



Lublóy Éva, Hlavička Viktor, Kapitány Kristóf

BETON TŰZTERHELÉS UTÁNI SZILÁRDSÁG- ÉS MIKROSZERKEZETI VIZSGÁLATA CT-VEL

Absztrakt

Jelen cikkben csak a beton kémiai átalakulásának hatását vizsgáljuk a beton szilárdsági és belső szövetszerkezeti jellemzőire. Ezekbe beleértendőnek érezzük a melegítés során kialakuló belső szerkezeti átalakulásokat és repedéseket is. A vizsgálatok során 7 darab betonreceptúra nyomószilárdságát, hajlító-húzószilárdságát és testszilárdságát vizsgáltuk a hőmérséklet függvényében. Az alkalmazott hőlépcsők: 20, 50, 150, 300, 400, 500, 800 °C voltak. Mivel a pórusrendszer, illetve a repedések száma a hőmérséklet emelkedésének hatására változik és ez jelentősen befolyásolja a szilárdság alakulását, ezért a szilárdsági vizsgálatainkat kiegészítettük CT vizsgálatokkal is. A vizsgálatok során igazoltuk, hogy a CT vizsgálatok egyértelműen alkalmasak a hő (tűz) terhelt betonok vizsgálatára, vagyis a szilárdság csökkenést befolyásoló anyagszerkezeti átalakulások nyomon követésére.

Kulcsszavak: beton, magas hőmérséklet, tűz, anyagszerkezeti változás, CT

EXAMINATION OF CONCRETE STRENGTH AND MICRO- STRUCTURE AFTER FIRE BY COMPUTED TOMOGRAPHY

Abstract

In this study we examine the effect of high temperature on the concrete strength and on the concrete matrix, including chemical changes and the cracks. During the experiments we tested the compression strength, the flexural tensile strength and the body strength of 7 different concrete mixtures after fire load. The applied temperature steps were 20, 50, 150, 300, 400,



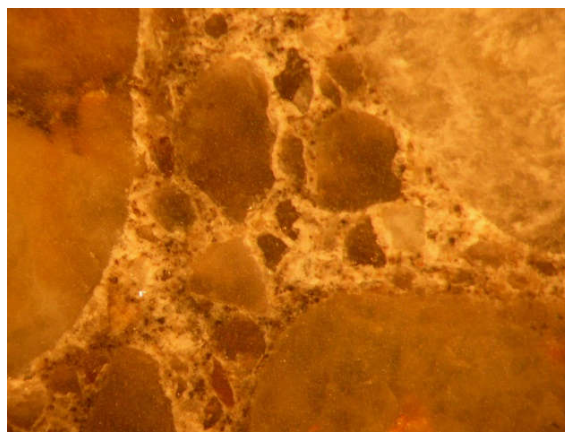
500, 800 ° C. During the fire load the density of the specimens changed, because at high temperatures the porosity of the concrete and the number of the cracks increase. Therefore, our experiments were complemented with computed tomography (CT) tests. During the tests, we proved that CT tests are clearly suitable for monitoring of material structural changes in case of concrete.

Keywords: concrete, high temperature, fire, material structural changes, CT

1. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

1.1 A Beton viselkedése magas hőmérsékleten

A megszilárdult beton két fő komponensből álló összetett anyag. Az *1. ábra*n kvarckavics adalékanyagú beton metszetről készített optikai mikroszkópos felvételt mutatjuk be. A felvételen jól látható, hogy a megszilárdult beton két fő összetevője az adalékanyag és a cementkő. A beton magas hőmérsékleten való szerkezeti átalakulásával kapcsolatban tudni kell, hogy a hőmérséklet emelkedésnek hatására mindkettőben változások következnek be.



1. ábra: Kvarckavics adalékanyagú beton (20 °C mikroszkópos felvétel)

A hőmérséklet emelkedésével romlanak a beton szilárdsági jellemzői. A beton a lehülés során sem nyeri vissza eredeti tulajdonságait, jellemzőit, mivel a hőterhelés hatására a beton



szerkezetében visszafordíthatatlan folyamatok mennek végbe, a beton szerkezete megbomlik, és végezetül tönkremegy.

A beton tűzterhelés hatására bekövetkező tönkremenetele *Kordina* szerint (1997) alapvetően két okra vezethető vissza:

- a beton alkotóelemeinek kémiai átalakulására, illetve
- a betonfelület réteges leválására.

Jelen cikkben csak a beton kémiai átalakulásának hatását vizsgáljuk a szilárdsági és belső szövetszerkezeti jellemzőire, ezért itt elsősorban a beton belső szerkezetében lejátszódó kémiai és fizikai változásokat ismertetjük. Ezekbe beleértendőnek érezzük a melegítés során kialakuló belső mikrorepedéseket is.

A beton szilárdsági tulajdonságainak változása magas hőmérsékleten a következő paramétereiktől függ (*Thielen, 1994*):

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

Magas hőmérséklet hatására a beton szerkezete megváltozik. **100 °C** körül a tömegvesztés a makro-pórusokból távozó víz okozza. Az ettringit ($3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) bomlása **50 °C és 110 °C** között következik be (*Khoury, Graiver, Sullivan, 1985*). **200 °C** körül további dehidratációs folyamatok zajlanak, ami a tömegvesztés újabb, kismértékű növekedéséhez vezet. A különböző kiinduló nedvességtartalmú próbatestek tömegvesztése eltérő lesz egészen addig, amíg a pórusvíz és a kémiailag kötött víz eltávozik. A kiinduló nedvességtartalom függvényében a tömegvesztés eltérése különösen a könnyűbetonok esetén jelentős. A kiinduló nedvességtartalomtól függő további tömegvesztés **250-300 °C** között



már nem érzékelhető. **450 °C és 550 °C** között a nem karbonátosodott portlandit bomlása következik be ($\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}\uparrow$). Ez a folyamat endoterm (hőelnyelő) csúcsot és ezzel egyidejűleg újabb tömegvesztést okoz (*Schneider, Weiss, 1977*), ez a kémiai átalakulás a betonszilárdság csökkenéséhez, illetve az acélbetétek tapadásának jelentős csökkenéséhez vezet. A közönséges betonok esetén a kvarc α -ból β módosulatba való átkristályosodása **573 °C-on** okoz kis intenzitású endoterm csúcsot. A kvarc átalakulása 5,7%-os térfogat-növekedéssel jár (*Waubke, 1973*), ami a beton lényeges károsodását eredményezi, ezen hőmérséklet felett az adalékanyag határfelületén feltehetőleg mikrorepedések jelennek meg. A régi szakirodalom szerint ezen hőmérséklet fölött a beton nem rendelkezik jelentős teherbírással. **700 °C-on** a CSH (kalcium-szilikát-hidrát) vegyületek vízleadással bomlanak, ami szintén térfogat-növekedéssel és további szilárdságcsökkenéssel jár (*Hinrichsmeyer, 1987*).

A CT (komputer tomográfias felvételeken) a sűrűség különbségeket látjuk, ebből kifolyólag a pórusrendszer változását egyértelműen felismerhető a felvételeken, ezért a bemutatjuk a beton pórusrendszerének a változását hőterhelés hatására. A kvarckavics adalékanyagú betonoknál **150 °C-ig** a cementkő porozitása, valamint az adalékanyag és a cementkő közötti kontaktzóna porozitása nő. A kontaktzónában **150 °C-ig** repedések keletkezhetnek, amit az adalékanyag és cementkő különböző hőtágulásával magyarázhatunk. A cementkő struktúrája **450 °C-ig** stabil, de mikrorepedések már ezen hőmérséklet alatt is keletkezhetnek. **450-550 °C** között azonban a portlandit bomlása miatt a porozitás megnő. Ezt követően **650 °C-ig** a cementkő felépítése nem változik. **650 °C** felett a CSH vegyületek bomlása megkezdődik, és a kapillárisok száma megnő. **750 °C** felett a pórusok átmérője nagymértékben növekszik. A különböző mikrorepedések mérete függ az adalékanyag legnagyobb szemnagyságától (*Hinrichsmeyer, 1987*).

1.2 A CT vizsgálat rövid leírása és alkalmazhatósága tűzkárosult beton esetén

Tekintettel arra, hogy a pórusrendszer a hőmérséklet emelkedésének hatására változik ezért a CT vizsgálatok alkalmasak lehetnek a hő (tűz) terhelt betonok vizsgálatára. Az alábbiakban a CT vizsgálatok menetét ismertetjük röviden. A hagyományos röntgen vizsgálatnál a testből kilépő sugárzás a filmen feketedésként jelenik meg. Minél kisebb az anyag sugárgyengítési



együtthatója, annál nagyobb sugárzás éri a filmet, így sötétebb lesz a film. A nagyobb sugárgyengítési együtthatójú anyagok esetén kisebb a testből kilépő sugárzás, ami a filmen világosabb területként jelenik meg. A komputertomográfias (CT) felvételeken a vizsgálat tárgya szeletekre bontva látható. A CT adatmátrixból vizualizált kép első közelítésben úgy kezelhető, mint egy szeletfelbontásnak megfelelő sűrűségterkép az adott anyagokról. Ezen a sűrűség képen jól kirajzolódnak a vizsgált tárgy különböző sajátosságai (adalékanyag szemcsék, pórusok, repedések).

A CT felvételek esetén azonban nagy hangsúlyt kell fektetni, azoknak a korrekt, mérnökök számára is használható kiértékelésére.

2. VIZSGÁLAT MÓDSZERE

2.1 Alkalmazott anyagok

A vizsgálathoz receptenként 21 darab 150 mm élhosszúságú kockát és 21 darab 70x70x250 mm-es hasábot készítettünk. A T1 és T2 összetétel zúzottkő adalékanyaggal, a T3-T7 betonreceptek kvarckavics adalékanyaggal készültek.

A kísérletek során minden recept CT vizsgálatát is elvégeztük a hőterhelt , majd eltört hasábok egyik felén.

2.2 Tűzvizsgálat és a szilárdságmérés menete

A kísérleteink során a szabványos (standard), vagyis a magasépítési szerkezetekre, és a csarnokokra alkalmazható tűzgörbéhez közeli felfűtési görbét alkalmaztunk

A próbatesteket a kizsaluzás után 7 napig vízben, majd a hőterhelésig (28 napos korig) laboratóriumi körülmények között tároltuk.



A nyomó szilárdság vizsgálatot 150x150x150 mm élhosszúságú már hőterhelt és laborlevegőn lehűlt próbakockákat ALPHA 3-3000 S típusú törőgépen törtük el. A törőgép terhelési sebessége 11,25 kN/s volt

A hajlító-húzó szilárdság meghatározásához a 250x70x70 mm-es hasáb próbatesteket központos hajlító vizsgálatnak vetettük alá. Majd a fél hasábok elnyomásával a testszilárdságot is megállapítottuk. A hasábokat is a hőterhelést követően laborlevegőn lehűlt állapotban terheltük.

A vizsgálatok során a különböző betonreceptúrák nyomószilárdságát, hajlító-húzószilárdságát és testszilárdságát vizsgáltuk a hőmérséklet függvényében. Az alkalmazott hőlépcsők: 20, 50, 150, 300, 400, 500, 800 °C voltak.

2.3 CT mérés menete

A CT méréseket a Pécsi Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológia Intézetében végeztük el. A CT felvételek feldolgozása és elemzése *Matlab* környezetben írt algoritmusokkal, automatikus módon, előre beállított paraméterekkel történik. Az adalékanyagok, kötőanyagok és a pórusok szegmentálása küszöböléssel (thresholding) történt, de a CT felvételek zajossága miatt az algoritmusban képfeljavító eszközöket is alkalmaztunk. Ezek közé különböző szűrők (például átlagoló szűrő) tartoztak, valamint külön foglalkoznunk kellett a CT-re jellemző nyálábkeményedési korrekcióval is. Utóbbi a homogén anyagon áthaladó röntgensugár gyengülését hivatott korrigálni. A kialakított algoritmusok egyenként elvégzik a CT felvételeken a szegmentálást, majd elemzés után szeletenkénti térfogat százalékos statisztikákat állítanak elő. Az eredményeket táblázatos formában is rögzíthetjük, és további statisztikai számításokra is felhasználhatjuk, nem csupán szeletenként, hanem a teljes mintára vonatkozóan is. Az előállított eredmények közé nem csupán a kinyert statisztikák tartoznak, hanem a köztes lépésekben előállított szegmentált felvételek is, melyek alkalmasak a mintán belüli különböző komponensek vizualizálására.



3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1 Szilárdságvizsgálat eredményei

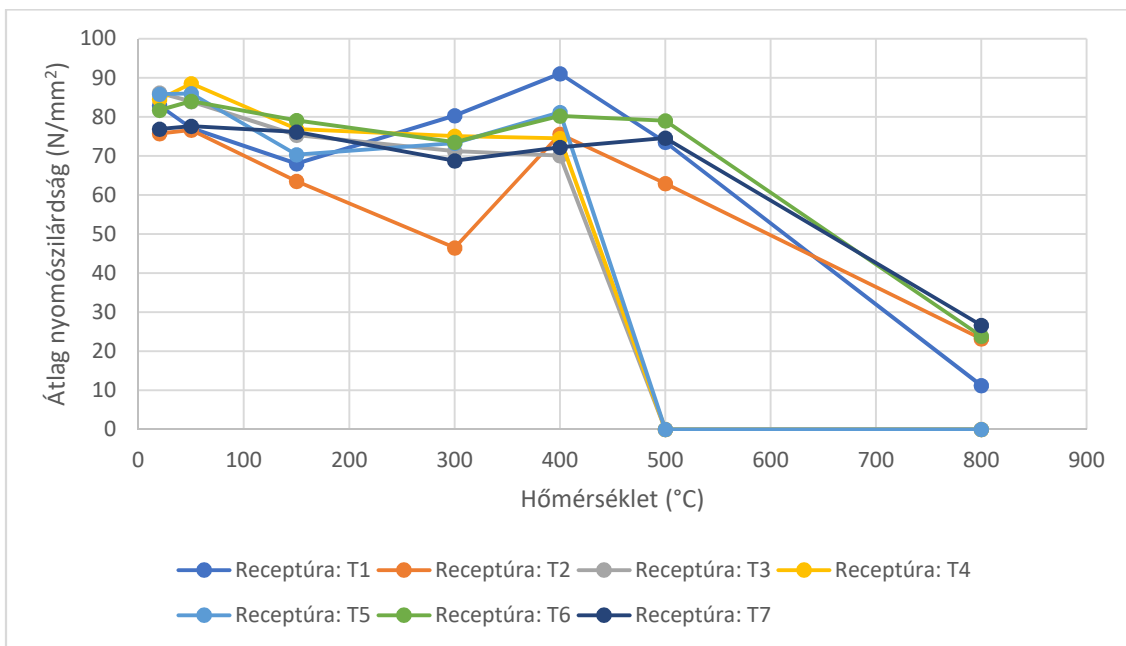
3.1.1 Nyomószilárdság vizsgálat eredményei

Nyomószilárdságot 150x150x150 mm élhosszúságú kockákon mértünk. A mért és a relatív nyomószilárdsági eredményeit a hőmérséklet függvényében a 3. és 4. ábra szemlélteti.

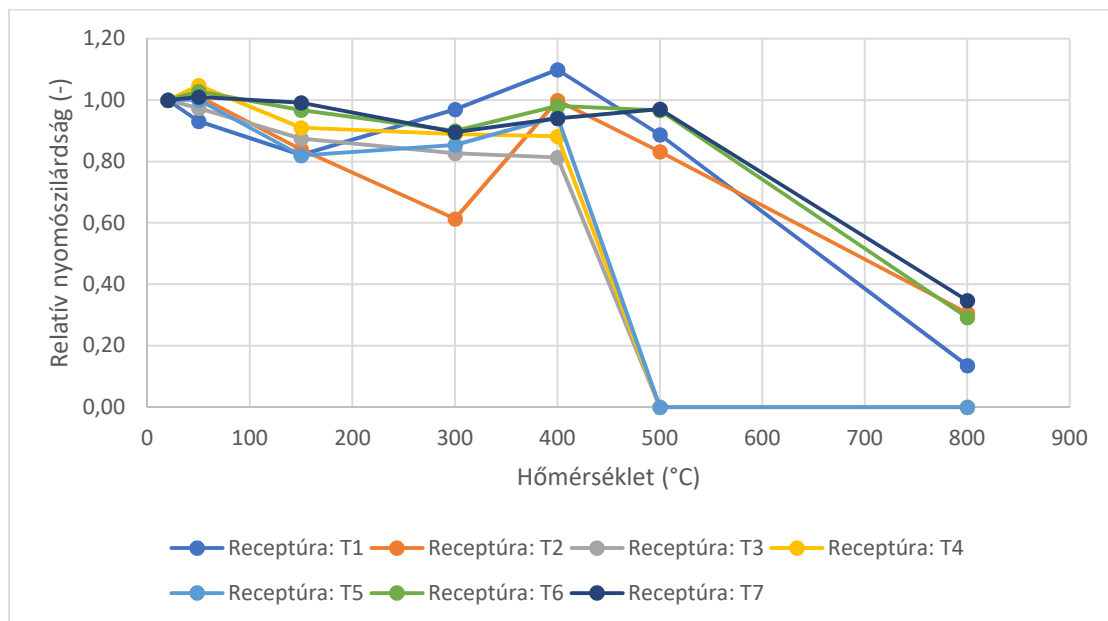
A nyomó szilárdság alakulása minden keverék esetén hasonló volt: A betonszilárdság kezdeti csökkenése után egy átmeneti növekedést tapasztalhatunk, amit utána újabb szilárdságcsökkenés követett.

A következő eltéréseket azonban kiemelnénk:

- A lokális minimum pont helye változik, pl. a T2 recept esetén a szokásos 150 °C helyett 300 °C-nál található.
- A T3, T4 és T5 beton összetételek esetén az 500 °C-os hőterhelés hatására a beton próbatestek a kemencében felrobbantak, ezért inentől szilárdságot 0-ra vettük fel. Ez arra utal, hogy a nagyelemes kísérletek során a betonfelület robbanásszerű leválásának az esélye elég nagy, tehát ezeknek a betonösszetételeknek az alkalmazása kérdéses.



3. ábra: Kockán mért átlag nyomószilárdság a hőmérséklet függvényében



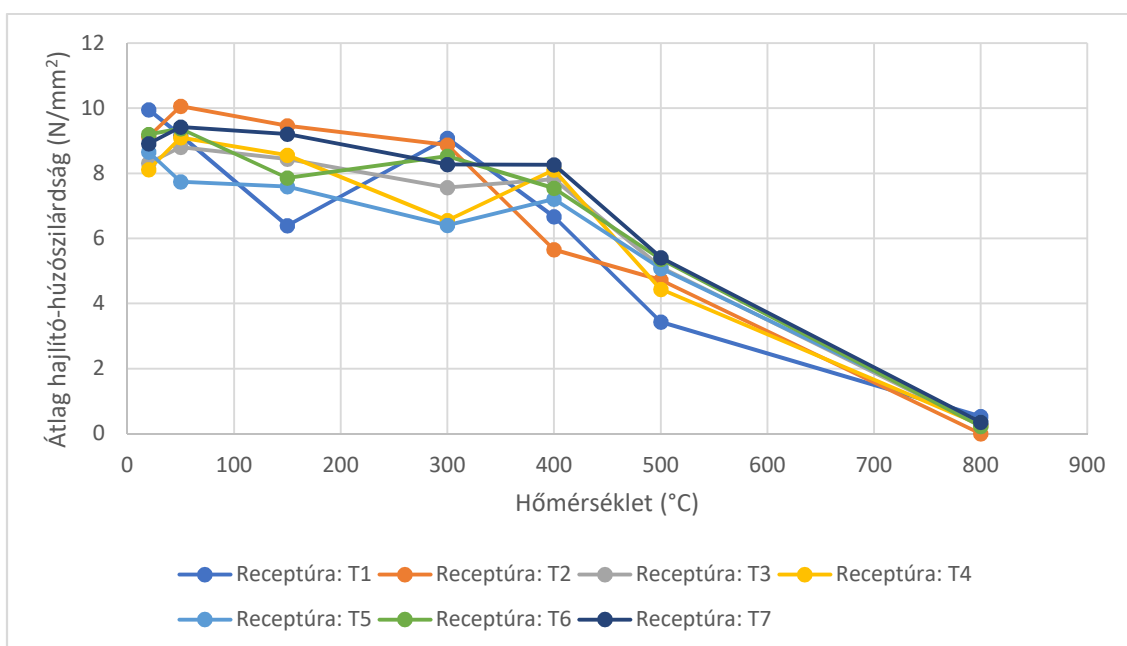
4. ábra: Kockán mért relatív nyomószilárdság a hőmérséklet függvényében



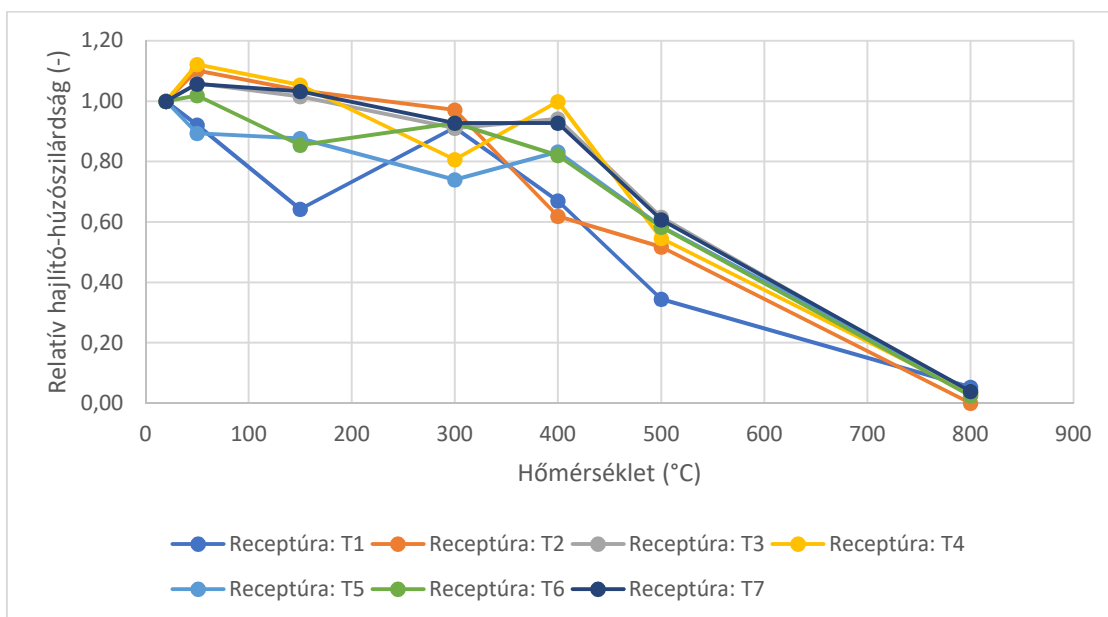
3.1.2 Hajlító-húzószilárdság vizsgálat eredményei

Hajlító-húzószilárdságot 70x70x250 mm élhosszúságú hasábokon mértünk. A vizsgált receptúrák mért és a relatív hajlító-húzószilárdsági eredményeit a hőmérséklet függvényében a 5. és 6. ábra szemlélteti.

A hajlító-húzószilárdság alakulása minden keverék esetén hasonló volt: A hajlító-húzószilárdság csökkenése egyenletesnek mondható, minden keverék esetén.



5. ábra: Hasábon mért átlag hajlító-húzószilárdság a hőmérséklet függvényében

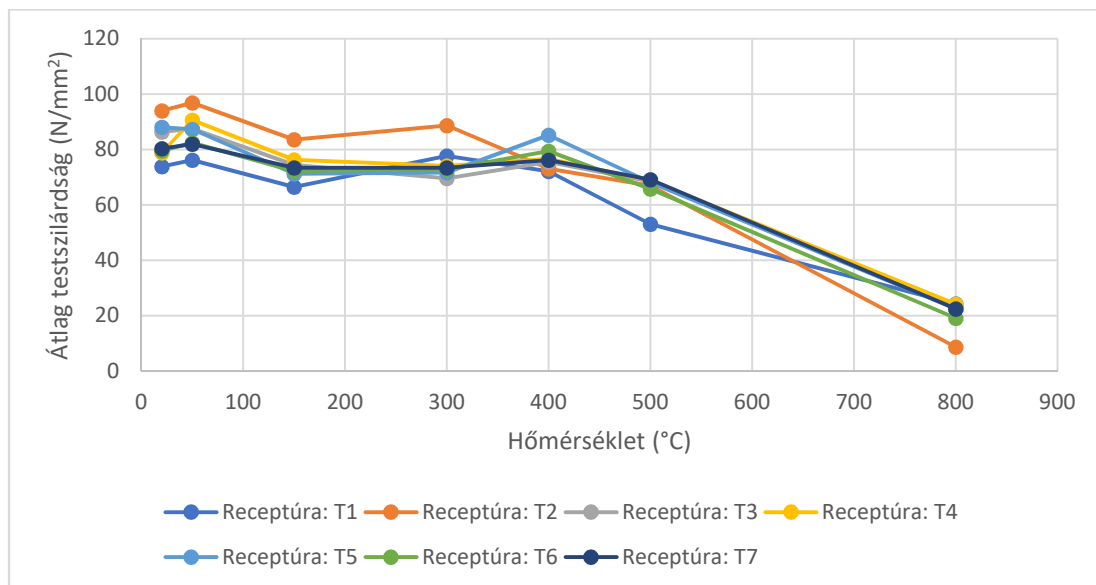


6.ábra: Hasábon mért relatív hajlító-húzószilárdság a hőmérséklet függvényében

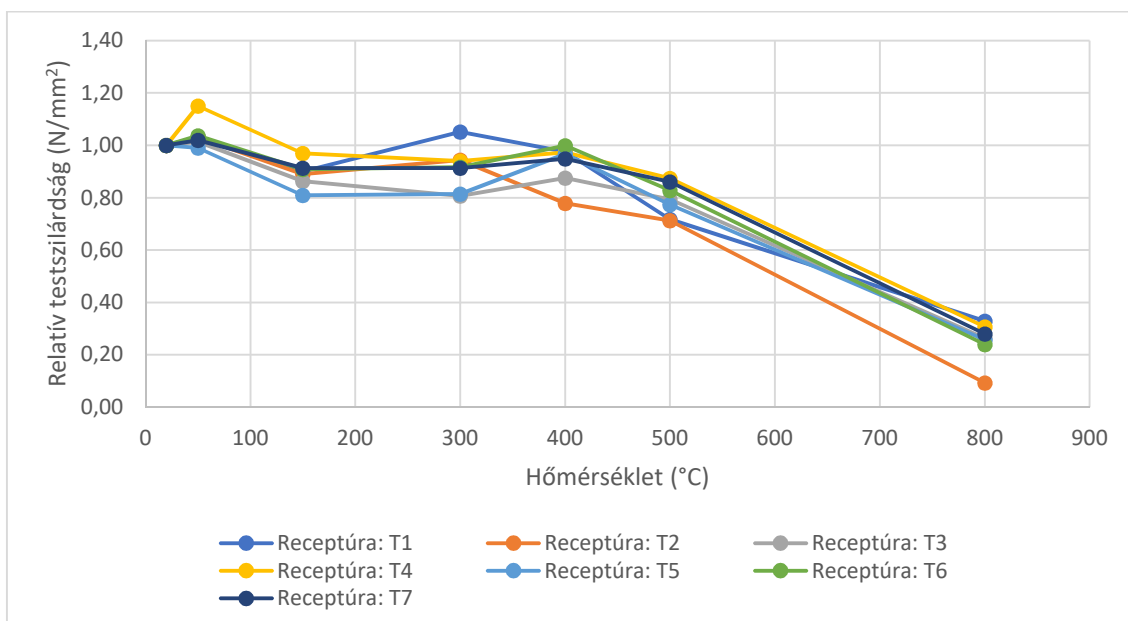
3.1.3 Testszilárdság eredmények

A betonok testszilárdságát az elhajlított hasábok egyben maradt fél hasábjain mértük 70x70 mm területű nyomólapok segítségével. A kiindulási receptúrák mért és a relatív testszilárdsági eredményeit a hőmérséklet függvényében a 7. és 8. ábra szemlélteti.

A testszilárdság alakulása minden keveréknél azonos tendenciát mutat: A görbék között lényeges eltérés nem tapasztalható.



7. ábra: Hasábon mért átlag testszilárdság a hőmérséklet függvényében



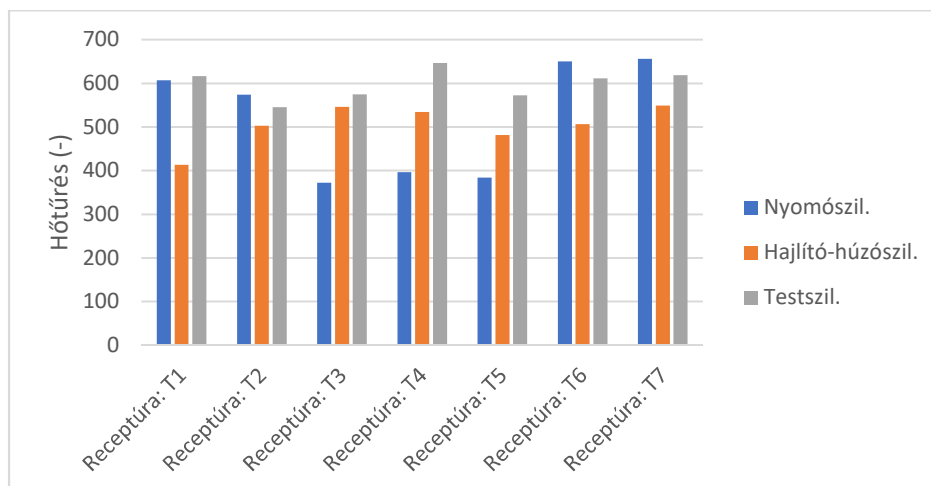
8. ábra: Hasábon mért relatív testszilárdság a hőmérséklet függvényében



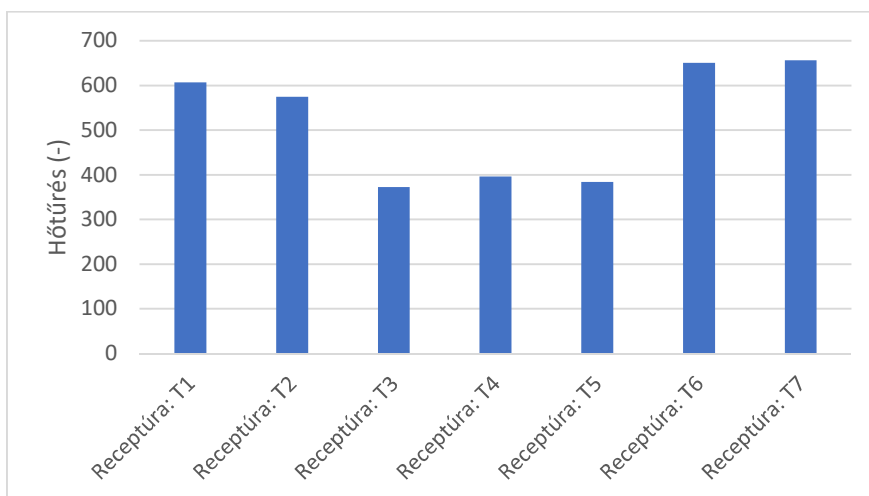
3.1.4 Hőtűrési eredmények

A betonok hőmérséklet következtében bekövetkező szilárdságsökkenését a könnyebb átláthatóság és összehasonlíthatóság miatt gyakran a betonok hőtűrésével jellemzik. A betonok hőtűrése a relatív szilárdság-hőmérséklet görbe alatti terület kifejezve egyetlen értékben.

A vizsgált receptúrák hőtűrését a 9. ábra szemlélteti. A 10. ábrán a nyomószilárdságból számolt hőtűrési értéket adjuk meg. Jól látszik, hogy a nyomószilárdság szempontjából a T3, T4 és T5 betonok hőtűrése a legkisebb, amit a beton kockák felrobbanásával magyarázhatunk. A T6 és T7 betonok hőtűrése a legmagasabb a T1 és T2 betonok alacsonyabb hőtűrését az eltérő adalékanyag magyarázhatja.



9. ábra: A relatív szilárdsági adatokból számított hőtűrési értékek a receptúrák függvényében



10. ábra: A relatív nyomószilárdsági adatokból számított hőűrés a receptúrák függvényében

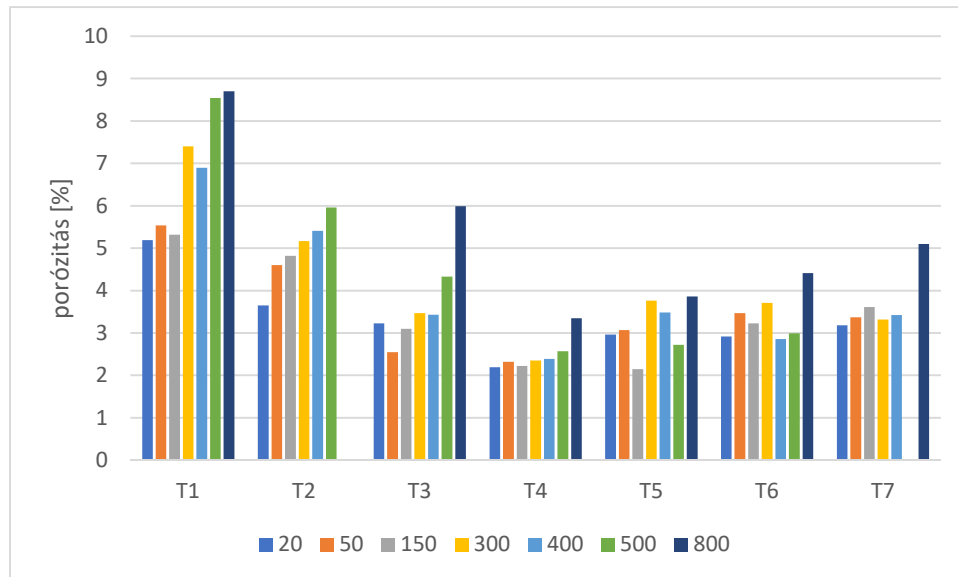
3.2 CT vizsgálat eredményei

A T1-T7 receptekből készült betonokon CT vizsgálatokat is végeztünk. A CT mérés előtt a próbatesteket hőterheltük (20, 50, 150, 300, 400, 500, 800 °C), majd a hőterhelés után kihűlt állapotban végeztük el a méréseket. A CT vizsgálat segítségével az egyes próbatestek porozitását meghatároztuk a hőmérséklet függvényében. A 11. ábrán a porozitás alakulását adjuk meg a hőmérséklet függvényében. Jól látható, hogy a hőmérséklet emelkedésének hatására a porozitás minden recept esetén növekvő tendenciát mutat, a diagramm alapján megállapíthatjuk, hogy a CT vizsgálatok alapján következtetni lehet a hőterhelés nagyságára, vagyis a károsodás mértékére.

A T1 és T2 minták esetén (zúzott kő adalékanyaggal készült betonok) a porozitás emelkedés a hőterhelés hatására itt is megfigyelhető. A zúzott kő adalékanyaggal készült betonok esetén a legmagasabb porozitás értékeket 800 °C-on határoztunk meg, ezen hőterhelés felett a porozitás értéke csak kis mértékben nőtt, ami a kvarckavics adalékanyagú betonokra nem igaz. Az eltérést az magyarázhatja, hogy 500 °C felett a kvarckavics adalékanyagú betonok esetén az adalékanyag határfelületén repedések keletkeztek a zúzott kő adalékanyagú betonok esetén nem. Ezt az adalékanyag eltérő hőtágulásával, illetve az adalékanyag eltérő felületével magyarázhatunk. Másik magyarázat lehet, hogy a kvarckavics felülete sima a zúzott kő felülete



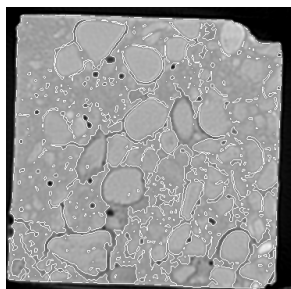
édes, tehát máshogy tapad, rá a cementkő és ezáltal eltérő hőérzékenységű határfelület alakulhat ki.



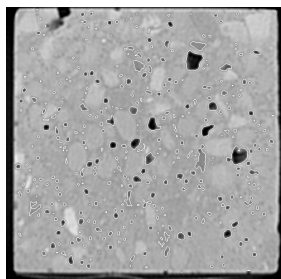
11. ábra: Az alapreceptek betonjának a porozitás változása a hőmérséklet függvényében

A CT vizsgálatok képi elemzése során a következő megállapításokra jutottunk (12. ábra):

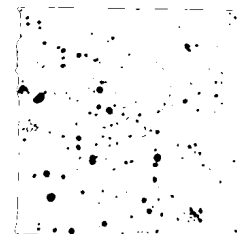
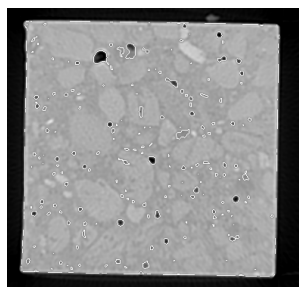
- a T3-T7 minták esetén 800 °C hőterhelés után az adalékanyag határfelülete jelentősen károsodott, a cementkő elvált az adalékanyagtól,
- a T1 és T2 minta esetén 800 °C hőterhelés után az adalékanyag határfelülete jelentősen károsodott, de a cementkő határozott elválását az adalékanyagtól nem figyeltük meg, vagyis a határfelület károsodásának mértéke kisebb volt a zúzott adalékanyagú betonok esetén
- az 500 °C hőterhelés után az adalékanyag határfelülete károsodott, a cement kő és az adalékanyag felületén repedések keletkeztek,
- 150 °C felett az adalékanyagok jobban szegmentálhatók, mint az alatt, ami azt jelenti, hogy ezen hőmérséklet felett a cementkő sűrűsége elkezd csökkenni.



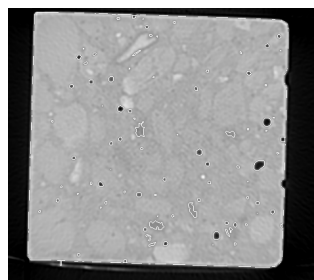
T 3 minta 800 °C hőterhelés után



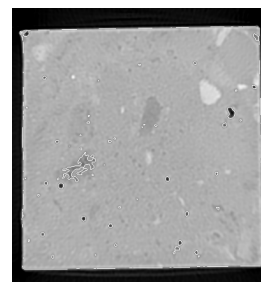
T 1 minta 800 °C hőterhelés után



T 1 minta 500 °C hőterhelés után

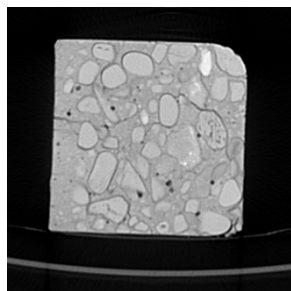


150 °C hőterhelés után

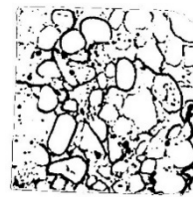


20 °C után

12. ábra: A CT felvételek képi kiértékelése



EREDETI

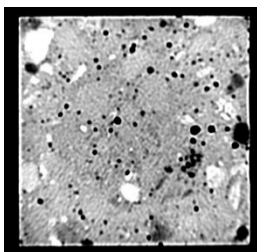


SZEGMENTÁLT PÓRUSOK

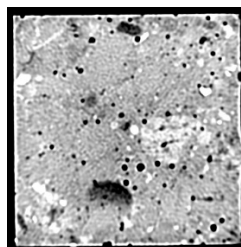
T 3 minta 800 °C hőterhelés után (azonos szeletek)

3.3 T3 recept alapján készült beton részletes elemzése

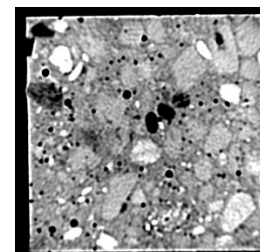
A 13. ábra a hőterhelt próbatestekről készült CT felvételeket foglalja össze. A hőterhelés függvényében változik a próbatestekben a porozitás. Jól látható, hogy a 150, a 300 és a 400 °C-on hőterhelt próbatestek esetén megnőtt a porozitás. A 150 °C feletti hőterhelésnek kitett próbatestek esetén, a cementkő sűrűsége is megváltozott, ezek a felvételek sokkal sötétebbek, ami arra utal, hogy kisebb sűrűségű a benne lévő cementkő.



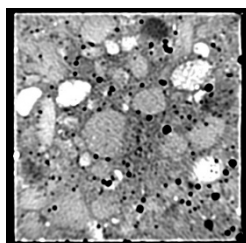
20 °C



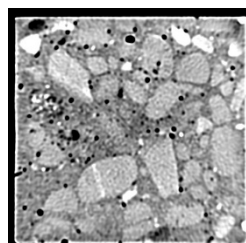
50 °C



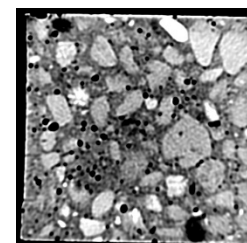
150 °C



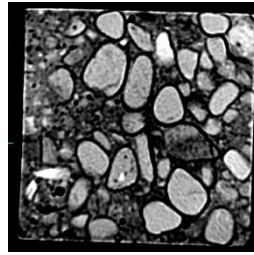
300 °C



400 °C



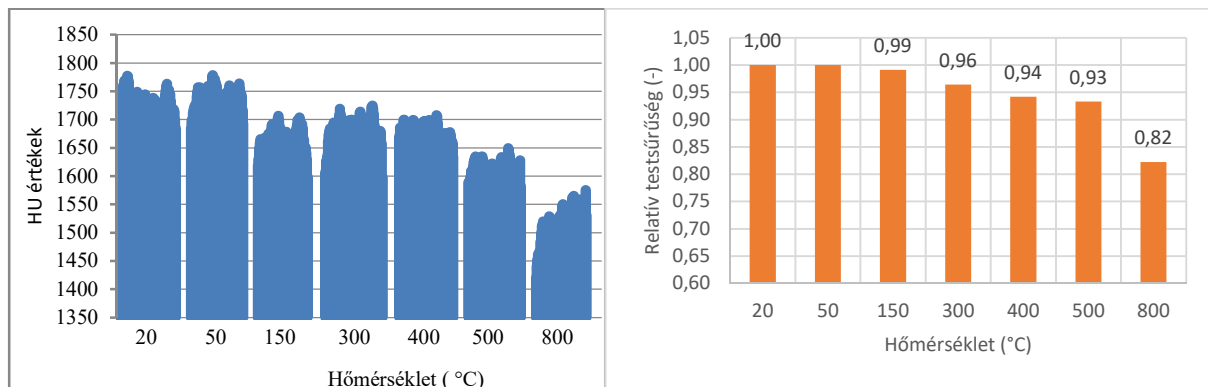
500 °C



800

13. *ábra: A különböző hőmérsékleten hőterhelt próbatestekről készült felvételek*

A 14. ábrán a HU-értékek és a testsűrűség alakulását adjuk meg a hőmérséklet függvényében. Jól látható, hogy a két diagram tendenciája megegyezik, tehát a HU-értékek és a testsűrűség értékek között egyértelmű összefüggés írható fel. A testsűrűség a hőterhelés hatására változik, ezért a HU- értékek és a testsűrűség alapján megállapítható a hőterhelés hőmérséklete.

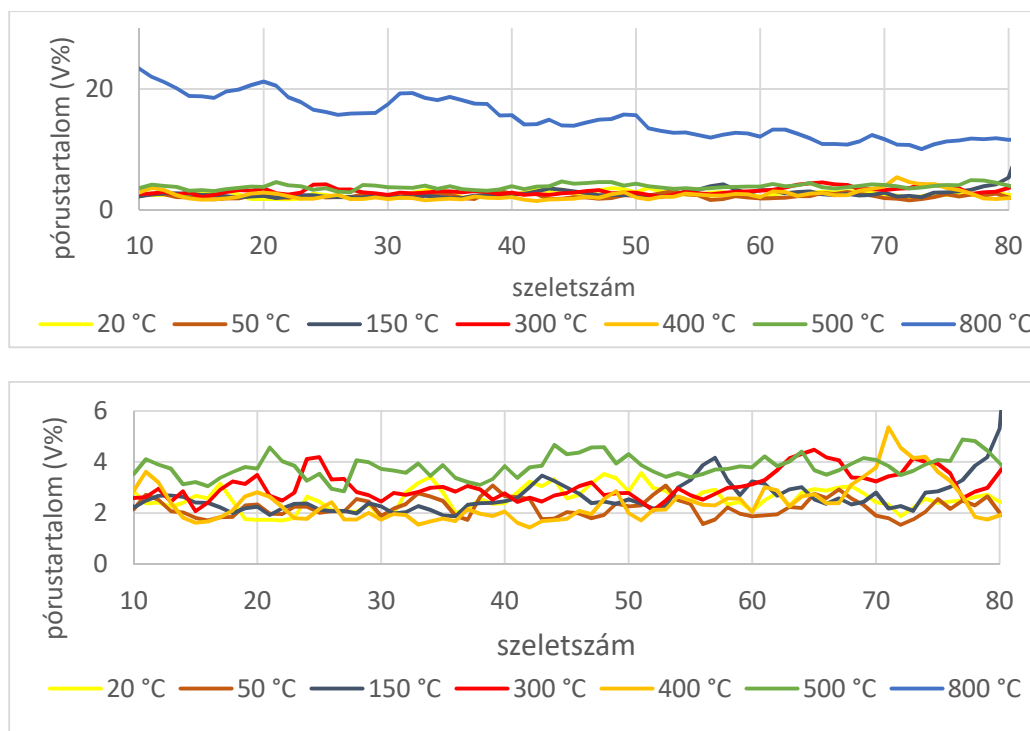


14. *ábra: A HU-értékek és a testsűrűség alakulása a hőmérséklet függvényében*

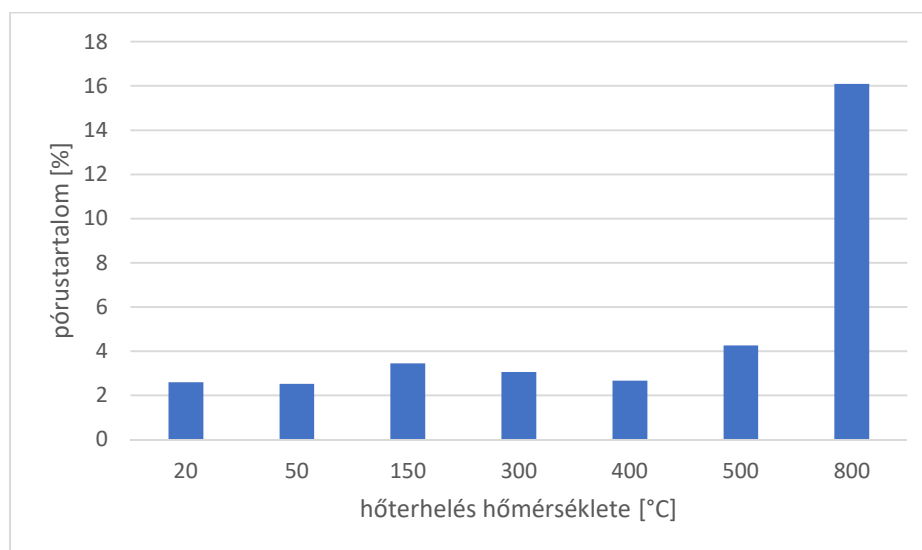
A 15. ábrán a póruseloszlást láthatjuk a próbatestek hossz tengelye mentén ábrázolva a hőmérséklet függvényében. Az ábrán jól látható, hogy 800 °C-on jelentős mértékben 500 °C-on kis mértékben növekedett meg a porozitás. Ennek magyarázata lehet a betonban kialakuló repedések és szerkezeti átalakulások lehetnek. Ezek alapján megállapítható, hogy 500 °C felett a CT mérés alkalmazható a hőterhelés hőmérsékletének megállapítására.



A 16. ábrán az átlagos póruseloszlást adjuk meg a hőmérséklet függvényében. Megfigyelhető, hogy 300 °C, 500 °C-os hőterhelést követően a porozitás kis mértékben nő, a 800 °C-os hőterhelés követően pedig jelentős növekedést figyelhetünk meg.



15. ábra: A pórustartalom eloszlás a hossz tengely mentén



16. ábra: Az átlagos pórustartalom értékek a hőmérséklet függvényében



4. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálatok során az 7 különböző beton nyomószilárdságát, hajlító-húzószilárdságát és testszilárdságát vizsgáltuk a hőmérséklet függvényében. Az alkalmazott hőlépcsők: 20, 50, 150, 300, 400, 500, 800 °C voltak. Tekintettel arra, hogy a pórusrendszer, illetve a repedések száma a hőmérséklet emelkedésének hatására változik ezért a szilárdság vizsgálatainkat kiegészítjük a CT vizsgálatokkal is.

A nyomószilárdság szempontjából a T3, T4 és T5 betonok hőtűrése a legkisebb, amit a beton kockák felrobbanásával magyarázhatunk. A T6 és T7 betonok hőtűrése a legmagasabb a T1 és T2 betonok alacsonyabb hőtűrését az eltérő adalékanyag magyarázhatja.

A CT vizsgálatok képi elemzése során a következő megállapításokra jutottunk:


- a T3-T7 minták esetén 800 °C hőterhelés után az adalékanyag határfelülete jelentősen károsodott, a cementkő elvált az adalékanyagtól,
- a T1 és T2 minta esetén 800 °C hőterhelés után az adalékanyag határfelülete jelentősen károsodott, de a cementkő határozott elválását az adalékanyagtól nem figyeltük meg, vagyis a határfelület károsodásának mértéke kisebb volt a zúzott adalékanyagú betonok esetén,
- a hőmérséklet növekedésével a mintákon egyre szembetűnőbb a kontraszt változás: az adalékanyagok jobban elhatárolhatók, hiszen az azokat körülvevő cementkő a távozó víz, és a kiégő anyagok következtében ritkulni fog, a sűrűségkülönbségek markánsabbak lesznek.
- az átlagos póruseloszlás tekintetében megállapítható, hogy 300 °C, 500 °C-os hőterhelést követően a porozitás kis mértékben nő, a 800 °C-os hőterhelés követően pedig jelentős növekedést tapasztalható.



5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk szerzői köszönetet mondanak az NVKP_16-1-0019 “Fokozott ellenálló képességű (kémiai korrózióknak ellenálló, tűzálló és fagyálló) beton termékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése” című pályázaton keresztül kapott kutatási támogatásért.

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a BME FIKP-VÍZ tématerületi programja keretében.

A kutatás  Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült”

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Bólyai János Ösztöndíjon keresztül kapott támogatásáért.

6. HIVATKOZÁSOK

Balázs L. Gy., Lublós É., Földes T. (2015) Let's look at inside by x-ray computed tomograph (CT), *Structural Concrete Journal* (submitted)

Balázs L. György, Lublós Éva: Possibilities of computed tomography (CT) for diagnosis of concrete structures In: D Choi, T Tang (szerk.) 6th Int Conference of Asian Concrete Federation, 2014, pp. 34-37.

Éva Lublós, Balázs L. György: Potentials in use of X-ray computer tomograph (CT) to study concrete, *CONCRETE BETON-TECHNOLOGIE KONSTRUKCE SANACE* 6, 2013, pp. 43-45.

Hinrichsmeyer, K. (1987): Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton, Heft 74 IBMB, Braunschweig



Khoury, G. A., et al. (2001): Fire Design of Concrete Materials Structures and Modelling, Proceeding of 1st fib Congress, Osaka, Japan, Oct. 2001

Khoury, G. A., Grainger, B. N, Sullivan P. J. E (1985): Transient thermal strain of concrete: literature review, conditions within specimen and behaviour of individual constituents, Magazine of Concrete Research, Vol 37, No. 132

Kordina, K (1997): Über das Brandverhalten punktgestützter Stahlbetonbalken, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 479, ISSN 0171-7197, Beuth Verlag GmbH, Berlin

Lublóy Éva, Balázs L György, Kapitány Kristóf, Barsi Árpád, Földes Tamás: Tűzkárosodott vasbetonszerkezet vizsgálhatósága CT-vel, VASBETONÉPÍTÉS 16:(4), 2014, pp. 86-90

Thielen, K. Ch. (1994): Strength and Deformation of Concrete Subjected to high Temperature and Biaxial Stress-Test and Modeling, (Festigkeit und Verformung von Beton bei hoher Temperatur und biaxialer Beanspruchung - Versuche und Modellbildung), Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 437, ISSN 0171-7197, Beuth Verlag GmbH, Berlin

Waubke, N. V. (1973): Über einen physikalischen Gesichtspunkt der Festigkeitsverluste von Portlandzementbetonen bei Temperaturen bis 1000°C-Brandverhalten von Bauteilen, Dissertation, TU Braunschweig

Dr. Lublóy Éva PhD

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials and Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.

lubloy.eva@epito.bme.hu

ORCID: 0000-0001-9628-1318



Hlavička Viktor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials and
Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.

hlavicka.viktor@epito.bme.hu

ORCID: 0000-0001-5435-4400

Dr. Kapitány Kristóf, PhD

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Fotogrammetria és Térinformatika
Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Photogrammetry and
Geoinformatics, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.

kapitany.kristof@epito.bme.hu

ORCID: 0000-0003-4052-6317