hounsfield (HU) értékek, minden érték egy mérés eredménye

kék oszlopok: testsűrűség értékek, minden érték három mérés eredményének átlaga

1.2. altézis:

A hőterhelés hatására a károsodott, tűz felőli betonréteg vastagsága CT méréssel, kivett mintán megállapítható.



11. ábra: Tübingelem tűzállósági vizsgálata után kifúrt beton magminta elemzése
a) magmintáról készült fényképfelvétel,
b) CT felvételek szürkeárnyalattal ábrázolva,
c) CT felvételek színesárnyalattal ábrázolva,
d) az egyes CT szeletekhez tartozó Hounsfield értékek átlaga (folyamatos, fekete vonal) ,és a Hounsfield értékek szórása (szaggatott, piros vonal).

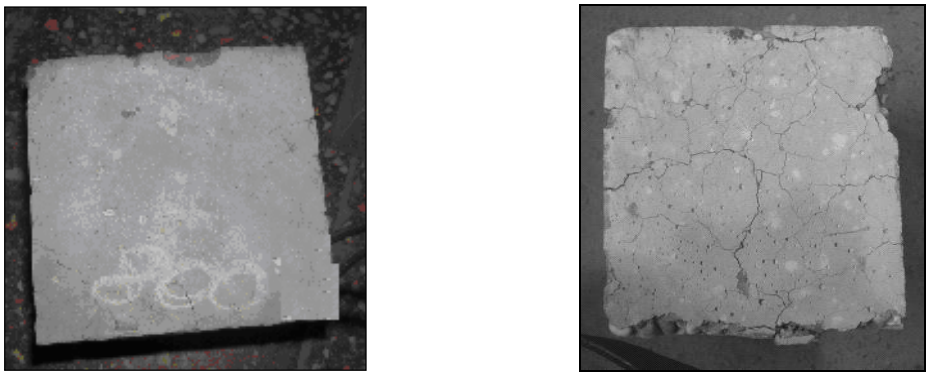
A CT felvételeknél megadtam az egyes szeleteken mért átlagos Hounsfield értékeket, és fölötte hozzá tartozó szórást is *(11 d) ábra).* A szóráson jól látszik, hogy az anyag sűrűsége kellőképpen egyenletes. A Hounsfield értékeknél hullámzást figyelhetünk meg, aminek az az oka, hogy a

szeletekben lévő adalékanyag mennyisége (kavics) változik. A 30-adik szelet körüli kiugró érték egy betonacél helyét jelzi. Jól látható hogy a hőtehelés hatására a hőhatáshoz legközelebbi rétegek Hounsfield értéke (sűrűsége) változott, 1700 HU-ról 1615 HU-ra csökkent, ami közelítőleg 85 kg/m^3 sűrűség változást jelent. A megváltozott sűrűségérték és a furat magminta elszíneződése is jelzi a beton jelentős károsodását**.** Itt említem meg, hogy a beton elszíneződése nem minden esetben következik be, ezért a színelemzés nem elegendő, viszont a sűrűség változása egyértelműen mutatja a károsodott rész határát.

2. Tézis: A szálgeometria hatásának kísérleti igazolása a szálerősítésű betonok tűzállóságára [e, f, g, h]

A szálerősítésű betonok tűzállóságára a szálak mennyiségén és anyagán túlmenően a szálak geometriai jellemzői is jelentős hatással vannak. Kísérletileg igazoltam, hogy a relatíve nagy átmérőjű és hosszúságú szálak kevésbé kedvezőek, mint a kis átmérőjű rövid szálak. A tűzállóság acélszálak alkalmazása esetén is kedvezően befolyásolható kis átmérőjű és kis hosszúságú szálakkal.

Kis átmérőjű, rövid acél vagy műanyag szálak alkalmazása esetén a 800 °C-os hőterhelés eredményeként sem figyeltem meg jelentős elváltozást a beton felületén *(12. ábra).* A száladagolás nélkül készült betonok esetén a 800 °C-os hőterhelést követően felületi repedések jelentek meg.



12. ábra: A beton felülete a 800 °C-os hőterhelést követően (betonösszetételt lásd *1. táblázatban*)
a) Kisméretű szálakkal (M1 keverék) b) száladagolás nélkül (M0 keverék)

Nagy átmérőjű, hosszú műanyag szálak a 200 °C és 300 °C-os hőterhelés során a szálak megolvadása következtében (*13. ábra a*), *b*)) a felület károsodását okozták. A 400 °C-os hőterhelést követően a beton felületével párhuzamosan elhelyezkedő szálak - égésnyomokat hagyva - a

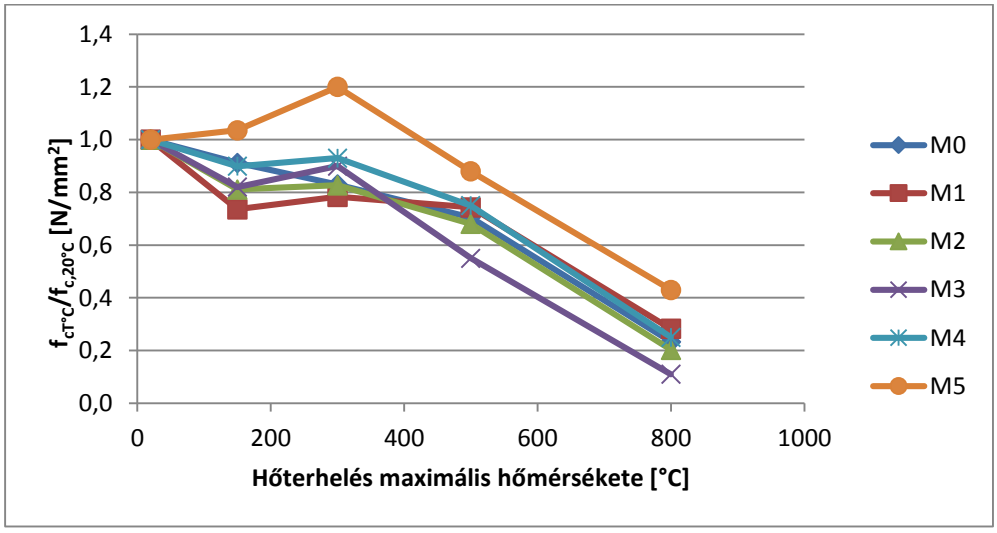
felületen kiégtek. Nagy átmérőjű, hosszú acélszálak alkalmazása esetén a 800 °C hőterhelés során a szálak elfeketedtek, és a beton helyenként megrepedt.

a) 200 °C-os hőterhelést követően

b) 500 °C-os hőterhelést követően

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

A hőterhelés utáni maradó nyomószilárdság szempontjából a kisméretű (kis átmérőjű, rövid) acélszálak bizonyultak a legkedvezőbbnek *(*M5 keverék, *14. ábra)*, nagyméretű (nagy átmérőjű, hosszú) acélszálak a legkedvezőtlenebbnek (M3 keverék). Ez is bizonyítja, hogy csupán a szál anyagának ismerete nem elegendő a szálerősítésű betonok tűz utáni viselkedésének megállapítására, hanem a szál geometriája is fontos.



M0 (etalon)
M1 1 kg/m³ rövid műanyagszál
M2 1 kg/m³ hosszú műanyagszál
M3 35 kg/m³ hosszú acélszál
M4 35 kg/m³ hosszú acélszál
M5 35 kg/m³ rövid acélszál

14. ábra: A maradó nyomószilárdság alakulása a hőterhelés hőmérsékletének függvényében (Az M0-M5 betonkeverékek összetevői *1. táblázatban* láthatóak, minden pont 3 mérési eredmény átlagát mutatja)

3. Tézis: Kísérleti eredményeimen alapuló módosítás kidolgozása a kapcsolati szilárdság és a nyomószilárdság összefüggésére az 500 – 800 °C hőmérsékleti tartományban [i, j]

Kísérletileg igazoltam, hogy a kapcsolati szilárdság - nyomószilárdság MC2010 [20] összefüggése 400 °C-ig kiterjeszthető, és így:

kvarckavics adalékanyagos beton esetén:

20 °C és 400 °C között $\tau_{b,max}=2{,}5f_{ck}^{0.5}$

duzzasztottagyagkavics adalékanyagos beton estén:

20 °C és 400 °C között $\tau_{b,max}=2{,}0f_{ck}^{0.5}$

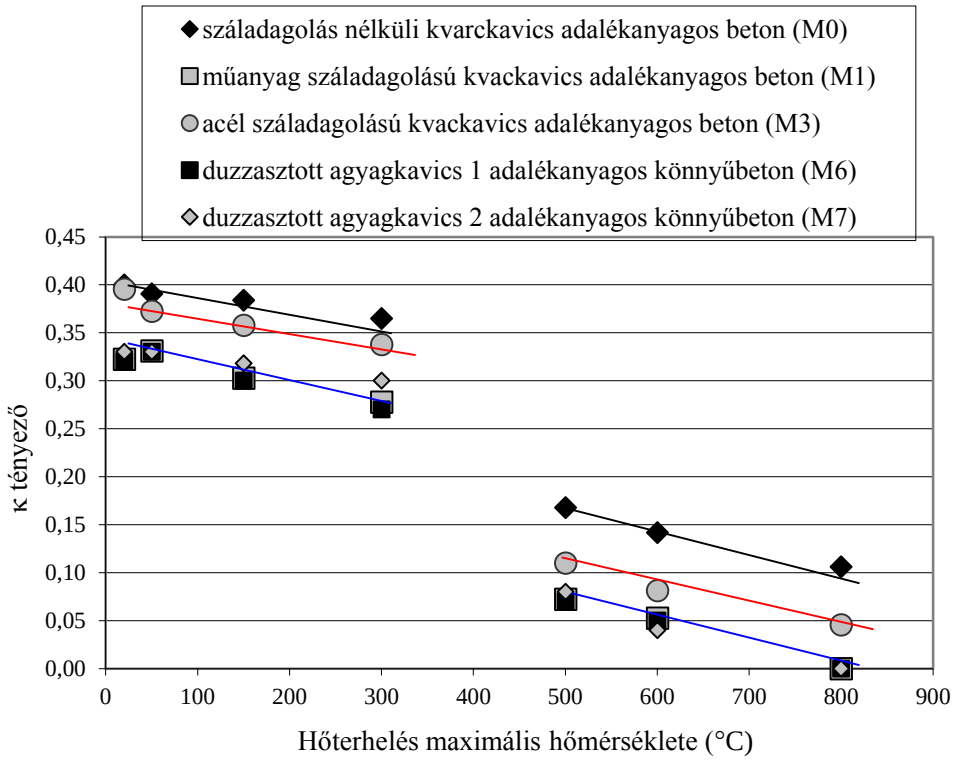
Kísérletileg igazoltam, hogy a beton és a betonacél tűzterhelést követő, maradó kapcsolati szilárdsága a beton nyomószilárdság karakterisztikus értékének függvényében a MC2010 [21] összefüggésének következő, módosított formájában határozható meg a magas hőmérsékleti tartományokban:

kvarckavics adalékanyagos beton estén:

500 °C és 800 °C között $\tau_{b,max}=2{,}5f_{ck}^{0.4}$

duzzasztottagyagkavics adalékanyagos beton esetén:

500 °C és 700 °C között $\tau_{b,max}=2{,}0f_{ck}^{0.4}$

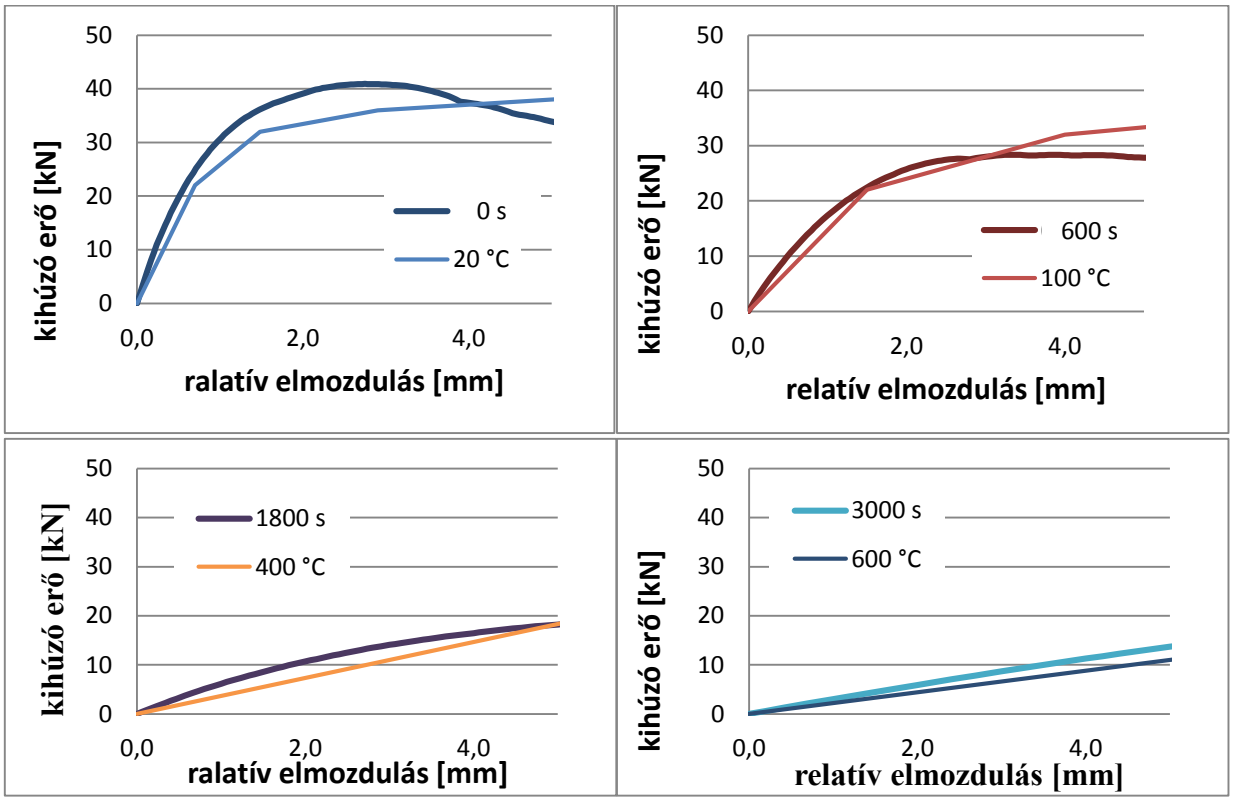


15. ábra: A kapcsolati szilárdság és a nyomószilárdság összefüggése a hőmérséklet függvényében (minden pont 3 mérési eredmény átlagát mutatja)

Szobahőmérsékleten a kapcsolati szilárdság és a beton nyomószilárdsága között összefüggés írható fel [20]. A kapcsolati szilárdság és a nyomószilárdság hányadosa (κ) a hőmérséklet függvényében

két egyenessel (20 ° és 400 °C, illetve 400 °C és 800 °C között) írható le beton összetételenként *(15. ábra)*. 400 °C felett a relatív kapcsolati szilárdság jelentősen lecsökkent, ilyen mértékű csökkenés a nyomószilárdság esetén nem volt megfigyelhető, ezért a kapcsolati szilárdság maximumának számítására adott képletet jelen tézisben javasolt formában módosítani kell. A képleteket a legkisebb négyzetek elvének felhasználásával határoztam meg (R^2=0,95-0,98 volt).

Numerikus (végeselemes) modellezéssel igazoltam, hogy jelen *tézis* szerinti, módosított kapcsolati szilárdság összefüggés alkalmazásával a beton-betonacél közötti kapcsolat jól modellezhető (*16. ábra)*.



16. ábra: A labor és a végeselemes modell eredményeinek összevetése

Jelölések:

1. sor: a numerikus modell a tűz terhelés időtartamával (0, 600, 1800, 3000 s),
2. sor: a kihúzókísérlet eredménye a maximális hőterhelés függvényében (20 °C, 100 °C, 400 °C, 600 °C)

IV. JÖVŐBENI KUTATÁSOK

Jelen kutatás folytatását a következő irányokban tartom szükségesnek:
- a CT mérések kierjesztése az anyagvizsgálatokra,
- a CT mérések alkalmazása más tönkremeneteli folyamatok (fagyás, agresszív hatás) esetén,
- a húzószilárdság és a rugalmassági modulus változásának felírása a hőmérséklet függvényében.

V. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm mindazoknak, akik az elmúlt években segítették és támogatták a munkámat, együttműködésükkel bíztattak, bátorítottak.

Köszönöm azon tanszéki és kari kollégáimnak, TDK-zó, PhD-zó hallgatóimnak, akik az elmúlt években segítették és támogatták a szakmai munkámat.

Külön köszönetdr. Kopecskó Katalinnak, dr. Gáspár Zsoltnak, Hlavička Viktornak és Czoboly Olivérnek a tézisfüzetem elkészítésben nyújtott segítségért.

Nagyon köszönöm dr. Balázs L. György egyetemi tanárnak, az éveken át nyújtott támogatást és szakmai irányítást és segítséget.

Végül köszönöm a családom mindenkori támogatását.

VI. A TÉZISEK TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK JEGYZEKE

[a] Balázs, L. Gy., Lublóy, É., Czoboly, O.: Possible observations on concrete after high tempereture loading, Zbornik Radova Gradevinskog Fakulteta Subotica / Procedings of tehe faculity of civil engineering subotica 25: pp. 579-586. (2014)

[b] Lublóy Éva, Földes Tamás, Balázs L. György: A CT bevezetése a beton roncsolásmentes vizsgálatához, Vasbetonépítés 2013:(1): pp. 2-6. (2013)

[c] Balázs, L. Gy., Lublóy, É.: Potentials in use of X-ray Computer Tomograph (CT) to study fire damaged concrete, In: Avraham N. Dancygie (szerk.): Proceedings, fib Symposium, Tel Aviv, Izrael, 2013.04.22-2013.04.24.: pp. 549-552.

[d] Lublóy, É., Földes, T., Balázs, L. Gy.: Potencials in use of X-ray computer tomography, In: Balázs L. Gy., Lublóy É. (szerk.): Innovative Materials and Technologies for Concrete Structures: CCC2011. Balatonfüred, Magyarország, 2011.09.22-2011.09.23.: pp. 37-40. ISBN: 978-963-313-036-0

[e] Lublóy, É., Balázs, L. Gy.: Post-heating strength of fiber-reinforced concretes, Fire Safety Journal 49: pp. 100-106. (2012)

[f] Balázs, L. Gy., Lublóy, É.: Residual properties of fibre reinforced concerte after fire, CCC2009 Baden Proceedings, Baden, Ausztria, 2010.09.24-2010.09.25.: pp. 12-18.

[g] Balázs, L. Gy., Lublóy, É.: Residual compressive strength of fire exposed fibre reinforced concrete, In: 8th International Symposium on Utilization of High- Strength and High Performance Concrete, Tokyo, Japán, 2008.10.27-2008.10.28. Tokyo: pp. 785-790.

[h] Majorosné Lublóy É., Balázs L. Gy.: Műanyagszál adagolású betonok alkalmazhatósága, különös tekintettel a tűzállóságra. Vasbetonépítés 8:(2) pp. 57-63. (2006)

[i] Éva, Lublóy, Balázs, L. György: Temperature effects on bond between concrete and reinforcing steel, Zbornik Radova Gradevinskog Fakulteta Subotica / Procedings of tehe faculity of civil engineering Subotica 26: pp. 27-35. (2014)

[j] Lublóy, É., Balázs L. Gy.: Influence of high temperatures on bond, In: John W. Cairns, Giovanni Metelli, Giovanni A. Plizzari (szerk.) Bond in Concrete, Brescia, Olaszország, 2012.07.17-2012.07.20.: pp. 567-572. Paper 199. ISBN: 978-88-907078-1-0

VII. HIVATKOZOTT IRODALOM

[1] www.langlovagok.hu, letöltés: 2015 04.26

[2] http://mno.hu/kulfold/langolt-a-faklya- tobb-ezer-embert-menekitettek-ki-1273940, letöltés: 2015 04.26

[3] http://www.swissinfo.ch/eng/search- underway-for-tunnel-accident- causes/30663698, letöltés: 2015 04.26

[4] Lublóy É., PhD értekezés, Budapest ,2008: Tűz hatása a betonszerkezetek anyagaira

[5] Høj, N. P.: Keep concrete attractive - Fire design of concrete structures, Proceedings of fib symposium on Keep concrete attractive, edited by Gy. L. Balázs, A. Borosnyói , 23-25 May 2005, Budapest: pp.1097-1105

[6] Janson, R., Boström, L.: Experimental investigation on concrete spalling in fire, Proceedings for Workshop on Fire Design of Concrete Structures: What now?, What next?, December 2-3, 2004, Milano, (Eds. P. G. Gambarova, R. Felicetti, A. Meda, P. Riva): pp. 2-42

[7] Wille, K., Schneider, H.: Investigation of fibre reinforced High Strength Concrete (HSC) under fire, particularly with regard to the real behaviour of polypropylene fibres, 2002, Lacer Nr. 7: pp. 61-70

[8] Dehn, F., Wille, K.: Micro analytical investigations on the effect of polypropylene fibres in fire exposed high performance concrete (HPC), Proceedings of International RILEM Symposiumon Fibre Reinforced Concretes, BEFIB 2004 20-22 September, Varrenna, Italy (Eds. Prisco, M., Felicetti, R., Plizzari, G. A.): pp. 659-678

[9] Dehn, F., Werther, N.: Fire tests on tunnel elements for M 30 tunnel in Madrid (Brandversuche an Tunnelinnenschallenbetonen für den M 30- Nordtunnel in Madrid), Beton und Stahlbetonbau, 101/9, 2006, Berlin, ISSN 0005-9900 (in German)

[10] Walter, R., Kari, H., Kusterle, W., Lindlbauer, W.: Analysis of the Load-bearing Capacity of Fibre Reinforced Concrete During Fire, Proceedings of Central European Congress on Concrete Engineering 8-9 Sept. 2005, (Ed. Pauser, M.), Graz: pp. 54-59.

[11] Silfwerbrand, J.: Guidelines for preventing explosive spalling in concrete structures exposed to fire, Proceedings of Keep Concrete Attractive, Hungarian Group of fib, 23-25. Mai 2005., (Eds. Balázs, L. Gy., Borosnyói, A.), ISBN 963 420 837: pp. 1142-1147

[12] Dehn, F., König, G.: Fire resistance of different fibre reinforced high performance concretes, Proceedings of International Workshop High Performance Fibre Reinforced Cement Composites, (Eds. Naaman, A. E., Reinhardt, H., W.), 2003: pp. 189-204

[13] Horiguchi, T.: Fire resistance of hybrid fibre reinforced high strength concrete, Proceedings of International RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concretes, (Eds. Prisco, M., Felicity, R. Pizzeria, G. A.), 2004: pp. 1-18

[14] Horiguchi, T.: Combination of Synthetic and Steel Fibres Reinforcement for Fire Resistance of High Strength Concrete, Proceedings of Central European Congress on Concrete Engineering, 8-9. Sept. 2005, (Ed.: Pauser, M.), Graz: pp. 59-64

[15] *fib* bullein 38: Fire design of concrete structures - materials, structures and modelling, ISBN: 978-2-88394-078-9, 2007

[16] *fib* bullein 46: Fire design of concrete structures - structural behaviour and assessment, ISBN: 978-2-88394-086-4, 2008

[17] Gambarova, G. P.: Opening Adresses on Some Key Issues Concerning R/C Fire Desing, Proceedings for Fire Design of Concrete Structures: What now?, What next?, edited by: P. G. Gambarova, R. Felicetti, A. Meda, P.,Riva, December 2-3, 2004

[18] Kordina, K.:, Über das Brandverhalten punktgeschützter Stahbetonbalkaen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 479, ISSN 0171-7197, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1997

[19] MSZ EN 1991-1-2:2005 Eurocode 1: A tartószerkezeteket érő hatások. 1-2. rész: Általános hatások. A tűznek kitett szerkezeteket érő hatások

[20] MC2010: ***fib*** Model Code 2010 for Concrete Structures 2010, Wiley Ernst and Sohn 2013, ISBN 978-3-433-03061-5