

építőanyag

A Szilikátipari Tudományos Egyesület lapja

A TARTALOMBÓL:

- Szemcsés anyagok
– csővezetékben –
folyadékárammal való
szállításának méretezése
2. rész: A nyomásvesztés számítása
- Készülékfejlesztés
a hidrociklonozásban
- Bányaföldtani tapasztalatok
a komlói andezitbányában
- Szilikapor hatása
a beton tűzállóságára
- Upgrading of TGA/DTA
analyzer Derivatograph
- Neurális hálók
aszfalttechnológiai
alkalmazása

2012/1–2



TARTALOM

- 2 Szemcsés anyagok – csővezetékben –
folyadékárammal való szállításának méretezése
2. rész: A nyomásvesztés számítása
FAITLI József
- 8 Készülékfejlesztés a hidrociklonozásban
NÉMETH Jenő ■ VERDES Sándor
- 15 Papp Ferenc élete és munkássága – könyvajánló
- 16 Gömze A. László professzori kinevezése
- 18 Bányaföldtani tapasztalatok a komlói andezitbányában
KLESPITZ János
- 22 Szilikapor hatása a beton tűzállóságára
CZOBOLY Olivér ■ HARMAN Béla ■ LUBLÓY Éva
BALÁZS L. György ■ Salem G. NEHME
- 27 10 éves „A magyar perlit története” kiállítás
- 28 Egy derivatográf (TGA/DTA elemzőberendezés)
korszerűsítése
Rudolf PODOBA ■ Anton TRNÍK ■ Ľuboš PODOBNÍK
- 30 Neurális hálók aszfalttechnológiai alkalmazása
KONCSOS Tamás ■ TÓTH Csaba
- 34 Egyesületi és szakhírek
- 38 Az SZTE XXXV. Küldöttgyűlése
- 40 Az építési termékekre vonatkozó új uniós rendelet

CONTENT

- 2 Design of transport of particulate materials
by fluid flow in pipelines
Part 2: Calculation of the pressure loss
József FAITLI
- 8 Development in hydrocyclone-construction
Jenő NÉMETH ■ Sándor VERDES
- 15 Life and work of Ferenc Papp – book commendatory
- 16 Professional appointment of Gömze A. László
- 18 Quarry-geological observations in the Komló andesite-pit
János KLESPITZ
- 22 Concrete with silica fume in fire
Olivér CZOBOLY ■ Béla HARMAN ■ Éva LUBLÓY
György BALÁZS L. ■ Salem G. NEHME
- 27 History of Hungarian perlite – the 10 years old
exhibition
- 28 Upgrading of TGA/DTA analyzer Derivatograph
Rudolf PODOBA ■ Anton TRNÍK ■ Ľuboš PODOBNÍK
- 30 Asphalt technological application of the neural network
Tamás KONCSOS ■ Csaba TÓTH
- 34 Society and professional news
- 38 XXXV. meeting of the delegates of SSSI
- 40 Construction Products Regulation

A finomkerámia-, üveg-, cement-, mész-, beton-, téglá- és cserép-, kő- és kavics-, tűzállóanyag-, szigetelőanyag-iparágak szakmai lapja

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG • EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. GÖMZE A. László – elnök/president
TÓTH-ASZTALOS Réka – főszerkesztő/editor-in-chief
WOJNÁROVITSNÉ dr. HRAPKA Ilona – örökös
tiszteltetbeli felelős szerkesztő/senior editor-in-chief

ROVATVEZETŐK • COLUMNISTS

Anyagtudomány • Materials science –
Prof. Dr. SZÉPVÖLGYI János
Anyagtechnológia • Materials technology –
Dr. KOVÁCS Kristóf
Környezetvédelem • Environmental protection –
Prof. Dr. CSÖKE Barnabás
Energiagazdálkodás • Energetics –
Prof. Dr. SZÜCS István
Hulladékhasznosítás • Recycling - waste recovery –
BOCSKAY Balázs
Építőanyag-ipar • Building materials industry –
Prof. Dr. TAMÁS Ferenc

TAGOK • MEMBERS

Prof. Dr. Parvin ALIZADEH, Prof. Dr. BALÁZS György,
Dr. BOROSNYÓI Adorján, Prof. Dr. David HUI,
Prof. Dr. GÁLOS Miklós, Prof. Dr. Kozo ISHIZAKI,
Dr. JÓZSA Zsuzsanna, KÁRPÁTI László,
Prof. Dr. Sergey N. KULKOV,
MATTYASOVSKY ZSOLNAY Eszter,
Prof. Dr. OPOCKY Ludmilla, Dr. PÁLVÖLGYI Tamás,
Dr. RÉVAY Miklós, Prof. Dr. Tomasz SADOWSKI

TANÁCSADÓ TESTÜLET • ADVISORY BOARD

FINTA Ferenc, KISS Róbert,
Dr. MIZSER János

A folyóiratot referálja: Cambridge Scientific Abstracts,
ProQuest.

A szakmai rovatokban lektorált cikkek jelennek meg.
Kiadja a Szilikátipari Tudományos Egyesület
1034 Budapest, Bécsi út 122-124.

Telefon és fax: +36-1/201-9360

E-mail: info@szte.org.hu

Felelős kiadó: Dr. SZÉPVÖLGYI János SZTE ELNÖK

Törzslépcső szerkesztő: NÉMETH Hajnalka

Egy szám ára: 1250 Ft

A lap az SZTE tagok számára ingyenes.

Belföldi terjesztés: SZTE

Külföldi terjesztés: BATHYANY KULTUR-PRESS KFT.

HIRDETÉSI ÁRAK 2012 / ADVERTISING RATES 2012:

B2 borító színes / cover colour	76 000 Ft	304 EUR
B3 borító színes / cover colour	70 000 Ft	280 EUR
B4 borító színes / cover colour	85 000 Ft	340 EUR
1/1 oldal színes / page colour	64 000 Ft	256 EUR
1/1 oldal fekete-fehér / page b&w	32 000 Ft	128 EUR
1/2 oldal színes / page colour	32 000 Ft	128 EUR
1/2 oldal fekete-fehér / page b&w	16 000 Ft	64 EUR
1/4 oldal színes / page colour	16 000 Ft	64 EUR
1/4 oldal fekete-fehér / page b&w	8 000 Ft	32 EUR

Az árak az áfát nem tartalmazzák. / Without VAT.

Az előfizetési és hirdetési megrendelő letölthető az SZTE honlapjáról.

Order-forms for subscription and advertisement are available on Society's website.

WWW.SZTE.ORG.HU

HU ISSN 00 13-970x INDEX: 2 52 50 • 64 (2012) 1-40

A SZILIKÁTIPIARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

TÁMOGATÓ TAGVÁLLALATAI

3B Hungária Kft. ■ Air Liquide Kft. ■ Altek Kft.
Baranya Téglá Kft. ■ Berényi Téglaiipari Kft.
Budai Téglá Zrt. ■ Cemkut Kft. ■ Colas-Északkelet Kft.
Deco-Mat Kft. ■ Fátolüveg Kft. ■ G&B Elastomer Trade Kft.
Gamma-Kerámia Kft. ■ GE Hungary Kft. ■ Geoteam Kft.
Guardian Orosháza Kft. ■ Humán-Szerviz Kft.
Hunext Kft. ■ Interkerám Kft. ■ Keramikum Kft.
KK Kavics Beton Kft. ■ KŐKA Kő- és Kavicsbányászati Kft.
Kötés Kft. ■ KTI Nonprofit Kft. ■ Kvarc-Ásvány Kft.
Lambda Systeme Kft. ■ Libál Lajos ■ Licht-Tech Kft.
Messer Hungarogáz Kft. ■ MFL Hungária Kft.
Mineralholding Co. Ltd. ■ MTA KK Anyag- és Környezetkémiai
Intézet ■ OMYA Hungária Kft. ■ Pápateszéri Téglaiipari Kft.
Perlit-92 Kft. ■ RATH Hungária Kft.
Speciálbau Kft. ■ Szema-Makó Kft. ■ SZIKKTI Labor Kft.
WITEG Kőporc Kft. ■ Zalakerámia Zrt.

Szilikapor hatása a beton tűzállóságára

CZOBOLY OLIVÉR ■ BME ■ czobolyoli@gmail.com

HARMAN BÉLA ■ BME ■ hbela3@gmail.com

LUBLÓY ÉVA ■ BME ■ lubeva@web.de

BALÁZS L. GYÖRGY ■ BME ■ balazs@vbt.bme.hu

NEHME SALEM GEORGES ■ BME ■ sgnahme@yahoo.com

Érkezett: 2011. 12. 19. ■ Received: 19. 12. 2011.

Concrete with silica fume in fire

In case of HPC the application of silica fume is often necessary. Behaviour of concrete with silica fume at high temperatures is different from that of conventional concrete.

As a part of our study, experiments were carried out in order to observe the behaviour of concrete specimens exposed to fire. During the experiments both the residual compressive strength and residual flexural strength of the specimens were determined after being exposed to high temperature. Parameters of the experiment were the following: silica fume content (0 m%, 3 m%, 9 m%), cement content (400 kg/m³; 436 kg/m³), water-cement ratio (w/c = 0,35; 0,36; 0,38), water-binder ratio (w/b = 0,35; 0,33; 0,30), maximum temperature (20 °C; 50 °C; 150 °C; 300 °C; 500 °C; 1000 °C). Results in case of constant w/c ratio and constant cement content: increasing the amount of silica fume is unfavourable for the relative residual compressive strength. The relative residual flexural strength also changes disadvantageously in case of lower temperature exposure (20–150 °C) and increased silica fume content. In case of higher temperature exposure (more than 150 °C) addition of 3 m% silica fume to the mixture proved to be advantageous. Results in case of constant water-binder ratio: if silica fume is added, while water-binder ratio is kept constant (mixtures M6 and M4) the relative residual compressive strength does not change considerably but the relative residual flexural strength increases. In case of 9 m% silica fume content lower w/c ratio increases the initial compressive strength, on the other hand decreases the relative residual compressive strength after elevated temperature exposure. If the silica fume content is 9 m%, the relative residual flexural strength is not affected by the different w/c ratios. The experiments also proved that the addition of silica fume to a concrete mixture decreases the risk of spalling, consequently increases the fire resistance.

Keywords: fire safety, silica fume, residual strength, HPC

Kulcsszavak: tűzállóság, szilikapor, maradószilárdság, nagy szilárdságú beton

1. Bevezetés

A fokozódó mérnöki kihívásokkal a beton tulajdonságai is folyamatosan változnak. Az egyik fejlődési irányt a szilárdoságnövelés jelenti. Ezt jól szemlélteti az is, hogy a nemrég hazánkban visszavont MSZ 4719:1982 szabványban szereplő legnagyobb nyomószilárdsági osztály a C55 (C55/67) volt, tehát a mai szokásos terminológia szerint az MSZ 4719:1982 szabványban nem esett szó nagyszilárdságú betonról. Az ezt felváltó MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint nagyszilárdságú betonnak nevezzük, a C55/67 – C100/115 nyomószilárdsági osztályú közönséges betonokat, a HC55/67 – HC100/115 nehézbetonokat, illetve az LC55/60 – LC80/88 könnyűbetonokat.

Egyes szakirodalmak szerint „nagyszilárdságú beton C70/85 nyomószilárdsági osztály felett szilikapor nélkül készíteni általában nem lehet” [1]. Az előző állítást igazolja Held 1991-ben megjelent publikációja [2] is, melyben ismertet 3 beton receptúrát, melyekről azt írja, hogy „a nagyszilárdságú beton tipikus receptjei”. Az általa közölt három receptúra mindegyike tartalmaz szilikaport (kovasavlisztet).

Szerte a világban lehet találni olyan megépült szerkezeteket, ahol szilikaport alkalmaztak a betonhoz. Szilikaport használtak a Toronto városban (Kanadában) épült Scotia Plazánál (1. ábra), a chicagói „South Wacker Drive 311” magasháznál, a „Taipei 101” felhőkarcolónál (Tajvanban) (2. ábra) [4]. További

CZOBOLY Olivér Attila

(1988) építőmérnök hallgató (BME Építőmérnöki kar). TDK Építőanyagok és magasépítés szekció I. helyezett, OTDK különdíj. Fő érdeklődési terület: Beton és fa tűzállóság, nagyszilárdságú betonok. A fib Magyar Tagozat és az ÉTE tagja. ÉTE-BME Hallgatói Szakosztály Építőmérnök Tagozat vezetője.

HARMAN Béla András

(1988) építőmérnök hallgató (BME Építőmérnöki kar). TDK Építőanyagok és magasépítés szekció I. helyezett, OTDK különdíj. Fő érdeklődési terület: Beton és fa tűzállóság, nagyszilárdságú betonok.

Dr. LUBLÓY Éva

(1976) okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki kar 2002), adjunktus a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken (2002). Fő érdeklődési területei: vasbetonszerkezetek viselkedése tűz hatására, tűzkarok mérnöki tanulságai. A fib Magyar Tagozat tagja.

Dr. BALÁZS L. György

Okl. építőmérnök, okl. matematikai szakmérnök, PhD, Dr. habil. egyetemi tanár, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék vezetője. Fő érdeklődési területei: beton, vasbeton és feszített szerkezetek (anyagai, laboratóriumi vizsgálata és modellezése), szálerősítésű betonok, nem acél anyagú betétek megerősítések anyagai és módjai, erőátadódás a betonban, vasbeton tartó repedezettségi állapota, vasbeton szerkezetek tartóssága. A fib Magyar Tagozat elnöke, A fib nemzetközi szervezetének elnöke 2011-2012-ben.

Dr. NEHME G. Salem

(1963) okl. építőmérnök (1992) vasbetonépítési szakmérnök (1996) egyetemi docens a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken. Fő érdeklődési területei: beton technológia, beton porozítása, tömegbetonok vizsgálatai és problémáinak szakértése, öntömörödő beton, szálerősítésű betonok, építőanyagok minőségellenőrzése, beton roncsolásmentes vizsgálata és minősítése, vasbeton szerkezetek szakértése, újrahazsnosított adalékanyagokból készült beton. A fib Magyar Tagozat tagja.

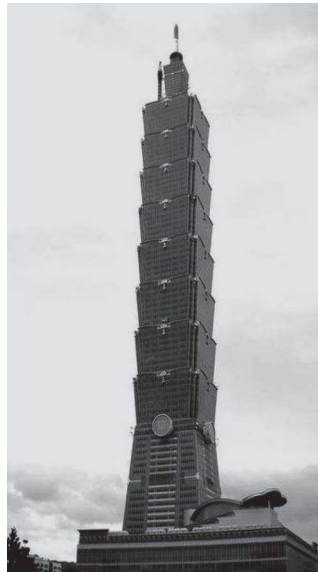
példaként említhető a szilikapor alkalmazására a 2004-ben átadott W-Comfort torony Tokióban, vagy a 2010-ben átadott Burj Dubaj (Dubaj torony). Kedvező tulajdonságai miatt a lőttbeton technológiánál is adagolnak szilikaport a betonhoz [6].

2. Szilikaporról röviden

A szilikapor fogalmát az Amerikai Beton Intézet (ACI) a következőképpen definiálja [7]: „nagyon finom, amorf szilika, ami elemi szilícium, vagy szilícium tartalmú ötvözetek gyártásának melléktermékeként keletkezik, elektromos ívű kohóban. Tulajdonképpen a kvarc (SiO₂) és a szén (C) elektromos ívben történő reakciójából jön létre a szilikapor. A betonba kevert szilikapor a többi alkotóval reakcióba lép”. Egy másik tanulmány alapján [8]: „A szilikapor szemcsék átgélesednek és könnyen behatolnak a pórusokba, és ott a cement hidratációja következtében keletkező kalcium-hidroxid oldattal [Ca(OH)₂], amely nem járul hozzá a beton szilárdságfejlődéséhez kalcium-szilikát-hidrátot (CSH) képeznek, amely a beton tömörségét és szilárdságát jelentősen megnöveli” [8].



1. ábra Scotia Pláza [3]
Fig. 1. Scotia Plaza [3]



2. ábra Taipei 101 [5]
Fig. 2. Taipei 101 [5]



3. ábra Gotthard alagút betonfelületének réteges leválása [10]
Fig. 3. Gotthard tunnel was spalling in the fire [10]

A szakirodalmi adatok szerint a nagyszilárdságú betonoknak rosszabb lehet a tűzállósága, mint a szokványos betonoknak [13]. Ezért fontosnak tartottuk, hogy foglalkozzunk a betonhoz adagolt szilikapor tartalom hatásával a tűzállóságára.



4. ábra Tüzeset a fűrótoronyon [12]
Fig. 4. Fire on an oil rig [12]

A szilikapor betonhoz adagolt mind a friss beton, mind a megszilárdult beton tulajdonságait javítja. A friss betonban növeli a kohéziót a szilikapor, így kevésbé osztályozódik szét a beton, csökken a visszahullás veszélye a lőttbetonok esetén [7]. A szilikapor alkalmazása növeli a megszilárdult beton nyomószilárdságát, rugalmassági modulusát és a hajlító-húzószilárdságát. Így főként nagy terhelésű oszlopoknál (felhőkarcolók esetén), illetve hídgerendáknál érdemes szilikaport alkalmazni. Emellett a szilikapor tartalom növeli a beton tömörségét, melynek köszönhetően az ionok behatolásával szemben nagyobb lesz az ellenálló képessége a betonnak (szulfátállóságot és kloridállóságot javítja).

A szilikapor reakciós folyamata miatt a keverékben a cement tömegére vonatkoztatva 0,11 m_c% szilikaport lehet használni. A szilikaport be kell számítani kötőanyagként a receptúrába. A kötőanyagba való beszámítását egy *k* tényezővel kell kifejezni. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a *k* értéke CEM I cementfajtát tartalmazó betonoknál általános esetben a szilikaporra 2,0 [9].

3. Tűzállóság jelentősége

Az elmúlt évtizedekben számos épület- és alagúttűz történt. Ezek közül csak néhány nagyobb került be a köztudatba.

Magyarországon 2000 és 2005 között évi átlagban 24 000-nél is több tüzesetet regisztráltak. Ebből 6300-nál több a lakóingatlanokban bekövetkezett tűz [10].

Nem csak épületeket veszélyeztethet a tűz. A Gotthard alagútban 2001. október 24-én következett be tűz [11]. Az alagút tüzek mindig speciálisak, hisz ott viszonylag gyorsan, magas hőmérséklet alakul ki. Ezekben az esetekben gyakori tönkremeneteli mód a beton felület réteges leválása (3. ábra).

Sok példát lehet említeni olajfűrótoronyokon bekövetkezett kisebb-nagyobb tüzesetekre is. 2010 áprilisában volt tüzeset a Mexikói-öbölben az egyik olajfűrótoronyon (4. ábra). A tűz következtében elsüllyedt a fűrótorony, mely jelentős környezeti károkat okozott.

4. Kísérleti paraméterek

Vizsgálataink célja a szilikapor tartalom tűzállóságra gyakorolt hatásának kísérleti meghatározása volt a nagyszilárdságú betonok hőterhelés utáni maradó szilárdságára (maradó nyomószilárdság és maradó hajlító-húzószilárdság). A maradó nyomószilárdságot 50 mm átmérőjű és 100 mm magasságú hengereken, míg a maradó hajlító-húzószilárdságot 70×70×250 mm nagyságú hasábokon vizsgáltuk.

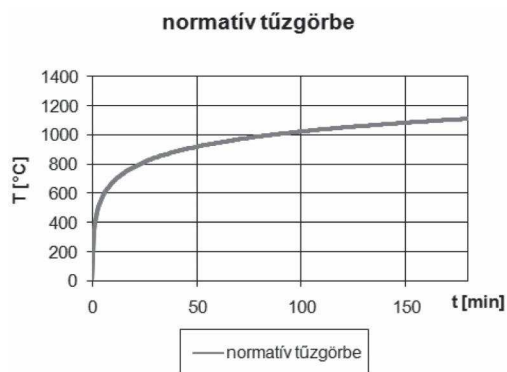
Hat féle beton keverék felhasználásával kapott kísérleti eredményeinket három csoportosítás szerint hasonlítottuk össze:

- Első esetben a szilikapor tartalom változásának hatását vizsgáltuk azonos víz-cement tényező esetén. (M1, M2 és M3 keverékek eredményeinek összevetése.)
- Második esetben a felhasznált szilikapor tartalmat és a felhasznált víz mennyiségét változtattuk azonos kötőanyag tartalom esetén. (M3, M4 és M6 keverékek eredményeinek összevetése.)
- Harmadik esetben azonos mennyiségű szilikaport, illetve cement tartalmat használtunk fel az összehasonlított keverékekben, miközben a víz mennyiségét változtattuk. (M2 és M5 keverékek eredményeinek összevetése.)

A maximális hőterhelési értékek megválasztásakor figyelembe vettük a Baranya Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság

tájékoztatását, miszerint a tűzoltóknak a bejelentést követően 120 másodpercen belül el kell indulniuk a tüzesethez. Ha nehezen megközelíthető a tűzfészek, akkor előfordulhat, hogy mire szakszerűen el tudják kezdeni a tűz oltását, akár 30–40 perc is eltelhet a tüzeset bejelentésétől.

A tervezés és méretezés során a hőmérsékleti hatásokat normatív hőmérséklet-idő görbékkel lehet megadni. A magasépítési szerkezeteknél a normatív tűzgörbét kell alkalmazni (5. ábra).



5. ábra Normatív tűzgörbe
Fig. 5. Normative curve of fire

A témában talált kutatások nagy többsége 600 °C-ig vizsgálta a nagyszilárdságú betont, melyet a normatív tűzgörbe alapján kevesebb, mint 6 perc alatt elér a szerkezet. Így fontosnak tartottuk, hogy vizsgálatainkat 1000 °C-os maximális hőterhelési értékig végezzük, melyet 40 perc után ér el a szerkezet.

A vizsgálatainkat minden keveréknél 6 maximális hőterhelési értéken (20 °C, 50 °C, 150 °C, 300 °C, 500 °C és 1000 °C) végeztük.

5. Kísérleti eredményeink

A szilikapor tartalomtól függően egyes elemeknél a beton felület réteges leválását, illetve robbanásszerű tönkremenetelét figyeltük meg az 1000 °C-os hőterhelést követően. A henger alakú próbatestek épek maradtak, míg a hasáb alakú próbatestek közül közel a fele felrobbant (6. ábra). Ez a jelenség egyszerűen az ún. alakhatással magyarázható.

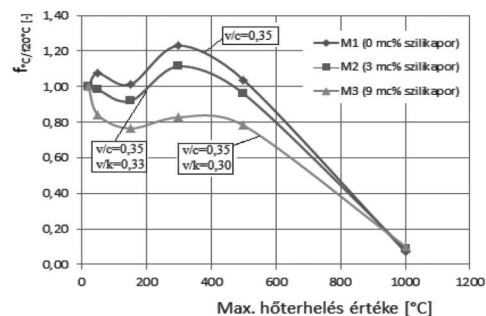


6. ábra A próbatestek az 1000 °C-os hőterhelés után
Fig. 6. Specimens after 1000 °C temperature loading

A hasáb alakú próbatestek közül a szilikaport nem tartalmazó (etalon) keverékekből készült próbatestek mind felrobbantak, majd a szilikapor tartalom növelésével az épen maradt próbatestek száma nőtt.

5.1. Beton próbatestek maradó nyomószilárdsága

Az első szempont alapján az azonos, 0,35-ös víz-cement tényezőjű (M1; M2 és M3) keverékek vizsgálata során a szilikapor tartalmat változtattuk. Minden keverékből, minden maximális hőterhelési értéken 3–3 próbateszt vizsgáltunk és azok maradó nyomószilárdság értékeit átlagoltuk (1. táblázat). Ezt követően grafikonon ábrázoltuk a relatív maradó nyomószilárdság értékeit. Megállapítottuk, hogy a szilikapor tartalom növelésével a relatív maradó nyomószilárdság értéke az 50 °C, 150 °C, 300 °C és az 500 °C hőterhelést követően csökkent (7. ábra). 1000 °C-os hőterhelés után a mért relatív maradó nyomószilárdsági értékek jelentősen nem tértek el egymástól – az azonos v/c tényezővel készült, henger alakú próbatestek esetén.



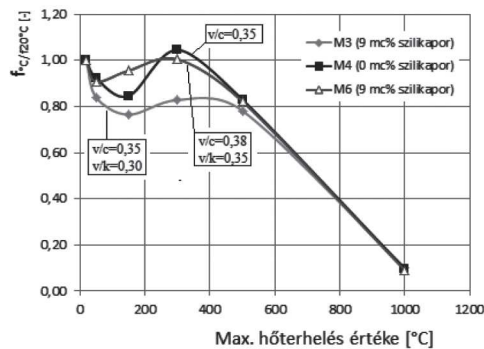
7. ábra Azonos v/c tényezőjű keverékek maradó relatív nyomószilárdság átlagértékei
Fig. 7. Relative residual compressive strength with constant v/c ratio

A mért nyomószilárdságok átlaga (N/mm ²)						
T (°C)	M1 (0 m.c.%)	M2 (3 m.c.%)	M3 (9 m.c.%)	M4 (0 m.c.%)	M5 (3 m.c.%)	M6 (9 m.c.%)
20	57,4	68,0	72,9	55,8	72,8	61,0
50	61,6	66,8	61,2	51,5	59,5	55,3
150	58,1	62,5	55,7	47,1	57,9	58,2
300	70,6	75,7	60,3	58,3	63,0	61,3
500	59,5	65,3	57,0	46,3	64,0	50,2
1000	4,2	5,9	7,4	5,4	8,7	5,5

1. táblázat Beton próbatestek maradó nyomószilárdság átlagértékei
Table1. The residual compressive strength of the concrete specimens

A második szempont alapján az azonos kötőanyag tartalmú három (M3-as, M4-es és M6-os) keveréket hasonlítottuk össze (8. ábra). Az M4-es keveréknél a teljes kötőanyag mennyiséget cement formájában adtuk a betonhoz. Az M3-as és M6-os keverékeknél 36 kg/m³ (9 m.c.%) szilikaport és 400 kg/m³ cementet adagoltunk a keverékhez. Az M4-es és az M6-os keverékek víztartalma azonos volt. Megállapítottuk, hogy a cement egy részének szilikaporról való kicserélése a maradó nyomószilárdság szempontjából jelentősen nem változtatta a relatív maradó nyomószilárdsági értékeket (M6, M4) a 300 °C-nál magasabb maximális hőterhelés esetén. Az M3-as és az M6-os keverékek esetén a v/c és a v/k is változott, de azonos volt a szilikapor tartalom. Megállapítottuk, hogy 9 m.c.% szilikapor adagolás mellett a nagyobb v/c és v/k értékű (M6-os) keverék bizonyult kedvezőnek a hőterhelés utáni relatív maradó nyomószilárdság szempontjából.

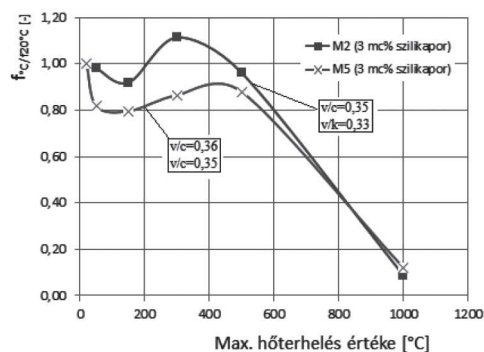
A vizsgálati eredmények tükrében elmondhatjuk, hogy 9 m.c.% szilikapor tartalom alkalmazása esetén az alacsonyabb víztartalom növeli a kezdeti nyomószilárdságot, viszont csökkenti a beton hőterhelés utáni relatív maradó nyomószilárdságát.



8. ábra Azonos kötőanyag tartalmú keverékek maradó relatív nyomószilárdság átlagértékei

Fig. 8. Relative residual compressive strength with constant binder content

Az M2-es és M5-ös keverékek szilikaport tartalma azonos (3 mc%) volt, de a v/c és a v/k is változott. Megállapítottuk, hogy 3 mc% szilikaport adagolás mellett kisebb v/c és v/k keverék bizonyult kedvezőnek a hőterhelés utáni maradó nyomószilárdság szempontjából (9. ábra).



9. ábra Azonos szilikaport tartalmú keverékek maradó relatív nyomószilárdság átlagértékei

Fig. 9. Relative residual compressive strength with constant silica fume content

5.2. Beton próbatestek maradó hajlító-húzó szilárdsága

A maradó hajlító-húzó szilárdság megállapításához minden keverékből, minden maximális hőterhelési értéken 3–3 próbatestet vizsgáltunk és azok maradó hajlító-húzó szilárdság értékeit átlagoltuk (2. táblázat). Ezt követően grafikonon ábrázoltuk a relatív maradó hajlító-húzó szilárdság értékeiket.

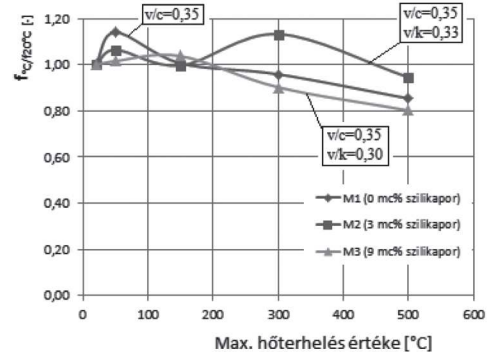
A mért hajlító-húzószilárdságok átlagértéke (N/mm ²)						
T (°C)	M1 (0 mc%)	M2 (3 mc%)	M3 (9 mc%)	M4 (0 mc%)	M5 (3 mc%)	M6 (9 mc%)
20	9,24	9,20	10,03	9,74	8,28	8,98
50	10,54	9,80	10,19	9,14	9,05	8,79
150	9,30	9,17	10,41	7,68	9,90	9,10
300	8,86	10,42	9,05	7,68	8,56	8,26
500	7,89	8,70	8,05	7,19	6,71	6,65

2. táblázat Beton maradó hajlító-húzószilárdság átlagértéke

Table 2. The residual flexural strength of the concrete specimens

Azonos, 0,35-ös víz-cement tényezőjű (M1; M2 és M3) keverékek összehasonlítása során megállapíthatjuk, hogy (10. ábra) a 3 mc% szilikaport tartalmazó (M2-es) keverék viselkedett 300°C feletti hőterhelés esetén a legkedvezőbben. 9 mc% szilikaport adagolás esetén (M3-as keverék) már a relatív maradó hajlító-húzószilárdság kismértékű csökkenését figyel-

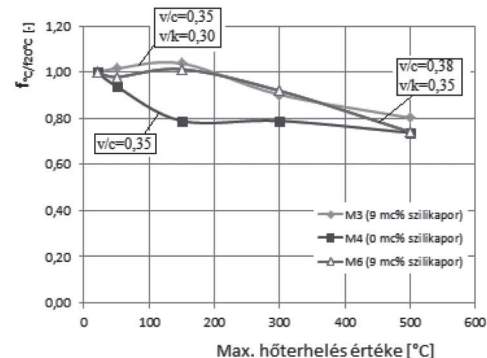
lettük meg – a szilikaport nem tartalmazó etalon (M1-es) keverék próbatesteinél mért értékekhez képest.



10. ábra Azonos v/c tényezőjű keverékek maradó relatív hajlító-húzószilárdság átlagértékei

Fig. 10. Relative residual flexural strength with constant w/c ratio

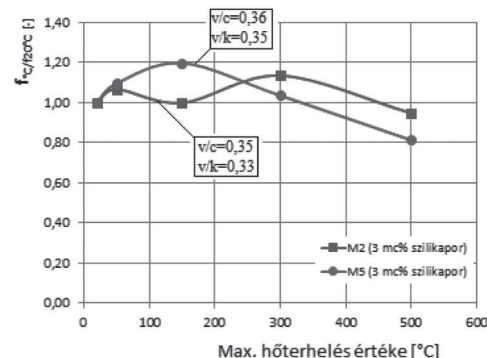
Azonos kötőanyag tartalmú (M3, M4, M6) keverékek összehasonlítása során megállapíthatjuk, hogy 9 mc% szilikaport adagolás hatására a relatív maradó hajlító-húzószilárdság nőtt. Az azonos (9 mc%) szilikaport tartalmú (M3-as és M6-os) keverékeknel számottevő eltérés nem volt megfigyelhető a hajlító-húzószilárdság tekintetében (11. ábra).



11. ábra Azonos kötőanyag tartalmú keverékek maradó relatív hajlító-húzószilárdság átlagértékei

Fig. 11. Relative residual flexural strength with constant binder content

Azonos szilikaport tartalmú (M2, M5) keverékek esetén a 300 °C, illetve az 500 °C hőterhelés utáni maradó hajlító-húzószilárdság szempontjából a kisebb v/c illetve v/k keverék (M2) bizonyult kedvezőbbnek (12. ábra).

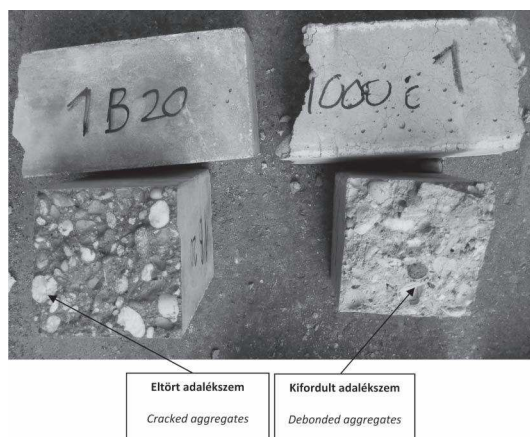


12. ábra Azonos szilikaport tartalmú keverékek maradó relatív hajlító-húzószilárdság átlagértékei

Fig. 12. Relative residual flexural strength with constant silica fume content

5.3. Szemrevételezés terhelés után

A törési felületeket vizsgálva látható, hogy 300 °C-os és annál kisebb hőterhelés esetén ridegtörés következik be. A nagyszilárdságú betonokra jellemzően az adalékszemek átrepedtek. 500 °C-os hőterhelésnél már vegyes törésképet kaptunk. Részben az adalékszemcsék törtek el, de többségében a kötőanyagból fordultak ki a szemcsék. 1000 °C-os hőterhelést követően már a cementpép szilárdsága nagymértékben lecsökkent. Így ekkor már a cementpépben következett be a tönkremenetel, és nem az adalékszemekben (13. ábra).



13. ábra Hőterhelés nélküli és 1000 °C-on hőterhelt próbatestek törési felülete a hajlító vizsgálat után

Fig. 13. Cracked surface of flexural strength specimens after failure without temperature loading and after temperature loading of 1000 °C

6. Megállapítások

Kísérleteink során a szilikaporról készített beton próbatestek tűzzel szembeni viselkedését vizsgáltuk.

A laboratóriumi vizsgálatok során a beton hőterhelés utáni maradó nyomószilárdsági, illetve maradó hajlító-húzószilárdsági értékeit határoztuk meg. Kísérleteink során a vizsgálati paraméterek a következők voltak: szilikapor tartalom (0 m%; 3 m%; 9 m%); cement tartalom (400 kg/m³; 436 kg/m³); víz-cement tényező (v/c = 0,35; 0,36; 0,38); víz-kötőanyag tényező (v/k = 0,35; 0,33; 0,30); hőterhelés maximális értéke (20 °C; 50 °C; 150 °C; 300 °C; 500 °C; 1000 °C).

A vizsgálataink alapján kijelenthetjük, hogy nem kedvező a relatív maradó nyomószilárdság szempontjából, ha a keverékhez – állandó cementtartalom mellett – a szilikapor tartalmat növeljük, miközben a v/c tényezőt változtatlanul hagyjuk. A relatív maradó hajlító-húzószilárdság szempontjából alacsony (20–150 °C-os) maximális hőterhelési értéknél még kedvezőtlennek bizonyult – az állandó cementtartalom és v/c tényező mellett – a szilikapor tartalom növelése. 150 °C-t meghaladó maximális hőterhelési érték esetén kedvező volt a keverékhez való 3 m% szilikapor adagolása.

A relatív maradó nyomószilárdság az azonos kötőanyag tartalmú, de különböző szilikapor tartalmú (M6 és M4) keverékek esetén közelítőleg azonosak voltak, míg a relatív maradó hajlító-húzószilárdságot kedvezően befolyásolta, ha a cement egy részét szilikaporról helyettesítettük. A vizsgálati eredmények tükrében elmondhatjuk, hogy 9 m% szilikapor tartalom alkalmazása esetén az alacsonyabb víztartalom növeli a kezdeti nyomószilárdságot, viszont csökkenti a beton hőterhelés utáni relatív maradó nyomószilárdságát. A 9 m% szilikapor tartalom mellett a víztartalom nem befolyásolja a relatív maradó hajlító-húzószilárdságot.

A beton próbatesteken végzett vizsgálatok alapján kijelenthetjük, hogy tűzállóság szempontjából kedvezőnek bizonyult a szilikapor adagolása a keverékhez, mivel a szilikapor tartalom növelése csökkentette a betonfelület réteges leválásának veszélyét.

7. Köszönetnyilvánítás

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Új tehetség-gondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben” c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1--2010-0009 program támogatja.

Felhasznált irodalom

- [1] Kausay, T.: Nagyszilárdságú beton. Beton 2009/9 (2009), pp. 14-17
- [2] Held, M.: Technologie und mechanische Eigenschaften des hochfesten Betons bis 125. – Darmstädter Massivbau-Seminar. Hochfester Beton. Darmstadt, 1991
- [3] http://www.ask.com/wiki/WZMH_Architects (letöltve: 2011. 03. 05)
- [4] Structural design of composite super-columns for the Taipei 101 tower: www.ncree.org (letöltve: 2011. 03. 05.)
- [5] http://hu.wikipedia.org/wiki/Taipei_101 (letöltve: 2011. 03. 05)
- [6] http://www.ita-hun.hu/palyazatok/pontokert/2.eloadas_20100603.pdf (letöltve: 2011. 03. 04.)
- [7] <http://silicafume.org/general-concrete.html> (letöltve 2011. 03. 05.)
- [8] Kausay, T. - Balázs, L. Gy. - Csányi, E. - Kocsányiné Kopecskó, K. - Balázs, Gy. - Józsa, Zs. - Borosnyói, A. - Nehme, S. G.: A betonkorrozio legújabb kutatási eredményei. (30876-003-ÉA/2005) tanulmány, Budapest, (2005. november 30.)
- [9] MSZ 4798-1 Beton: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfeleltetés, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon
- [10] <http://www.langlovagok.hu> (2010 aug. 21-én letöltött statisztikát feldolgozva)
- [11] Majorosné Lublóy, É.: Tűz hatása betonszerkezetek anyagaira (PhD értekezés), Budapest, (2008)
- [12] <http://www.katasztrofak.abbcenter.com/?id=101876&cim=1> (letöltve: 2011. 08. 24.)
- [13] Scheider, U.: Lebeda C. „Baulicher Brandschutz”, Kohlhammer GmbH, Stuttgart, ISBN 3-17-015266-1 W. (2000)

Ref:

Czoboly Olivér – Harman Béla – Lublóy Éva – Balázs L. György – Nehme Salem Georges: Szilikapor hatása A Beton tűzállóságára. Építőanyag, 64. évf. 1–2. szám (2012), 22–26. p.

INTERNATIONAL CONFERENCES

- **7th International Conference on “Microwave Materials and their Applications” – MMA 2012**
June 3–6, 2012, Taipei, Taiwan, Republic of China
<http://www2.phy.ntnu.edu.tw/MMA2012>

- **4th EuCheMS Chemistry Congress**
August 26–30, 2012, Prague, Czech Republic
<http://www.euchems-prague2012.cz>
- **23rd International Congress on Glass – ICG Prague 2013**
July 1–5, 2013, Prague, Czech Republic
<http://www.icg2013prague.cz>