

VÁLASZ

Dr. Zsoldos Ibolya Professzor Asszony

„BETONANYAGÚ SZERKEZETEK TŰZÁLLÓSÁGA”

című MTA Doktori értekezésemre írt opponensi véleményére

Szeretném megköszönni a Professzor Asszonynak, hogy rendkívül alaposan és lényegre törő kérdésekkel elkészítette bírálatát. Egyúttal köszönöm a pozitív szavakat és a bírálatba fektetett sok munkát.

Válaszomban reagálni szeretnék az általános felvetésekre, és a konkrét kérdésekre is választ adok.

FORMAI ÉSZREVÉTELEK

Az ábrák, táblázatok és a szövegek nincsenek mindig összhangban. Előfordul az is, hogy már új fejezetet nyit (pl. 5.2.1.2. fejezet), de az új fejezetben még az előző fejezethez tartozó ábrákat mutatja: pl. az 5.2.1.2. fejezetben látható 5.10-11. ábrák még az előző, 5.2.1.1. fejezethez tartoznak. Vagy pl. az 5.14. ábra, az 5.3. táblázat több oldallal később van szerkesztve az anyagban, mint a szöveges magyarázata. Ez a dolog rendszeresen előjön a dolgozatban. Amikor egy ábra vagy egy táblázat és annak magyarázata több oldallal el van tolva, az megnehezíti az olvasást.

Az ábrák áthelyezése csupán szerkesztési okokból történt, hogy a dolgozat ne tartalmazzon részben üres oldalakat.

Sajnálom, hogy az áthelyezés során az egyes ábrák a szöveges magyarázathoz képest elcsúsztak és ezzel a dolgozat megértését nehezítették.

További 13 saját munkára való hivatkozást mutat a 9. fejezetben. Nekem furcsa volt, hogy ezek nagy részét csak a tézisek fejezetében (6. fejezet) hivatkozza, és az eredmények részletezésénél (5. fejezet) nem hivatkozza. A 9. és a 10. fejezetben felsorolt saját publikációk között 3 olyan van, amelyik mindkét listán szerepel. Ez a következetlenség megnehezítette a bírálatkészítést.

Összességében jónak tartom a publikációkkal való alátámasztást, de a következetlenség miatt ezt nehéz volt megítélni.

Sajnálom, hogy minden igyekezetem ellenére a publikációk hivatkozásában következetlen voltam.

A 6 fejezetben a tézist tartalmazó publikációkat elég kötött formában kell megadni, ezért a dolgozat írása közben célszerűnek találtam ezeket máshogy jelölni és ezzel kiemelni. Az ötödik fejezetben valóban más a hivatkozás formája, mint a 6. fejezetben, amit tudatosan különítettem el, mivel az az ötödik fejezet tartalmazza a kiegészítő magyarázó publikációkat is.

TARTALMI ÉSZREVÉTELEK

ELSŐ TÉZIS, 5.1. FEJEZET (Előregyártott betonelemek tűzhatás vizsgálatai)

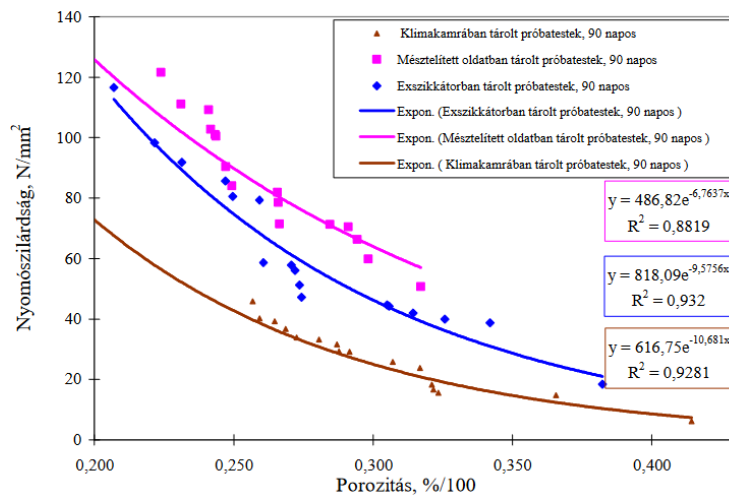
A megállapítás igaznak látszik, de felmerülnek kérdések:

1) A bemutatott munkában C50/60 betonszilárdságú mintákat vizsgált. Mi a helyzet más betonszilárdságoknál? Azok vizsgálata nem indokolt?

Korábbi kutatásiam során mintegy 100 különféle betonösszetételt vizsgáltam. Tapasztalataim és az irodalmi források szerint alacsonyabb betonszilárdság esetén a betonfelület robbanásszerű leválása általában nem következik be. Ennek az az oka, hogy az alacsonyabb betonszilárdság magasabb porozitással jár együtt (1. ábra), s amennyiben a porozitás magasabb, akkor a hő hatására felforrrt víz vízgőz formájában, a pórusokon keresztül távozni tud, és nem idézi elő a betonfelület robbanásszerű leválását. Másik indok, hogy a beton szilárdságának növekedésével a beton egyre ridegebb lesz, és így a betonban a repedések nagyobb szilárdság esetén gyorsabban terjednek.

Véleményem szerint ez a két ok együttesen idézi elő a betonfelületek robbanásszerű leválását. Tekintettel arra, hogy alacsonyabb betonszilárdság esetén egyik tényező sem áll fenn, ki jelenthető, hogy alacsonyabb betonszilárdság esetén a betonfelületek robbanásszerű leválásnak esélye kicsi, ezért a tűz hatásra alacsonyabb betonszilárdság

esetén csak a szilárdság leromlására kell számítanunk. Mindezt a PhD dolgozatomban elvégzett nagyszámú kísérletek is igazolták Ezt az állítást alátámasztja, az a tény is, hogy az 1990-es évek előtt a betonfelületek robbanásszerű leválása alig fordult elő. Ennek magyarázata, hogy ekkor még nem alkalmaztak képlékenyítőszert és csak viszonylag magas víz-cement tényezővel tudtak betont gyártani, aminek végeredményben magas a pórustartartalma volt.



I. ábra: A porozitás és a nyomószilárdság összefüggése különféle tárolási körülmények esetén (S. G. Nehme, PhD értekezés, 2004)

2) „1 kg/m³ (mikro-polipropilén) száladagolást” alkalmazott. Hogyan magyarázható az adalékanyag pozitív hatása? Elérhető lehetne-e hasonló pozitív hatás nagyobb arányú száladagolásnál nagyobb szilárdságú betonok esetén? Mennyire drágítja meg a száladagolás a betonok árát?

A szakirodalom szerint a polipropilén műanyagszálak 150 °C körül megolvadnak, az olvadékot a vízgőz ki tudja nyomni, és ezzel egy mesterséges pórusrendszert hoznak létre, így a felforrt vízgőz távozni tud.

Mind a mikro- és a makroszálak esetén nagyobb száladagolás mellett a beton konzisztenciája, bedolgozhatósága problémás lesz és a beton nem lesz megfelelően tömöríthető. A makroszálak esetén ugyan lehet növelni a száladagolást de, 1 kg/m³ száladagolás esetén kiszámítottam az 1 m³ betonban levő összes szál hosszát, ami a mikroszálak esetén 1240 km, a makroszálak esetén 23,4 km. Könnyen belátható, hogy a makro-szálak adagolását nem

lehet olyan mértékben megnövelni, hogy az elérje a mikroszálak hosszát, így a makroszálak nem olyan hatékonyak a tűzállóság szempontjából.

1 kg műanyagszál 1000 Ft-ba kerül. Tekintettel arra, hogy 1 m³ beton ára 30.000 Ft, így 1 kg-os száladagolás 3%-os árnövekedést jelent (2021. decemberi adatok alapján, bár ez az utóbbi időben rohamosan változik).

3) Az 5.2. ábrán a fotó alapján nem látok elégséges bizonyítást arra, hogy „a lepattogzás mértéke a javított összetétellel készült elemek esetén – mind felületi kiterjedését, mind mélységét tekintve – jelentősen kisebb volt az etalonvizsgálat adataihoz viszonyítva”. Az 5.1. táblázatban az etalon TT elemnél 8 cm, míg a műanyagszálas mintánál 5 cm leválást említ. Hogyan lett megállapítva, megmérve ez a levált falvastagság?

A levált vastagságot a következőképpen mértük meg:

- 1) Az ép részekre merev testet (pl. egy deszkát) helyeztünk el.*
- 2) Tolómérő segítségével a kialakult mélyedés méretét lemértük.*



2 ábra: Az etalon betonú TT panel a vizsgálat után

Kontrollként az acélbetétek helyzete is iránymutatást ad. A 2. ábrán, ami az etalont ábrázolja, a bekeretezett részen jól látszik, hogy a leválás a második sor acélbetétekig következett be. A 3. ábrán, a műanyagszálas betonok esetén a leválás az első sor acélbetétig következett be. Sajnálom, hogy a kép méretei miatt ez a releváns különbség nem volt jól kivehető.



3. ábra: A módosított betonú TT panel a vizsgálat után

4) Mivel egyetlen mintát vizsgált (az etalonon kívül) TT és falelemből is, ezért a reprodukálhatósághoz adjon magyarázatot.

Az előregyártott termékeknek magas minőségbiztosítási követelményeket kell teljesíteni, így biztosított a termékek állandósága. A tűzállósági vizsgálatra vonatkozó szabvány (MSZ prEN 1365-2:2012) egy termék vizsgálatát írja elő, ennek magyarázata a vizsgálat bonyolultsága és ára.

A vizsgálatokat természetesen kiselemes vizsgálatok is megelőzték (összesen 7 recept teljeskörű vizsgálata), ami a vizsgálatok terjedelme és az ipari, valamint a szabadalmi titkok megsértése miatt nehezen fűzhető bele egy MTA értekezésbe. Ezen vizsgálatok során választottuk ki az optimális betonösszetételt.

Itt megjegyezném, hogy a falpanelemek esetén összesen 7 nagyelemes vizsgálat készült, csak a további öt vizsgálat lényegi része egy jelenleg beadott szabadalom részét képezik (ami a falpanel-csatlakozások tűzvédelmi szempontból helyes kialakításáról szól), ebből kifolyólag a dolgozatom megírása időpontjában nem volt ismertethető, sem publikálható.

5) 4600 x 1730 x 380 mm méretű vasbeton TT födémelem 80 mm vastag vízszintes lemezre 90 mm vastag monolit vasbeton réteget (felbetont) hordtunk fel”, mi volt ennek a funkciója? (A falelemnél nem említ ilyen felhordást.)

A kivitelezésben bevett eljárás, hogy a szállítás és a beépítés során figyelembe veendő önsúly csökkentése miatt a TT födémelemek nem teljes vastagsággal készülnek el az előregyártó

üzemben. A födemelem teljes vastagsága helyszíni betonozással készül el, amit felbetonnak nevezünk. A teherbírás szempontjából a felbetonnak, mint nyomott övnek fontos szerepe van. A TT födemelem teljes teherbírása csak a felbetonnal együtt vehető figyelembe.

A falpanelemek esetén az elemeket egyben kell szállítani, ennél a szerkezeti elemnél nincs utólagos helyszíni betonozás.

6) (1 kg/m³ mikroszál) alkalmazásával a betonfelület leválásának mértékét jelentősen csökkenteni tudtuk, és ezzel a szerkezet tűzállósági határértékét 1,5-szeresére növeltük”, ezt fogalmazza meg a mérési eredmények konkrét értékeivel is. A falpanel elemeknél nem mutat diagramot a tűzhatás vizsgálatról, mint amit a TT elemeknél az 5.1. ábrán láthatunk. Kimutatott-e itt is késleltetett tönkremenetelt a mikroszálás adagolású mintánál?

Igen a falpanelemnél is kimutatható a késleltetett tönkremenetel, csak itt a tönkremenetel módja lángáttörés volt, ezért ebben az esetben a hőmérséklet diagramok nem hordoznak releváns információt.

A lángáttörést úgy befolyásolja a betonfelületek réteges leválása, hogy az elemvastagság csökkenésével az elemek alakváltozása nő, ezáltal az oszlop és a panelelem elválik egymástól és az ott keletkezett résen a láng ki tud csapni. Az etalonnál 109 perc után (REI 90) a módosított elemnél 131 perc után (REI 120) következett be a lángáttörés.

MÁSODIK TÉZIS, 5.2. FEJEZET (CT vizsgálati módszertan beton tűzállóságához)

1) A 2. tézis tartozik a fejezethez. A 2.a. tézis viszonylag jól fedti az elért eredményeket, bár a „változás – vagyis a leromlás – beton esetén 500 °C-os hőterhelés felett CT-vel jól kimutatható” fogalmazást nem tartom szerencsésnek, hiszen a jelölt maga mutatta ki a szerkezeti változásokat, tehát a „kimutatható” helyett jobb lett volna, ha röviden felsorolja, mit mutatott ki saját mérésekkel.

Az észrevételt elfogadom, a mondatot úgy értettem, hogy a leromlás maga a porozitás változás. Természetesen a változások 500 °C alatt is kimutathatók, de az 500 °C feletti rész meghatározása a rekonstrukció miatt azért elengedhetetlen, mivel az 500 °C feletti részt kell általában eltávolítani.

2) A 2.b. tézis nyelvtanilag értelmetlennek tűnik. Mi határozható meg? Ez kimaradt a mondatból.

A hőterhelés hatására károsodott betonréteg és az ép beton közti határ határozható meg CT-vel, ami azért fontos mert, egy esetleges felújítás, rekonstrukció során a károsodott réteget el kell távolítani. Itt fontos megjegyezni, hogy a tűzkárosodott vasbeton szerkezetek több mint 90%-a megmenthető, felújítható lenne, ha megfelelő diagnosztikát tudnánk alkalmazni.

3) 5.2 fejezet első bekezdésében roncsolásmentes vizsgálatok előnyeit említi. De CT vizsgálatokhoz minden esetben mintát kell venni, vagy kisméretű mintát készíteni, ami roncsolással jár.

A CT vizsgálatok jelenleg - az építőiparban - kivett magminta segítségével végezhetőek el. Az irodalomban léteznek helyszíni CT berendezések, melyek pl. az olajfűréshez használt csövek, vagy a fák vizsgálatára alkalmasak. Jelenleg egy fizikus csapattal dolgozunk a detektor és a sugárforrás szétszedésén, ezen feladat megoldása után a CT használható lesz helyszíni mérésekhez is, természetesen a megfelelő sugárvédelmi előírások betartása mellett.

A kifűrés után a mintát roncsolásmentesen vizsgáljuk, én ezt értettem roncsolásmentes alatt. A roncsolásmentes vizsgálatnak még egy kifűrt magmintán is számos előnye van a többi laboratóriumi módszerhez képest, például a teljes porozitást (0,1 mm feletti pórusok) ki lehet mérni nem csak a látszólagos porozitást, a réteghatárokon látni lehet a változást (pl. aszfaltmintákon). További előny, hogy ugyanazon a kifűrt magmintán CT vizsgálat mellett más vizsgálat, mérés is elvégezhető (ultrahangos szilárdságbecslés, nyomószilárdság vizsgálat stb.).

4) Az 5.2.1. fejezet eredményeit az NVKP16-1-0019 “Fokozott ellenálló képességű (kémiai korrózióknak ellenálló, tűzálló és fagyálló) betontermékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése” pályázat keretében dolgozta ki. Pályázati kutatási jelentésre hivatkozik, mint publikációs háttéranyagra. A pályázati jelentésben 30 betonösszetétel vizsgálatát említi. Az értekezésben ebből egy összetételt mutat be részletesen. Egy néhány soros összegző leírás jó lenne a 30 különböző összetételről.

A pályázat során 7 kiindulási receptet vizsgáltunk, amit a fejleszteni kívánt szerkezeti elemek gyártásához használtak az üzemben. A kiindulási recepteket ezután úgy változtattuk meg, hogy a beton tűzállósága nőjön, pl. kohósalakot, szilikaport, metakaolint, műanyagszálat adagoltunk, mint kiegészítő anyagot (további 23 db receptúra). Sajnos a bemutatott mintán kívül minden más recept ipari titoknak minősül, ezért ezek bemutatása a dolgozat keretében nem volt lehetséges.

Az összes keverék esetén a laboratóriumi mérések során a próbatesteket hét, egymástól független maximális hőmérsékleten (20 °C, 50 °C, 150 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 800 °C) tartottuk, 2-2 óra hosszat. A CT vizsgálatok mellett elvégeztük a próbatestek nyomó- (150 mm-es élhosszúságú kockán), hajlító-húzószilárdságának (70 x 70 x 250 mm-es hasábon) vizsgálatát és testsűrűségmérését is.

Tekintettel arra, hogy a CT felvételekkel kimutatható változások a beton magas hőmérsékleten történő kémiai változásaival függenek össze, az összes vizsgált betonösszetétel a bemutatott mintával jellegében megegyezően viselkedett, ezért elégnék éreztem egy mintán ismertetni az általános megállapításokat.

A megadott megállapítások az összes minta esetén igazak. Itt jegyzem meg, hogy a porozitás vagy a testsűrűség tekintetében a tendenciák minden esetben hasonlóak voltak, maximum a %-os csökkenés mértéke és a kiinduló értékek között volt különbség.

5) 5.2. táblázatban a betonösszetétel részletezésénél mi az „adalékanyag” és az „adalékszer”?

A betontechnológiában használatos terminológiát használva az adalékanyag a homokos kavics, az adalékszerek pedig olyan vegyszerek, melyek a beton különböző tulajdonságait módosítják, jelen esetben a konzisztenciáját, a bedolgozhatóságát javítják.

6) Az 5.5. ábrán 2 CT rétegfelvételt mutat. Ezek már szűrt, vagy szegmentált képek?

Szűrt és utána szegmentált képek. Ha a betonnál szűrést nem végezzük el, akkor a beton felületéhez közeli rétegek a nyálábkeményedés miatt nem értékelhetőek.

7) Az 5.8. ábrán diagramokon mutatja a Hounsfield-értékeket és a testsűrűségeket a kezelés hőmérsékletének függvényében. A diagramoknak az a haszna, hogy meg tudja mutatni, milyen

mértékben csökken a sűrűség és ezzel összefüggésben a HU-érték. De nem tartom reálisnak, hogy egyeneseket illeszt az oszlopdiagramokra, szerintem itt ez nem releváns. Viszont meg kell magyarázni, mit jelent a HU-értékeket jelző oszlopok tetején a hullámos határfelület?

A HU értéknél a minta hossz tengelye mentén az egyes szeletek HU értékének változását adtam meg, jelen esetben hét mintán. Az értékek azért ugrálnak, mert egyes szeleteken belül több vagy kevesebb a pórus, vagy az adalékanyag. Valóban szerencsésebb lett volna az HU átlagérték ábrázolása.

Az egyenesek csak azt érzékeltetik, hogy a HU és a testsűrűség átlagértékeinek hőmérséklet hatására bekövetkező tendenciája közel megegyezik.

8) Mindig egy-egy rétegfelvételen kalkulálta a pórusokat, repedéseket, vagy több metszetet is megnézett?

A pórusok számításánál minden egyes szeleten meghatároztam a pórustartalmat. A metszősíkokat a próbatest hossz tengelyére merőlegesen vettem fel. Ennek oka, hogy más irányú metszeten (vagyis a hossz tengellyel párhuzamosan) a gerendák esetén a bedolgozás során létrejövő egyenlőtlenségek is jelentkezhetnek, ezek hatását a kiértékelés során mindenképpen ki akartam szűrni.

9) Az 5.9-10. ábrák szép bizonyítékok arra, hogy valóban 500 °C-nál, vagy afelett van jelentős repedés vagy pórusrendszer növekedés. De nem lett volna célszerű megnézni legalább egy közbelső hőmérsékletet is 500-800 °C között? 500 °C alatt 6 hőmérsékletet vizsgált és kis változások adódtak. Pont a kritikusabb szakaszban nézett csak egy hőmérsékletet (800 °C-ot).

A vizsgálati hőlépcsőket a beton fázis átalakulásaihoz illesztettem, hiszen itt várható anyagszerkezeti változás (1. táblázat). A pórusrendszer átalakulása a cementkőben játszódik le, ezért a cementkő fázis átalakulásait vettem mértékadóknak. Az 500 °C-os és a 800 °C-os választott értékeket az indokolta, hogy a kemence felfűtése során a 5% körüli mérési bizonytalanág miatt inkább kicsit magasabb hőterhelést alkalmaztam, hogy a fázis átalakulások biztosan végbemenjenek.

A kutatás célja az volt, hogy a rekonstrukció során fontos 500 °C-os határ kimutathatóságát igazoljam, ehhez elegendő a 20 °C, 400 °C, 500 °C-on történő mérés, a többi hőlépcsőt csak a szakmai kíváncsiságom miatt iktattam be, igazítva a cementkő fázis átalakulásaihoz.

1. táblázat: A hőmérséklet hatása a beton alkotóira (Lublóy, 2021)

hőmérséklet	megszilárdult cementpép
50-110 °C	az ettringit bomlása (gipszfőzés) (Khoury, Grainger, Sullivan, 1985)
100 °C	hidrotermikus reakciók, a kémiailag kötött víz távozásának kezdete (Khoury, Grainger, Sullivan, 1985)
200 °C	a cementkő dehidratációjának kezdete (Khoury, Grainger, Sullivan, 1985)
300 °C	a kvarckavics adalékanyagú betonok szilárdságvesztésének kezdete, néhány adalékanyag dehidratációja (fib bulletin 38, 2007)
450 °C	a portlandit (Ca(OH) ₂) bomlása (Schneider, Lebeda, 2000)
750 °C	a CSH bomlása (Schneider, Lebeda, 2000)

10) 500 °C felett a nyomószilárdság értéke 0 N/mm², ezt azzal indokoltam, hogy a próbatestek a felfűtés során felrobbantak”, de ez nem bizonyíték arra, hogy nulla a nyomószilárdság. Csak annyit mondanék, hogy nem volt mérhető. Vagy következetesen ilyen a robbanás történt minden vizsgálatnál? 30 különböző összetétel vizsgálatát említi, így volt mindenhol?

A vizsgált betonkeverékek esetén a próbakockák a kemencében általában felrobbantak (4. ábra), gyakorlatilag darabjaira estek szét, ezért bátorkodtam a szilárdságot 0-ra felvenni, valóban pontosabb megfogalmazás lett volna a nem mérhető.



4. ábra: A felrobbant próbatestek (saját felvétel)

A vizsgált műanyagszálas keverékek esetén minden próbakocka felrobbanva ment tönkre. Természetesen 400 °C felett a szilárdságértéket csak abban az esetben lehet meghatározni, ha nem robban fel a próbatest.

11) A bemutatott vizsgálatok eredményei hasonlóak voltak a többi összetételnél is? Lehetett-e találni valami következtetést az összetételre vonatkozóan?

Tekintettel arra, hogy a CT felvételekkel kimutatható változások a beton magas hőmérsékleten történő kémiai változásaival függenek össze, az összes vizsgált betonösszetétel a bemutatott mintával jellegében megegyezően viselkedett, ezért elégnék éreztem egy mintán ismertetni az általános megállapítások.

Az itt közölt megállapítások az összes minta esetén igazak. Itt jegyzem meg, hogy a porozitás vagy a testsűrűség tekintetében a tendenciák minden esetben hasonlóak voltak, maximum a %-os csökkenés mértéke és a kiinduló értékek között volt különbség.

12) Az 5.12. ábrán mi van a diagramok függőleges tengelyén? Valószínűsíthető, hogy a pórusok gyakorisága. De erre is meg kellene adni egy skálát (pl. % ?).

A függőleges tengely a pórusok relatív gyakoriságát adja meg 0-1-ig.

13) A pórusok köralakúságát felület és térfogat értékek megfelelő arányával definiálja. De hogyan határozta meg egy pórus felületét? A pórusok felülete általában nem sima, hanem töredezett. Közelítő, illetézt, görbült felületekkel számolt, vagy a töredezett (lépcsős)

felületekkel? A kettő között elég nagy különbség van. Az 5.12. ábra bal oszlopában a CT modelleken nem látszik, hogyan vette figyelembe a pórusok felületeit.

A köralakúsági eljárás a felvett porozitásmodel (szemcsék és pórustér) alapján, mérési szeletenként (azaz a mérési irányra merőleges síkokban) meghatározza a porozitást hordozó elemek (üregek, szemcsefelület, repedések stb.) folytonos határvonalainak (kerületi vonal metszeteinek) köralakúságát. Vagyis a pórus felülete nem töredezett, hanem sima.

Az eljárás nem vizsgálja ezen elemek folytonosságát a térben. A síkokban elvégzett számítások egymástól függetlenek. A gömbszerű térbeli elemek körmetszetként, a megnyúlt, szabálytalan térbeli elemek (pl. repedések) síkmetszetei nem körszerű elemként jelentkeznek. Ha alaposan átgondoljuk beláthatjuk, hogy ez a módszer a repedéstérfogat az alsó korlátját adja meg (előfordulhatnak olyan repedések, melyek a tengellyel párhuzamosak és körmetszetet adnak).

Továbbfejleszhető, finomítható ez a módszer és térbelivé tehető, ha csökkentjük a szelettávolságot és a tér más irányai szerint is elvégezzük az elemzést. Így feltérképezhetővé válik a porozitást okozó szerkezeti elemeknek térbeli anizotrópiája, folytonossága és az úgynevezett röghatása.

14) Hogyan értelmezi az „összes pórusok átlagát” az 5.14.a. ábrán? Nem inkább az összes pórusok számát mutatja a kék görbe? Az ábrából az következik, hogy a pórusok száma sokkal nagyobb, mint a repedések száma. Így volt ez?

A kék görbe valóban az összes pórusok számát adja meg (és nem az átlagát), elnézést az elírásért.

A pórusok száma valóban sokkal nagyobb a repedések számánál. Jelen vizsgálati körülmények ismeretében a betonban repedések csak a hőterhelés hatására alakulnak ki.

15) Az 5.14.b ábrán is zavaró, hogy a függőleges tengelyen „köralakúság” van jelölve, de a magyarázatban azt írja, hogy „a szürke vonal a köralakú pórusok, a piros vonal a repedések számának, alakulását adja meg”. Akkor most a köralakúságot, vagy a pórus-, repedésszámot látjuk? Ezt meg kell magyarázni.

A köralakúság értéke 1, ha a pórus területe teljesen kör alakú és 0, ha az egy végtelenül elnyúlt alak. Azaz, minél kisebb ez az érték, annál inkább repedés jellegű a pórus, „légzárvány” által elfoglalt terület, ill. térfogat. Vagyis ezzel a számmal definiáljuk, hogy pórusról vagy repedésről beszélünk. Az 5.14 b ábra felirata helyesen az átlagos k érték változása.

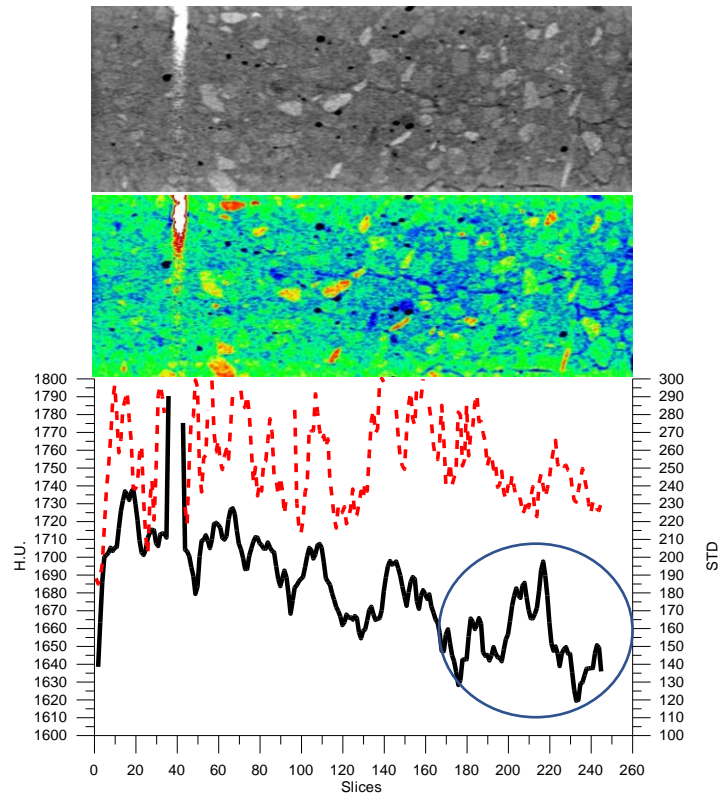
16) Az 5.15.d. ábrán mutatott három görbe közül melyik volt a tényleges tűzterhelés?

A tübing elemnél szénhidrogén tűzgörbét alkalmaztunk, a falpanelnál standard tűzgörbével történt a vizsgálat. A két tűzgörbe alkalmazását az egyes szerkezeti elemekhez tartozó eltérő vizsgálati mód indokolja. Tekintettel arra, hogy a szerkezet károsodott rétegvastagságát, vagyis a keresztmetszetben kialakuló kritikus hőmérséklet (500 °C) határát keressük, ezért nem tartottam problémának a két eltérő tűzgörbe, vagyis eltérő felmelegedési ütem alkalmazását.

17) Az 5.17. ábrán látszik, hogy a tűzterhelésnek kitett oldalon a mintában a HU érték valóban csökken. De miért pont 1770-ről 1615-re csökkenést állapított meg, amikor a görbén nagy ingadozások vannak?

Az 5. ábrán valóban nagy ingadozások vannak, amit a beton belső szerkezete indokol, azonban véleményem szerint az ábrán bekarikázott részen egyértelműen látszik, hogy a HU érték átlaga csökkent. Ezen bizonytalanságok miatt döntöttünk a minta további és pontosabb feldolgozása mellett, amit az értekezés további részeiben ismeretek is.

Az ábrán egy ciklikus változás figyelhető meg, a kezdeti, és az utolsó szakasz lokális minimum pontját vettem mértékadónak.



5. ábra: A M4 metró alagút tübingelemből fűrt magminta elemzése: a magmintáról készült fényképfelvétel CT felvétel és az egyes szeletekhez tartozó Hounsfield-értékek a szórással
(Lublóy, 2010)

18) Az 5.23. ábrán egymás utáni CT metszetekben adja meg a pórusok és repedések térfogatának változását. Hogyan értelmezi a pórustérfogatot egy síkbeli CT metszeten? Ellentmondásosnak tűnik, hogy 2D metszethez adunk meg térfogatot. Valamint a térfogatváltozás pontos definícióját is meg kell adni. (Mihez képesti változásról van szó?) A kép alatt térfogatváltozást ír, de a szövegben „pórusok és repedések térfogatának összegét” említi. Ez is ellentmondás.

Az értelmezés során a pórusok magasságát a szelet vastagsággal vettük egyenértékűnek. Mivel nagyon vékony (1,25 mm vastag) szeleteket vizsgáltunk, ezen vastagság mentén elhanyagoltuk a pórus alakjának változását, ezek alapján adtam meg ezt az értéket térfogatban.

„Az 5.23. ábrán a pórusosok és a repedések térfogatának összegét adjuk meg az egyes szeletekre,” (az ábra egyes pontjaiban) és a diagram ábrázolja az egymás után következő szeleteken a pórusok és a repedések térfogatának változását a minta hossz tengelye mentén.

A tűz a mintát a 100-ik szelet felől érte, s ahogy a minta átmelegedett úgy nőtt a porozitás. Ebben az értelemben referenciának az első szeletet tekintjük.

19) Az 5.24. ábra szépen mutatja a pórusok és repedések számának és morfológiájának elemzését. De nincs magyarázat hozzá.

Köszönöm az észrevételt. Valóban itt is részletes magyarázatot adhattam volna, mint ezt az 5.12 ábrával kapcsolatosan megtettem.

Az 5.24. ábrán két minta elemzését látatjuk az első-második. illetve a harmadik-negyedik sorban. Az ábra első és harmadik sora a porozitás vizuális megjelenítését tartalmazza kétféle formában. Az ábra második és a negyedik sorában a teljes pórustartalom, beleértve a repedéseket is (0-1-ig), valamint a 0,5 értéknél kisebb tartomány (0-0,5), vagyis a repedések vannak megadva.

HARMADIK TÉZIS, 5.3. FEJEZET (Módosított tapadószilárdsági képlet beton-betonacél kapcsolatra)

A következő, 5.3.2. fejezet első mondata szól a képletek ellenőrzéséről: „A képletek helyességét a kísérleti eredmények felhasználásával a Pearson-féle szorzatmomentum korrelációs együtthatójának négyzetének elvével ellenőriztük (az egyezés $R^2=0,95-0,98$ volt, Lublów, Hlavicka, 2017)”. Ez bizonyára az előző, 5.3.1. fejezethez tartozik. Ezt az impakt faktoros cikket is megnéztem. Itt már elég szépen van publikálva a kísérletsorozat és a mért eredmények. De az illesztett görbéket, függvényeket itt sem látom. Az illesztés pontosságáról (R^2) ebben a cikkben csak megemlíti, hogy „ R^2 was calculated for all concrete mixes. The results were: for M1 0.96, for M2 0.94 and for M5 0.93.” De nincs megmutatva az illesztés és az R^2 számítás. Csak azt tudom következtetni, hogy az R^2 érték csak azért ilyen magas, mert 3 mérési ponthoz való illesztésnél ez természetes.

Köszönöm szépen az észrevételt valóban jobb lett volna itt az IF-es cikket megadni.

1) Tekintettel arra, hogy az értekezésben nincs alátámasztás a módosított képletek kísérleti igazolására, a publikációs háttéranyagban szereplő leírást nem tartom meggyőzőnek (kevés

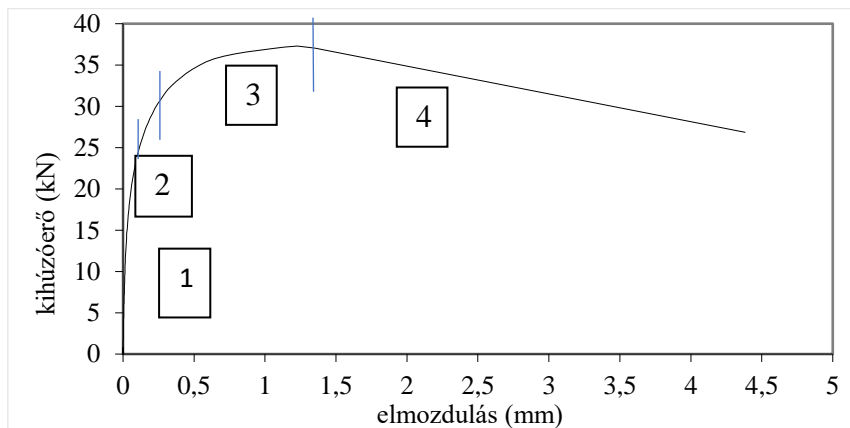
mérési pontra illesztett képlet, illesztés és illesztés pontosságának hiánya), így ezt az tézist nem tudom elfogadni új tudományos eredményként.

A kísérleti terv 105 db kihúzó kísérletet és 105 db nyomószilárdság mérést tartalmazott. Szakirodalmi adatokat azért nem idéztem, mivel ezeket a párhuzamos méréseket egyidejűleg más kutatócsoportok nem végezték el, vagy nem publikálták. A kísérleteket azért nem adtam meg itt részleteiben, mert azt már a hivatkozott PhD értekezésemben ismertettem. Ezt a méréssorozatot a PhD védésem óta kiegészítettem a SEM képes magyarázatokkal, miszerint a beton és a betonacél határfelületén portlandit van, ami 500 °C-on már biztosan elbomlik. Tekintettel, arra, hogy a PhD értekezésemben az 5.27. ábrán lévő ugrást még nem megmagyaráztam meg, ezért a képleteket és a modellezést jelen értekezésben tárgyalom.

Az alábbi részletkérdések merültek még fel a fejezetben:

2) Az 5.25-26. ábrák diagramjain hogyan különül el az 1. és 2. szakasz? A lejátszódó jelenségek meg vannak magyarázva a szövegben, de a diagramon nincs mutatva a két szakasz elkülönülése.

Köszönöm az észrevételt az 1. szakasz addig tart, amíg a függvény lineárisnak tekinthető, ezt a 6. ábrán bejelölve megadom.



6. ábra: Az kihúzóerő-elmozdulás diagram felosztása (Majorosné Lublós, 2008)

3) κ definíciójában (a kapcsolati szilárdság és a nyomószilárdság átlagértékének hányadosa) mit ért átlagérték alatt? Mire számolja az átlagot? Több próbatesten mért értékek átlagára?

Három kapcsolati szilárdság mérést végeztem el hőlépcsőnként és párhuzamosan három nyomószilárdság vizsgálatot hajtottam végre, melyeknek vettem a számtani átlagát, majd ezek hányadosát.

A beton-betonacél kapcsolati modellre végesem számításokat is mutat. A modellben használja az előző fejezet szerint kísérleti úton meghatározott összefüggéseket, és realizálja a végesem számításokat. Ez az előző fejezet következménye, eredménye. Ebből a fejezetből nem adódik tézis.

Összességében az 5.3. fejezetben a leírások hiányosak, a kimondott tézis bizonytalan, csak a publikációkban találtam hozzá leírást, de azok alapján sem tudtam megbizonyosodni a 3. tézistről. Ez a fejezet az értekezés leggyengébb része.

Remélem a magyarázataimmal eloszlattam a kételyeket.

NEGYEDIK TÉZIS, 5.4.-5.5. FEJEZETEK (Szálgeometria hatása a szálerősítésű betonok tűzállóságára)

4. a tézis, 5.4 fejezet

1) Az acélszálaknál valóban, határozottan elkülönül, számottevően jobb eredményt mutat a rövid, vékonyszálas változat. De nincs megmutatva, megmagyarázva, hogy „a kis átmérőjű és rövid szálak kedvezőbbek az eddig szakirodalomban ismertekkel szemben”, ez csak ki van mondva a tézisben, nincs szakirodalmi eredményekhez való hasonlítás.

A szakirodalmi adatok ismertetését szándékosan különítettem el, a kérdésre vonatkozó tárgyalás a 2.3 fejezetben történik meg. A szakirodalomban csak kizárólag a hosszú és nagyátmérőjű acélszálak alkalmazását ismertetik, ezért nem volt mód a szakirodalommal való összehasonlítására. A kísérleti eredményeim egyértelműen igazolták, hogy a rövid és vékony acélszálak lényegesen kedvezőbbek a tűzállóság szempontjából.

2) A műanyag szálaknál nem pontos a megállapítás, hiszen a rövid és hosszú szálas erősítésű változatok görbéinél (piros és sárga görbék) kb. 400 °C-ig a sárga, 400 °C felett pedig a piros görbe van felül, tehát e tendencia változik a hőmérséklet tartományok szerint.

A megjegyzés jogos, de abból indultam ki, hogy egy magasépítési épülettűzben a 400 °C-ot mintegy 10 perc alatt, egy alagúttűz esetén 2 perc alatt érjük el, ezen idő alatt a betonban jelentős kémiai változások nem következnek be. Ezért a görbe 400 °C feletti részét vettem mértékadónak a tézis felállításakor, hiszen a tézis a tűzállóságra vonatkozik.

Az alábbi részletkérdések merültek még fel a fejezetben:

3) Az 5.3. táblázatban a testsűrűség úgy van számolva, hogy összeadja a fenti sorokban felsorolt tételeket, azokat az összetevőket, amik 1 m³ betonhoz lettek adva. Ha az M0 referenciát nézzük, az 1 m³ tiszta beton. Ha ehhez még hozzáadunk 1 kg vagy 35 kg erősítő anyagot, akkor a sűrűség számításához nem szabad egyszerűen ezeket is hozzáadni. Hiszen akkor kapunk 1 m³ térfogatra vonatkoztatott tömeget (azaz sűrűséget), ha a plusz 1 kg vagy 35 kg erősítő anyagot valamelyik összetevő rovására adjuk a térfogathoz (hogy az össztérfogat 1 m³ maradjon). Vagy ha a referencia összetevőire pluszban adunk 1 kg vagy 35 kg erősítő anyagot, akkor a térfogat már nem marad 1 m³, és újra kell számolni a sűrűséget. Ez nem nagy eltérés, de elvi jelentősége van.

A műanyagszál erősítésű beton térfogata 1000,001 l, illetve 1000,004 l, az acélszál erősítésű betoné 1000,004 l, ha az 1000 l helyett ezekkel az értékkel osztunk, akkor a kerekítés után a táblázatban megadott értékeket kapjuk. Ha ezred pontosságra adnánk meg az értékekben valóban eltérés lenne.

4) Az 5.35. ábra diagramján a függőleges tengelyen két feszültségnek a hányadosa van, ami dimenzió nélküli szám kell legyen, amíg a függőleges tengelyen feszültség dimenzió van feltüntetve.

Köszönöm az észrevételt, ami jogos, a függőleges tengelyen valóban mértékegység nélküli számok vannak.

5) Az 5.36. ábrán „minden pont három-három mérési eredmény átlagát mutatja”. Fel lehetett volna tüntetni a szórást is.

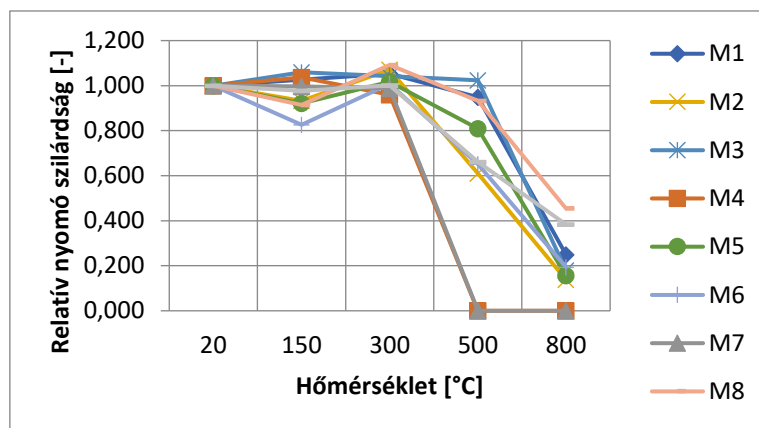
A szórást a mérésekről készített excel táblázatban mindig meghatároztam, ami ebben az esetben nem volt több, mint 1,5 N/mm².

4. b tézis, 5.5 fejezet

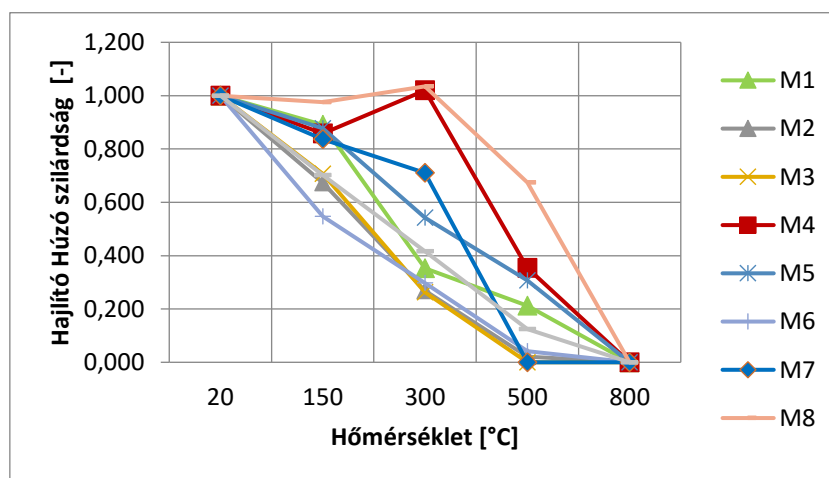
Az alábbi részletkérdések merültek fel:

1) Az 5.37-38. ábrákon külön vannak összehasonlítva a mikroszálás-referencia és a makroszálás-referencia párok. De ahhoz, hogy a mikroszálás-makroszálás párokat is könnyen össze tudjuk hasonlítani, célszerű lett volna egy harmadik diagram is. Ugyanez a kérdés felmerül az 5.39-40. ábráknál is. (Az előző a nyomó, az utóbbi a hajlító-húzó szilárdságokra vonatkozik.)

Az eredmények feldolgozása során készítettem ilyen ábrákat is, de az ábrák 9 mérés sorozattal nagyon áttekinthetlenné váltak, ezért a dolgozatomban ezeket nem adtam meg, most a 7. és 8. ábrán pótlólag közlöm.



7. ábra: Relatív nyomószilárdság és a hőterhelés hőmérsékletének összefüggése



8. ábra: Relatív hajlító-húzószilárdság és a hőterhelés hőmérsékletének összefüggése

2) Szilárdsági értékeket 3-3 mintán mérte ki. Milyen mértékű volt a szórás? Röviden ezt is meg kéne említeni.

A szórás minden esetben 2 N/mm^2 alatt volt. A próbatesteket mindig egy vagy két keverékből készítettem, ügyelve arra, hogy ugyanolyan körülmények között legyenek készítve és tárolva is.

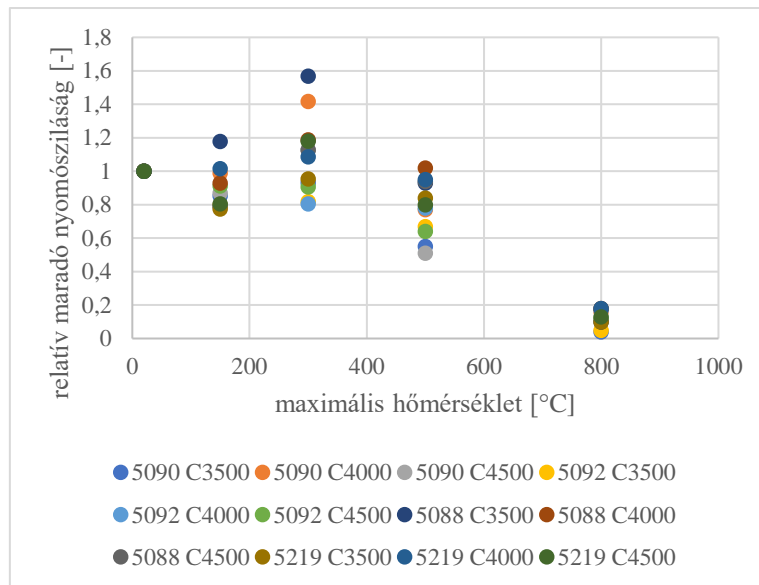
3) A mikroszálal erősítőkből 1 kg-ot, a makroszálal erősítőkből 4 kg-ot kevert a betonmintákhoz m^3 -enként. Volna-e értelme fordított mennyiségű adagolást is nézni, hogy a mikroszálalából adnánk nagyobb mennyiséget a mintához. Ha nincs értelme, akkor miért nincs? Miért pont az 1 és 4 kg erősítőszál mennyiség lett választva?

A keverékek esetében az iparban használatos száladagolást alkalmaztam. A mikroszálalából maximum 2 kg/m^3 lehet adagolni, mert efelett a beton már nem bedolgozható.

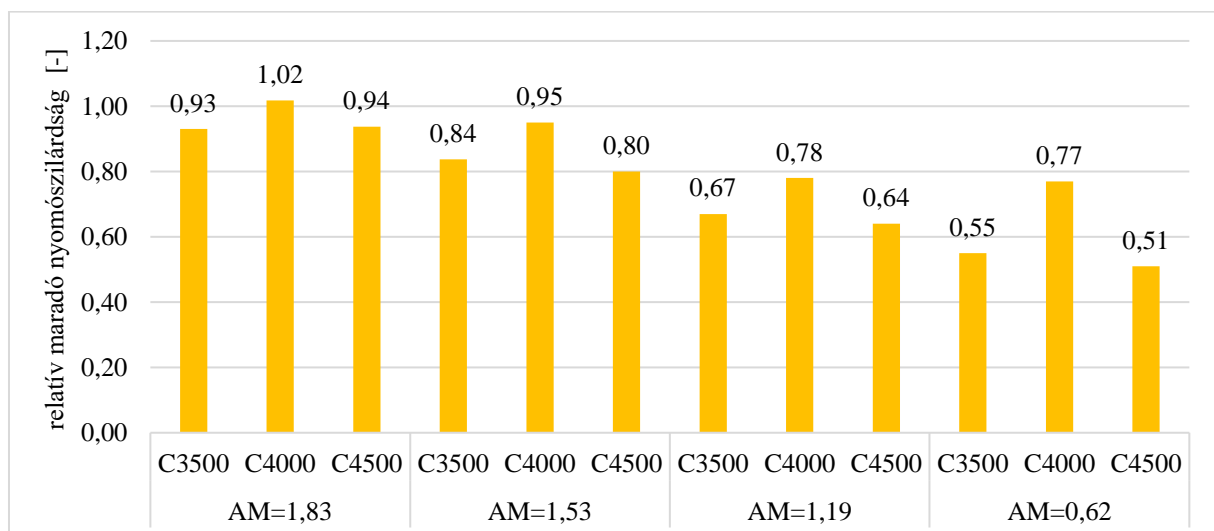
ÖTÖDIK TÉZIS, 5.6. FEJEZET (Portlandcementek hőérzékenysége)

1) Azonban az 5.44. ábrán egy összesítő diagram szerepel, ahol úgy vettem ki, hogy $500 \text{ }^\circ\text{C}$ hőterhelésnél a legmagasabb érték $3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ fajlagos felületű mintához adódik. Csúcsponton álló négyzet jelölés van legfelül. Ebből kétféle, nagyon hasonló színű jelölés is van az ábrán, nem vehető ki, hogy melyik szín van legfelül, de mindkét szín $3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ fajlagos felülethez tartozik. Az 5.44. és az 5. 45. ábra közötti ellentmondást meg kell magyarázni.

Az 5.44, ábrán 15 átfedő érték van, ezek sajnos az excel ábrázolásnál számomra érthetetlen okból elcsúsztak, amit nem vettem észre. A helyes értékek megadása a 9. ábrán látható. Ennyi értéknél és pontnál nem tartom célszerűnek az egységes diagramos ábrázolást, ezért adtam meg oszlopdiagramban (10. ábra) külön az értékeket, ahol valóban jól látszanak és helyesen szerepelnek. Az eredeti 5.45. ábrán megadott oszlopdiagramot kiegészítettem az átlagértékek megadásával.



9. ábra: A tiszta portlandcementek hőmérsékletfüggő relatív nyomószilárdsági értékei



10. ábra: A tiszta portlandcementek 500 °C-os hőterhelés után mért relatív nyomószilárdsági értékei (Lublóy, 2021)

Az alábbi részletkérdések merültek még fel a fejezetben:

2) Egy fajta mérést 3 mintán végzett el. De az eredmények bemutatásánál most is a 3 mintán mért átlagértéket látjuk. A szórásról itt is kellene mondani valamit.

A szórás itt is 1,5 N/mm² alatt volt.

3) A 83. oldal első sorában a szilikát modulus definíciójában „ $SM = SiO_2\% / (Al_2O_3\% + Fe_2O_3\%)$ ” a nevezőben bizonyára összeg van, de akkor a nevezőt zárójelbe kell tenni. Az 5.7. táblázatban számolt SM értékek (az 5.6. táblázat adataiból) helyesek, de a képlet hibás.

Itt valóban lemaradt egy zárójel, a képlet helyesen $SM = SiO_2\% / (Al_2O_3\% + Fe_2O_3\%)$.

4) Az 5.6. táblázat a cementek oxidos összetételét mutatja. A 8 féle oxid összetevő összege mindig 100 %. Az 5.8. táblázat viszont a cementek ásványi összetételét mutatja. Itt az 5 féle ásványi összetevő összértéke nem tesz ki 100 %-ot. Az utóbbinak mi az oka? Magyarozza meg az oxidok és ásványi összetevők együttes viszonyát adott cementfajtán belül.

A cementben a fent megadott oxidokon kívül más nem oxidok is lehetnek, például gipsz, ami kötőszabályozóként van jelen, ezért az 5.6 táblázatban egy oszlopban megadott értékek összege nem 100.

Az ásványi összetevők, már csak az ún. klinkerásványokra vonatkoznak, amelyek mellett a cementben szabad mész is található, ezért nem 100 az 5.8 táblázatban egy sorban megadott értékek összege.

5) Az 5.43. ábrán az aluminát modulus (AM) szerinti változást (illetve közömbösséget) is feltünteti. De miért az AM hatását nézi, pl. a szilikát modulus miért nem?

Az aluminát modulusban nagyobb volt az eltérés, ezért ezt mutatom be, de természetesen az állítások igazak a szilikát modulusra is, hiszen ezek összefüggő értékek (lásd cement fázisdiagramját, 2.5 ábra és a 2.6 ábra).

Végezetül remélem válaszaimmel elegendő magyarázatot és információt szolgáltattam további téziseim elfogadásához.

Budapest, 2021. 01.10



dr. Majorosné dr. Lublós Éva Eszter

FELHASZNÁLT IRODALOM

fib bulletin 38 (2007): Fire design of concrete structures- materials, structures and modelling, ISBN 978-2-88394-078-9.

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, Issue 132.

Majorosné Lubláy Éva Eszter (2021): Betonanyagú szerkezetek tűzállósága, MTA értekezés

Majorosné Lubláy, É. (2010): Vasbetonszerkezetek tűz utáni roncsolásmentes anyagvizsgálati lehetőségei, szakmérnöki diploma, BME Építészmérnöki kar

Majorosné Lubláy, É. (2008): Tűz hatása betonszerkezetek anyagaira, PhD értekezés, BME Építőmérnöki Kar, (tudományos vezető: Balázs L. Gy.), Budapest, p. 110.

NVKP_16-1-0019 “Fokozott ellenálló képességű (kémiai korrózióknak ellenálló, tűzálló és fagyálló) betontermékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése” című pályázathoz kapcsolódó kutatási jelentés

Schneider, U., Lebeda, C. (2000): Baulicher Brandschutz, ISBN: 3-17-015266-1, W. Kohlham-mer GmbH, Stuttgart.