

VÁLASZ

dr. Marosi György Professor Úr

„BETONANYAGÚ SZERKEZETEK TŰZÁLLÓSÁGA”

című MTA Doktori értekezésemre írt opponensi véleményére

Legelőször szeretném megköszönni a Professor Úrnak, 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.

ÉSZREVÉTELEKRE ÉS KÉRDÉSEKRE ADOTT VÁLASZOK

Nincs utalás pl. a következő releváns munkákra sem:

J.-H. Lee, Y.-S. Sohn, S.-H. Lee: „Fire resistance of hybrid fibre-reinforced, ultra-high-strength concrete columns with compressive strength from 120 to 200 MPa”, Magazine of Concrete Research **2012** 64:6, 539-550;

J Novák, A Kohoutková „Fibre reinforced concrete exposed to elevated temperature” **2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.** 246 012045;

Fadzli Mohamed Nazri, Ramadhansyah Putra Jaya, Badorul Hisham Abu Bakar, Raudhah Ahma, „Fire resistance of ultra-high performance fibre reinforced concrete due to heating and cooling” ENCON **2016** MATEC Web of Conferences matecconf/20178701021 DOI: 10.1051/01021 (2017)87.

Köszönöm az észrevételt és sajnálom, hogy az alapos irodalomkutatás ellenére nem követtem következetesen ezeket, az utóbbi időben keletkezett publikációkat.

1. Mit jelent a „víz-cement tényező”?

A víz-cement tényező a betontechnológiában a friss beton víz- és cementtartalmának tömegaránya, amely a beton nyomószilárdságának meghatározója. Jelen esetben a vízzel összekevert cementet nevezzük cementpépnek, ahol a víz-cement tényező a két anyag tömegének hányadosa, amennyiben hidraulikus pótlékot (kohósalak, trasz, pernye, szilkapor, metakaolin) is alkalmazunk, akkor azokat a szabványban megadott szorzótényezővel kell figyelembe venni.

A víz-cement tényező befolyásolja a beton (a megszilárdult cementpép) nyomószilárdságát: minél kisebb, annál nagyobb a nyomószilárdság értéke. A tűzállóság esetén az alacsonyabb víz-cement tényező a kedvezőbb, mert kevésbé csökken a hőterhelt beton szilárdsága.

2. A CT vizsgálat milyen módon végezhető el a helyszínen roncsolásmentesen? A disszertációban említett berendezésnek van hordozható változata? Elképzelhető-e hordozható ultrahangos módszer alkalmazása is?

A CT vizsgálatok jelenleg - az építőiparban - kivett magminta segítségével végezhetők el. Az irodalomban léteznek helyszíni CT berendezések, melyek pl. az olajfűrészhöz 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.

Az ultrahangos módszer megbízhatóan működik a hagyományos nem károsult betonszerkezetek esetén a betonszilárdság becslésénél, azonban a tűzkárosult beton esetén a szerkezetben keletkező repedések, az egyenlőtlen szilárdságcsökkenés (réteges átmelegedés) miatt a mérési eredmények megbízhatatlanok.

3. Tűz utáni felújítás tervezését megelőző vizsgálat során CT-vel érzékelhető-e a műanyagszálak elbomlása? Hogyan befolyásolja a terhelhetőséget ezek esetleges hiánya?

A műanyagszálak elbomlása helyén üregek keletkeznek és ez CT méréssel is érzékelhető. A kisátmérőjű műanyagszálak helyét csak micro-CT-vel lehet érzékelni, a nagyátmérőjű műanyagszálak helye orvosi CT-vel is látható. Jelen kutatás során mi orvosi CT berendezést használtunk.

A kiégett műanyagszálak valóban okozhatnak szilárdságsökkenést, amelynek mértéke, mérési tapasztalataink és a szakirodalom szerint is, maximum 10%.

4. Az 5.11. ábrán mit jelent a „28 napos korban” kifejezés?

A beton nyomószilárdságát befolyásolja a beton kora. A szabvány szerint (MSZ EN 12390-3:2009) a beton nyomószilárdság vizsgálatát 28 napos korban kell elvégezni, mivel ekkor már a beton szilárdága mintegy 95%-a a végszilárdságnak. Tehát a beton próbatestek 28 naposak voltak a vizsgálat időpontjában.

5. Mekkora volt az 5.23. ábrával kapcsolatban említett szeletek vastagsága?

Az egyes szeletek egymástól mért távolsága 1,25 mm volt.

6. Az 5.24. ábra magyarázat hiányában nehezen érthető.

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.

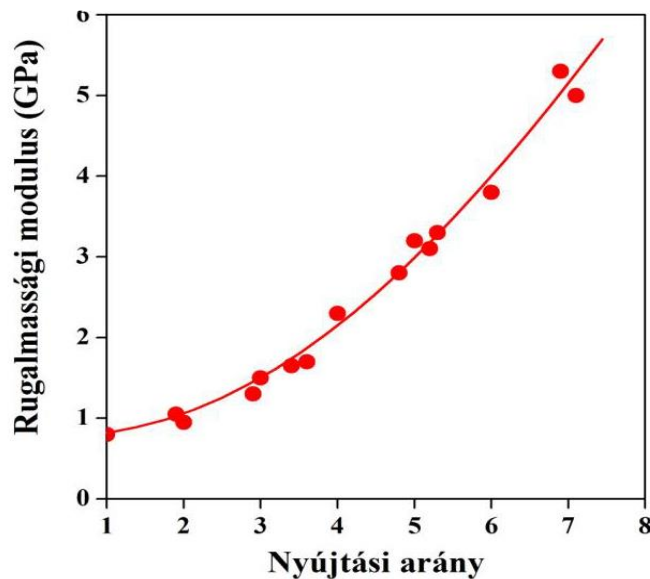
7. Milyen volt a polipropilén szálak nyújtásának mértéke, orientációs foka (ami befolyásolja a zsugorodás mértékét)?

A polipropilén szálak nyújtásnak mértékével nem foglalkoztunk.

Érdekes felvetés azonban, hogy mennyire tud zsugorodni egy PP szál és valóban a szakirodalomban megadott olvadás okozza-e az üregek létrejöttét. Célszerűnek látom az erre irányuló kísérletek elvégzését.

A szálak nyújtásnak mértéke a termékadatlap alapján mikroszálak esetén 15-szörös. Makroszálak esetén csak a rugalmassági modulust közlik, ami 3900 N/mm^2 , így az 1. ábra

alapján a nyújtás mértéke körülbelül 6-szoros, tehát a szálak zsugorodási mértéke között valóban van különbség.



1. ábra: Összefüggés az orientáció mértéke és az orientált PP szálak merevsége között
https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/59/38/dd/1/Muanyagok_animaciok_nelkul.pdf

A nyújtás és a zsugorodás közötti összefüggés szerint, hogy a nyújtás ($T_g < T < T_m$) során az orientálódott polimer makromolekulák T_g felett relaxálódnak, azaz felveszik a nyújtás előttihez közelítő egyensúlyi alakjukat, tehát makroszkopikus értelemben a szál visszatér (zsugorodik) a nyújtás előtti állapot közelébe, vagyis a mikroszálak zsugorodása valóban nagyobb, tehát az is elképzelhető, hogy valóban több hely lesz.

8. A „nagy átmérőjű és hosszú (makro) műanyagszálak kedvezőtlenebbek, mint a kis átmérőjű, rövid (mikro) szálak” megállapítás alapján nehéz eldönteni, hogy az átmérő, vagy a hosszúság a fontosabb befolyásoló tényező, mivel egyszerre változott a kettő. A szálgeometriától függő homogenizálhatóság is fontos tényező lehet, ezért felmerül a kérdés, hogy szálaggregátumok megfigyelhetők voltak-e a keverékekben?

Szerintem összeségében az össz-szálhossz lesz a mértékadó, amit az 5.3 táblázatban meg is adtam.

A kísérlet során nem volt lehetőség fixálni egy paramétert, csak az iparban használatos szálakat tudtam alkalmazni. A kis átmérőjű szálakból nem érdemes hosszút gyártani, mert

azok könnyen elszakadnak, a nagy átmérőjű szálak esetén pedig a szálhosszra a tapadás biztosítása miatt van szükség.

A keverékekben a szálak csomósodása nem fordult elő. Ennek magyarázata, hogy a műanyagszálak testsűrűsége a vízhez közeli, ami jól keveredik a betonban. Acélszálak esetén a szálak szegregálódása, csomósodása azonban előfordulhat.

9. Mennyire volt egységes a minták víztartalma?

A minták vizsgálatkori nedvességtartalma egységes volt. A minták tárolása klímakamrában történt, konstans hőmérséklet és páratartalom mellett. Ennek ellenére a minták nedvességtartalmát a tömegállandóságig történő szárítással szűrőpróba-szerűen ellenőriztük, az eltérés 1% on belül volt.

10. Mi lehet a következő megállapítás magyarázata: „a nagy átmérőjű, hosszú műanyag szálak (M2) 200 °C és 300 °C-os hőterhelés során a felület károsodását okozták”? Elképzelhető-e, hogy a kevesebb csatorna és a hosszabb szálak nagyobb aggregációs hajlama lehet a háttérben?

A szálak véletlenszerűen helyezkedek el a betonban, ebből kifolyólag a próbatest felülethez közeli részein is találhatóak szálak, amelyek ha kiégnek, nyomot hagynak, amit kizárólag a nagyobb szálak esetén láthatunk, a kis szálak esetén ez szabad szemmel nem érzékelhető. A szálak szétoztályozódása acélszálak esetén gyakori, de műanyagszálak esetén nem jellemző, mivel a műanyagszálak sűrűsége a vízzel közel megegyező, ezért egyenletesen keverhető el a betonban.

11. Mi indokolta a következő száladagolásokat: mikro-szálak esetén 1 kg/m³, makroszálak esetében pedig 4 kg/m³?

A keverékek esetében az iparban használatos száladagolást alkalmaztam. Az összehasonlíthatóság végett az össz-szálhosszt is megadtam (5.3 és 5.4 táblázat). A mikroszálakból technológiailag nem lehet 4 V%-ot (4 kg/m³) belekeverni, a makroszálakból pedig 1 V%-ot (1 kg/m³) nem érdemes a keverékhez adni, hiszen így nagyon kevés szál lesz a keverékben.

12. Mi a „Sika 40/50” adalékszer jelentése?

A Sika 40/50 egy folyósító adalékszer jele. Tisztában vagyok vele, hogy egy doktori értekezésben nem elegáns márkanéveket megadni, de tekintettel, arra, hogy a folyósítók beazonosítása ennek megadása nélkül nehéz, ezért a kísérletek megismételhetősége miatt szükségesnek éreztem.

13. Mi a magyarázata annak, hogy kisebb betonszilárdság esetén a „makroszálak” nagyobb betonszilárdság esetén pedig a kis átmérőjű, rövid (mikro) szálak a kedvezőbbek?

A kisebb szilárdságú (C16/20) betonok esetén a nyomó- és a hajlító-húzószilárdság is kedvező makroszálak használata esetén, a szálak kiégése nem csökkenti olyan mértékben a szilárdságot, mint a mikroszálak esetén. Az alacsonyabb betonszilárdság esetében a betonfelületek robbanásszerű leválása, a beton magas porozitása miatt, nem várható, így a makroszálak alkalmazása célszerű. Nagyobb szilárdságú betonok (C40/50) esetén a makro-műanyagszálak használata egyáltalán nem javasolt, mert ezek a réteges leválást ugyan megakadályozták, de a nyomó- és hajlító-húzószilárdságot jelentősen rontják.

14. A kísérletek egyértelműen igazolták, hogy a szálak geometriájának hatása van a tűzállóságra, de felmerül a kérdés, hogy a vízgőzzé válása és a szálak elbomlása (350-450°C között), közötti hőmérséklettartományban milyen egyéb tényezők (pl. polaritáskülönbség, zsugorodás) járulhatnak hozzá a göznyomás csökkentéséhez?

A szakirodalom szerint a szálak megolvadnak és a vízgőzzel együtt az olvadék távozik. Azonban hihető magyarázat lehet az is, hogy a szálak zsugorodnak és ezzel jön létre egy mesterséges üregrendszer. Ez egy nagyon érdekes kérdésfeltevés, ennek eldöntését a jövőben kutatásra érdemesnek tartom.

15. A polipropilén mellett más, pl. poliamidszálak is alkalmazhatók-e (hibrid polimer) szálrendszerként?

A szakirodalomban vannak példák a hibridszálrendszerek alkalmazására, de általában üveg- és műanyagszálat szoktak együttesen alkalmazni. Véleményem szerint a szerkezeti elemek

tűzállóságának növelése érdekében a poliamidszálak és a polipropilénszálak együttes alkalmazása célravezető lehet.

Budapest, 2021. 01.10



dr. Majorosné dr. Lublós Éva Eszter

FELHASZNÁLT IRODALOM

https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/59/38/dd/1/Muanyagok_animaciok_nelkul.pdf

MSZ EN 12390-3:2009 A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A próbatestek nyomószilárdsága, Szabványügyi Testület.