

A *fib* MAGYAR TAGOZAT LAPJA

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF *fib*

9 771419 644000 20172



Dr. Balázs L. György – Dr. Lublós Éva –
 Dr. Kopecskó Katalin –
 Dr. Salem G. Nehme – Dr. Nemes Rita –
 Dr. Kausay Tibor – Dr. Józsa Zsuzsanna –
 Hlavička Viktor – Kakasy Gergely –
 Tóth Péter – Nyíri Szabolcs –
 Lizakovszky Géza – Molnár Tamás –
 Czirják János – Földes Tamás –
 Abdelmelek Nabil – Abed Mohammed –
 Alimrani Naser

TÚZ HATÁSAI A BETON SZERKEZETÉRE – Helyzetfelmérő jelentés

26

Halvax Katalin – Dr. Lublós Éva

SZÁLERŐSÍTÉSŰ BETO- NOK NYÍRÁSI TEHERBÍRÁS SZÁMÍTÁSÁRA JAVASOLT ÖSSZEFÜGGÉSEK VIZSGÁLATA

33

SAJTÓKÖZLEMÉNY - NVKP_16-1-2016-0019

38

SZEMÉLYI HÍREK

Dr. Farkas György 70. születésnapjára

Dr. Magyarai Béla 75. születésnapjára

39

2017/2

XIX. évfolyam, 2. szám



ÉMI-TÜV

Válassza a biztonságot
Teremtsen értéket

Az ÉMI-TÜV SÜD csapata

Műszaki szolgáltatásaival sikerré
kovácsolja munkáját a minőségügy
és a biztonságtechnika területén

Vizsgálat, ellenőrzés, tanúsítás, megfelelőség- értékelés és szakértői tevékenység az alábbi területeken:

- Felvonók, mozgólépcsők, színpadtechnikai berendezések
- Építő-, emelő- és anyagmozgatógépek
- Nyomástartó berendezések, kazánok, gázpalackok
- Hegesztési technológiák, hegesztők, hegesztőüzemek
- Magas- és mélyépítési létesítmények tartószerkezetei, épület- és szakipari szerkezetek
- Építési célú termékek
- Szórakoztatóipari és mutatónyos berendezések
- Játszóterei eszközök
- Fogyasztási termékek (vegyi anyagok, ruházati cikkek, kozmetikumok, élelmiszerek, építési termékek)
- Irányítási rendszerek, munkabiztonság

Szolgáltatásaink az építőipar területén:

- Meglévő építmények műszaki felülvizsgálata
- Épületdiagnosztika
- Meglévő tartószerkezetek átalakításának tervezése
- Szerkezetmegerősítések tervezése
- Új épületek tervezése a koncepciótervtől a gyártmánytervekig
- Tartószerkezeti, épületszerkezeti szakértés
- Kiegészítő laboratóriumi vizsgálatok
- MSZ EN szabványok szerinti felülvizsgálat
- Üzemi gyártásellenőrzés, termék tanúsítás

Főszerkesztő:

Dr. Balázs L. György

Szerkesztő:

Dr. Träger Herbert

Szerkesztőbizottság:

Dr. Bódi István

Dr. Csiki Béla

Dr. Erdélyi Attila

Dr. Farkas György

Kolozsi Gyula

Dr. Kopecskó Katalin

Dr. Kovács Károly

Lakatos Ervin

Dr. Lublói Éva

Madaras Botond

Mátyássy László

Polgár László

Dr. Sajtos István

Dr. Salem G. Nehme

Telekiné Királyföldi Antonia

Dr. Tóth László

Vörös József

Wellner Péter

Lektorai testület:

Dr. Dulácska Endre

Királyföldi Lajosné

Dr. Knébel Jenő

Dr. Lenkei Péter

Dr. Loykó Miklós

Dr. Madaras Gábor

Dr. Orosz Árpád

Dr. Szalai Kálmán

Dr. Tassi Géza

Dr. Tóth Ernő

(Kéziratok lektorálására más kollégák is felkérést kaphatnak.)

Alapító: a fib Magyar Tagozata

Kiadó: a fib Magyar Tagozata

(fib = Nemzetközi Betonszövetség)

Szerkesztőség: BME Építőanyagok és

Magasépítés Tanszék

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Tel: 463 4068 Fax: 463 3450

E-mail: fib@eik.bme.hu

WEB <http://www.fib.bme.hu>

Az internet verzió

technikai szerkesztője: Czoboly Olivér

Tervezőszerkesztő: Halmai Csaba

Nyomdai kivitelezés: Navigar Kft.

Egy példány ára: 1275 Ft

Előfizetési díj egy évre: 5100 Ft

Megjelenik negyedévenként

1000 példányban.

© a fib Magyar Tagozata

ISSN 1419-6441 online ISSN: 1586-0361

Hirdetések:

Külső borító: 220 000 Ft+áfa

belső borító: 180 000 Ft+áfa

A hirdetések felvétele:

Tel.: 463-4068, Fax: 463-3450

Címlapkép:

Dirham Tower, Abu Dhabi

Fotó: Balázs L. György

TARTALOMJEGYZÉK

- 26** DR. BALÁZS L. GYÖRGY – DR. LUBLÓY ÉVA –
DR. KOPECSKÓ KATALIN – DR. SALEM G. NEHME –
DR. NEMES RITA – DR. KAUSAY TIBOR –
DR. JÓZSA ZSUZSANNA – HLAVIČKA VIKTOR –
KAKASY GERGELY – TÓTH PÉTER – NYÍRI SZABOLCS –
LIZAKOVSKY GÉZA – MOLNÁR TAMÁS –
CZIRJÁK JÁNOS – FÖLDES TAMÁS –
ABDELMELEK NABIL – ABED MOHAMMED –
ALIMRANI NASER

TÚZ HATÁSAI A BETON SZERKEZETÉRE – Helyzetfelmérő jelentés

- 33** HALVAX KATALIN – DR. LUBLÓY ÉVA
**SZÁLERŐSÍTÉSŰ BETONOK NYÍRÁSI
TEHERBÍRÁS SZÁMÍTÁSÁRA JAVASOLT
ÖSSZEFÜGGÉSEK VIZSGÁLATA**

- 38 SAJTÓKÖZLEMÉNY - NVKP_16-1-2016-0019**

- 39 SZEMÉLYI HÍREK**
DR. FARKAS GYÖRGY 70. SZÜLETÉSNAPIJÁRA
DR. MAGYARI BÉLA 75. SZÜLETÉSNAPIJÁRA

A folyóirat támogatói:

Vasúti Hidak Alapítvány, Duna-Dráva Cement Kft., ÉMI Nonprofit Kft.,
A-Híd Zrt., MÁV Zrt., MSC Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft.,
Lábatlani Vasbetonipari Zrt., Pont-Terv Zrt., Swietelsky Építő Kft., Uvaterv Zrt.,
Mélyépterv Komplex Mérnöki Zrt., Hídtechnika Kft.,
Betonmix Mérnökiroda Kft., CAEC Kft., SW Umweltechnik Magyarország Kft.,
Union Plan Kft., DCB Mérnöki Iroda Kft.,
BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
BME Hidak és Szerkezetek Tanszék

TŰZ HATÁSAI A BETON SZERKEZETÉRE – Helyzetfelmérő jelentés

Dr. Balázs L. György – Dr. Lublóy Éva – Dr. Kopecskó Katalin – Dr. Salem G. Nehme – Dr. Nemes Rita – Dr. Kausay Tibor – Dr. Józsa Zsuzsanna – Hlavička Viktor – Kakasy Gergely – Tóth Péter – Nyíri Szabolcs – Lizakovszky Géza – Molnár Tamás – Czirják János – Földes Tamás – Abdelmelek Nabil – Abed Mohammed – Alimrani Naser

Az utóbbi évtizedekben számos épületkatasztrófa igazolta, hogy a tűzterherre való méretezés kérdései továbbra is aktuálisak. A különböző hőmérsékleti tartományokban a betonban lejátszódó legfontosabb fizikai és kémiai folyamatok jelentősen befolyásolják a beton magas hőmérséklet hatására kialakuló anyagtulajdonságait. A beton tűzterhelés hatására bekövetkező tönkremenetele alapvetően két okra vezethető vissza a beton alkotóelemeinek kémiai átalakulására, illetve a betonfelület réteges leválására. A beton szilárdsági tulajdonságainak változása magas hőmérsékleten a következő paraméterektől függ: a cement típusától, az adalékanyag típusától, a víz-cement tényezőtől, az adalékanyag-cement tényezőtől, a hőterhelés módjától és a lehűtés módjától. Magas hőmérséklet hatására a beton szerkezete megváltozik, jelen cikkben ezen változásokat ismertetjük.

Kulcsszavak: beton, magas hőmérséklet, tűz, robbanásszerű leválás

1. BEVEZETÉS

A tűz, illetve a magas hőmérséklet az építőanyagokra mindenképpen extrém terhelést jelent. Tűz hatására az építőanyagok szilárdsági, illetve merevségi jellemzői különböző mértékben változnak. Jelen cikk keretein belül a beton anyagszerkezeti, illetve szilárdsági jellemzőinek tűz hatására bekövetkező változását ismertetjük. A cikk célja, hogy a mérnökök számára érthetővé tegye a tűz hatására bekövetkező anyagszerkezeti változásokat, és következményeit (szilárdság, hőtágulás, törési összenyomódás, lehajlás).

2. A BETON VISELKEDÉSE TŰZ HATÁSÁRA

A hőmérséklet emelkedésével a beton szilárdsági jellemzői romlanak. A beton a lehűlés 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. Az összegződő alakváltozások mértéke olyan nagy lehet, hogy a közvetlenül tűzterhenek ki nem tett szerkezeti elemek is károsodhatnak.

A vasbeton szerkezetek tönkremenetele alapvetően a következő két okra vezethető vissza (Balázs, Lublóy, 2009):

- a beton alkotóelemeinek kémiai és fizikai átalakulására,
- a betonfelület réteges leválására.

2.1 A beton alkotóelemeinek kémiai és fizikai átalakulása

A betonban a hőmérséklet hatására lejátszódó kémiai folyamatok alakulását termoanalitikai módszerekkel (TG/DTG/DTA) vizsgálhatjuk. A TG (termogravimetriás) és a DTG (derivált termogravimetriás) görbék segítségével a tömegváltozással járó átalakulások mennyiségi elemzése végezhető. A DTA (differenciál termoanalízis) görbékkel nyomon követhetjük a hőmérséklet növekedésének hatására

1. ábra: A vasbetonszerkezetek tönkremenetelének okai



a) a beton változása a hőmérséklet hatására



b) a betonfelület leválása

bekövetkező exoterm (hőtermelő) vagy endoterm (hőelnyelő) folyamatok alakulását (Thielen, 1994). A betonban bekövetkező jelenségek a hőmérséklet növekedése során:

100 °C körül a makropórusokból távozó víz tömegvesztéséget okoz.

50 °C és 110 °C között következik be az ettringit ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$) bomlása (Hinrichsmeyer, 1987).

100 °C és 200 °C között a gipsz kétlépcsős bomlása következik be.

200 °C körül további dehidratációs folyamatok zajlanak le, amelyek a tömegvesztés újabb, kismértékű növekedéséhez vezetnek. A különböző kiinduló nedvességtartalmú próbatestek tömegvesztése eltérő lesz egészen addig, amíg a fizikailag és kémiailag kötött víz el nem távozik.

300 °C felett már a kiinduló nedvességtartalomtól függő további tömegvesztés nem érzékelhető.

450 °C és 550 °C között a nem karbonátosodott portlandit (kalcium-hidroxid) bomlása következik be ($\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}\uparrow$). Ez a folyamat endoterm (hőelnyelő) csúcsot, és ezzel egyidejűleg újabb tömegvesztéséget okoz (Hinrichsmeyer, 1987).

573 °C-on a szokványos betonok esetén a kvarc α módosulatból β módosulatba való kristályátalakulása okoz kis intenzitású endoterm csúcsot. A kvarc ezen átalakulása 5,7%-os térfogat-növekedéssel jár (Hoj, 2005), ami a beton lényeges károsodását eredményezheti.

700 °C-on a CSH (kalcium-szilikát-hidrát) vegyületek vízleadással bomlanak, ami szintén térfogatnövekedéssel és további szilárdságcsökkenéssel jár (Hinrichsmeyer, 1987).

A porozitás változása a hőmérséklet hatására:

150 °C-ig a cementkő porozitása, valamint az adalékanyag és a cementkő közötti kontakt zóna porozitása kvarckavics adalékanyagú betonoknál nő.

150 °C felett a kontakt zónában repedések keletkezhetnek, amit az adalékanyag és cementkő különböző hőtágulásával magyarázhatunk.

450 °C-ig a cementkő struktúrája stabil, de mikrorepedések már ezen hőmérséklet alatt is keletkezhetnek.

450–550 °C között a portlandit bomlása miatt a porozitás megnő.

650 °C-ig a cementkő felépítése nem változik.

650 °C felett a CSH vegyületek bomlása megkezdődik, és a kapillárisok száma megnő.

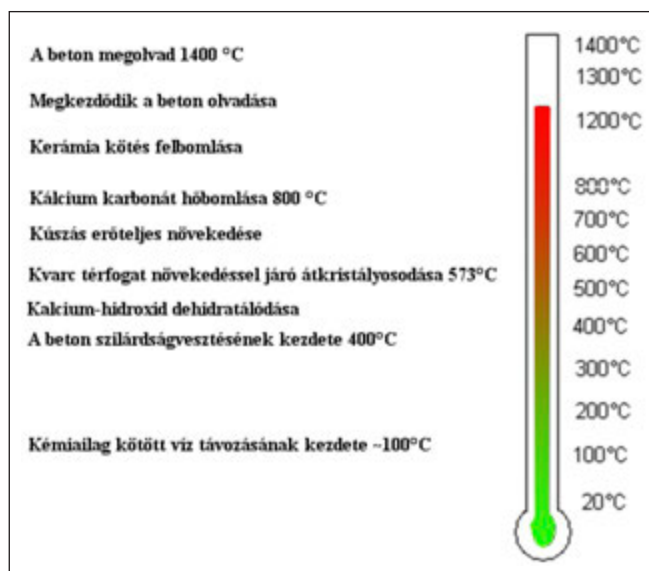
750 °C felett a pórusok átmérője nagymértékben növekszik. A különböző mikrorepedések mérete függ az adalékanyag legnagyobb szemmagyságától.

A hőmérséklet emelkedésének hatására a betonban bekövetkező fizikai és kémia változásokat a 2. ábrán adjuk meg.

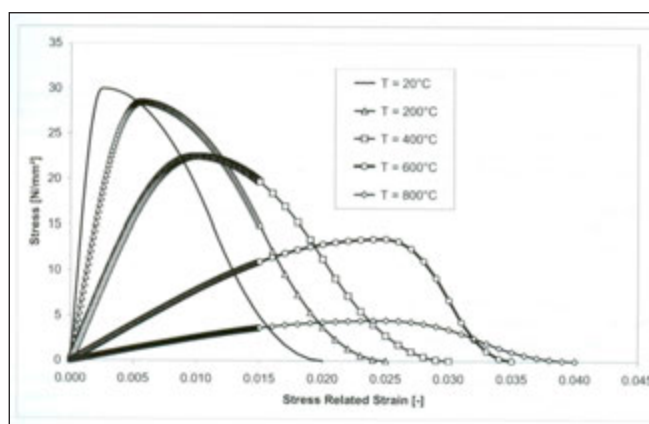
A beton σ - ϵ diagramjának változását a hőmérséklet függvényében a 3. ábrán mutatjuk be. A görbe csúcspontja eltolódik, ami azt jelenti, hogy a szilárdság csökken, de a törési összenyomódás nő.

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

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



2. ábra: Fizikai és kémia változások a beton melegedése során (Hoj, 2005)



3. ábra: Különböző hőmérsékletű betonok σ - ϵ diagramja (fib, 2007)

2.2 Betonfelület réteges leválása

A vasbeton szerkezetekben a betonfelület réteges leválása a statikai rendszer átalakulását eredményezheti (4. ábra). A betonfelület réteges leválásának veszélyét a megfelelő szerkezeti kialakítással és a megfelelő anyagválasztással lényegesen csökkenthetjük. Itt megjegyezzük, hogy a méretezési eljárások nem használhatóak, ha a betonfelület réteges leválása bekövetkezik.

A betonfelület réteges leválását a következő tényezők befolyásolják:

- külső tényezők: a tűz jellege, a szerkezetre ható külső terhek nagysága;
- geometriai jellemzők: a szerkezet geometriai adatai, a betonfedés nagysága, a vasbetétek száma és elhelyezkedése;
- a beton összetétele: az adalékanyag mérete és típusa, a cement és a kiegészítő anyag típusa, a pórusok száma, az esetleges polipropilén szál, illetve acélszál adagolás mértéke valamint a beton nedvességtartalma, áteresztőképessége és szilárdsága (fib, 2007).

A betonban ébredő feszültség függvényében változik a felület réteges leválásának veszélye. A nyomófeszültségek korlátozásával késleltethető vagy megakadályozható a betonfelület réteges leválása. Fontos, hogy a betonfelületek leválását elkerüljük. A betonfelületek leválásának az esélyét műanyag (polipropilén) vagy acélszálak adagolásával csökkenthetjük (fib, 2007). Chen kutatásai alapján az acélszál adagolás a 400 °C és 600 °C között keletkező repedések számát csökkentette, ezáltal a betonfelületek leválásának az esélyét



4. ábra: A betonfelület leválása egy gerendán

is csökkentette (Chen et al, 2014). Számos kísérlet igazolta, hogy a betonfelület leválásának veszélye rövid kis átmérőjű polipropilén műanyagszálak alkalmazása esetén lényegesen kisebb, mivel a szálváz kiégése során létrejövő pórusszerkezet a szétrepedés veszélyét csökkenti (Dorn, 1993).

Mörth et al (2005) alagütelemekekkel (hosszúság 11 m, magasság 2 m) végzett kísérletei igazolták, hogy a polipropilén szálakkal erősített betonok felületének réteges leválása a tűz hatására (1200 °C-os hőterhelés esetén) nem következett be.

Hasonló eredményre jutott Ausztriában egy másik kutatócsoport is (Waltner et al, 2005), amely nyomott lemezeket vizsgált. A hagyományos betonnál két órás tűzterhelés hatására következett be a betonfelület réteges leválása, a polipropilén száladagolással készített lemez esetében viszont ez nem volt észlelhető.

Lényeges kérdés azonban, hogy – mindezen előnyös tulajdonságok mellett – a szálerősítésű beton nyomószilárdságának csökkenése se legyen drasztikus a szokványos betonhoz képest. Horiguchi (2005) a szálerősített betonok nyomószilárdságát vizsgálta magas hőmérsékleti tartományokban. A nyomószilárdságot 100 mm átmérőjű, 200 mm magas hengereken szobahőmérsékletre visszahűlve vizsgálta. A felfűtés sebessége 10°C/perc volt, a próbatesteket 1 órán át tartotta az adott hőmérsékleten. Az alkalmazott beton víz-cement tényezője 0,3 volt (583 kg/m³-es cementadagolással). Az első beton szálerősítés nélkül, készült, a második 0,5 V%-os polipropilén száladagolással, a harmadik 0,5 V%-os acélszál adagolással, a negyedik 0,25 V%-os polipropilén és 0,25 V%-os acélszál adagolással készült. A nyomószilárdság értékei a szálerősítés nélküli és a szálerősítésű betonok esetén hasonló tendenciát mutatnak. A szálerősítés nélküli és a műanyag száladagolású betonok esetén jóval alacsonyabb értékek figyelhetők meg a 200°C-os, illetve a 400°C-os hőterhelést követően, mint az acélszál, illetve a hibrid (0,25 V%-os polipropilén és 0,25 V%-os acél) száladagolás esetén. A fokozott szilárdságcsökkenést a műanyagszálak alkalmazása esetén műanyagszál-váz kiégése, valamint a kiégés során megnövekedett porozitás okozhatja.

2.3 Vasbetonszerkezetek viselkedése tűz hatására

Tűz hatására a vasbeton, illetve a feszített vasbeton szerkezetek számos változáson mennek keresztül, amelynek hatása lesz a szerkezet viselkedésére, teherbírására. A szerkezet hőmérsékletének emelkedése és az utána következő lehűlés során a következő változások vezethetnek a szerkezet

teherbírásának csökkenéséhez:

- alakváltozás a hőmérséklet illetve a terhelés hatására;
- a keresztmetszetben bekövetkező hőmérsékletváltozás;
- a levegő hőmérsékletének nemlineáris emelkedése (amelyet a tűzgörbékkel modellezünk);
- a hőterhelésből származó repedések méretének változása (tágasság és hosszúság);
- a cement és az adalékanyag eltérő hőtágulása;
- a beton és az acél szilárdságának változása;
- a beton és a betonacél eltérő hőtágulása.

A hőtágulás, valamint a betonacél és a beton közötti tapadás hőmérséklet hatására bekövetkező változása miatt a szerkezeti részek kialakítását körültekintően kell elvégezni.

3. A BETON TŰZTERHELÉS ALATTI VISELKEDÉSÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐINEK HATÁSA

3.1 A beton szilárdsági értékeinek alakulása hőterhelés után a cement típusától függően

Schneider (1986) kísérleti eredményei nem mutattak jelentős eltérést a portlandcement és a kohósalak cement felhasználásával készült betonok hőterhelés utáni a nyomószilárdságára vonatkozóan.

Későbbi kutatások azonban nagyobb jelentőséget tulajdonítottak a cement összetételének a beton maradó nyomószilárdsága szempontjából, hiszen a beton szilárdságcsökkenése függetlenül az adalékanyagtól bekövetkezik, és a kémiai folyamatok többsége a cementkőben játszódik le. Az adalékanyagot összekötő cement mátrix tulajdonságai tehát jelentősen befolyásolhatják a beton viselkedésének változását a hőmérséklet emelkedésének hatására (Balázs, Lublóy, 2009).

Lényeges kérdés, hogy a cement típusa, hogyan befolyásolja a beton magas hőmérséklet utáni viselkedését. Ezért kísérleteket végeztünk, hogy a cementtípus hatását a magas hőmérsékleten való viselkedését megismerjük. Kísérleteink során a kvarckavics adalékanyagú beton hőterhelés hatására bekövetkező maradó nyomószilárdságának változását négy fajta cement felhasználásával:

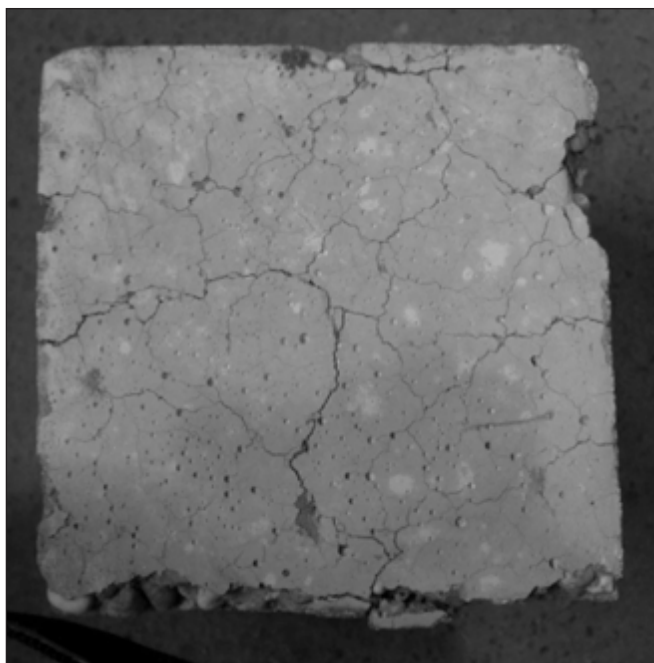
- portlandcement CEM I 42,5 N;
- kohósalak-portlandcement, CEM II/A-S 42,5 N;
- kohósalak cement, CEM III/A 32,5 N, CEM III/B 32,5

N-S) vizsgáltuk.

Először a próbatesteken keletkező felületi repedéseket elemeztük, mivel a próbatesteken a hőterhelés után kialakult felületi repedések mértéke előzetes jelzést ad a maradó nyomószilárdság alakulásáról. A próbatestek szemrevételezéséből a következő megállapításokat tettük:

- 800 °C-os hőterhelés következtében a *portlandcementtel* készült kvarckavics adalékanyagú beton felületén sok repedés keletkezett (5. ábra).
- 800 °C-os hőterhelést követően a *kohósalak cementtel* készült kvarckavics adalékanyagú beton felületén kevés hajszálrepedés keletkezett (6. ábra).
- A *kohósalak cement tartalmú betonoknál* a hőterhelés kevesebb repedést eredményezett, mint a tiszta portlandcement felhasználásával készült betonoknál.

A kvarckavics adalékanyaggal készült beton maradó nyomószilárdságát a cement típus és a hőterhelés maximális



5. ábra: CEM I 42,5 N jelű cementtel készült beton repedésképe a 800°C-os hőterhelést követően

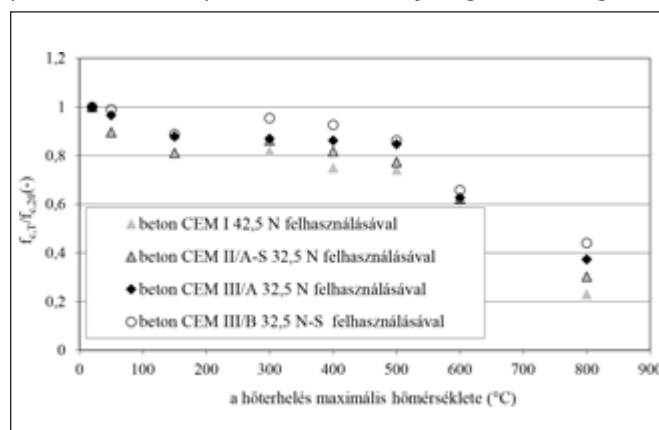


6. ábra: CEM III/A 32,5 N jelű cementtel készült beton repedésképe a 800°C-os hőterhelést követően

hőmérsékletének függvényében 7. ábrán adtuk meg, amelyből a következő megállapításokat tettük:

- A hőterhelés hatására a beton maradó nyomószilárdsága 150 °C-os hőterhelésig csökken, majd 300 °C körül egy átmeneti szilárdság-növekedést figyelhetünk meg. 300 °C-nál magasabb hőterhelés esetén a maradó nyomószilárdság újból csökken.
- A CEM II/A-S 42,5 N, CEM III/A 32,5 N és CEM III/B 32,5 N-S típusú cementből készült kohósalak tartalmú beton *relatív, maradó nyomószilárdsága* a hőterhelés hatására nagyobb, mint CEM I 42,5 N cementtel (tisztá portlandcement) készült betoné.
- A cement kohósalak tartalmának növekedésével a beton hőterhelés utáni relatív, maradó nyomószilárdsága nő.
- A 800 °C-os hőterhelés után a CEM I 52,5 N-es portlandcementből készült beton maradó relatív nyomószilárdsága 23%, a CEM III/B 32,5 N-S-es kohósalak cementből készült beton *relatív, maradó nyomószilárdsága* 44% volt, azaz a kohósalak cement tartalmú beton esetén kétszerese a portlandcement betonénak.

7. ábra: A beton relatív, maradó nyomószilárdsága a cementtípus és a hőterhelés maximális hőmérséklete függvényében (28 napos korú próbatestek, minden pont 3 mérési eredmény átlagának felel meg)



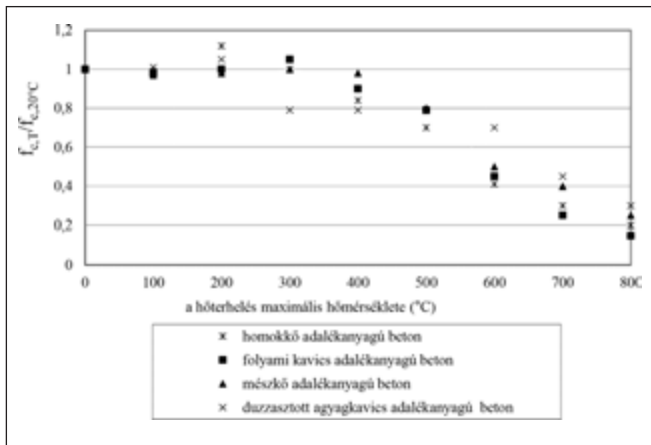
3.2 A beton szilárdsági értékeinek alakulása hőterhelés után az adalékanyag típusától függően

A beton szilárdsági jellemzőinek magas hőmérséklet hatására bekövetkező változását az adalékanyag típusa is meghatározza (Schneider, 1986; Khoury et al, 2001). Schneider (1986) szerint minden adalékanyag típushoz jellegzetesen más viselkedés tartozik.

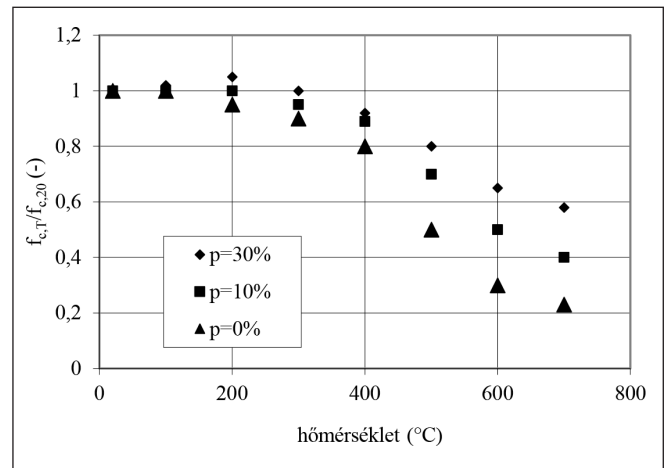
A *nyomószilárdság* vizsgálatát ebben a kísérletsorozatban szobahőmérsékletre visszahűlt állapotban végezték, mivel a melegen vizsgált próbatestek maradó nyomószilárdsága nagyobb, mint a szobahőmérsékleten vizsgáltaké (Schneider, 1986). A nyomószilárdság - hőmérséklet összefüggés diagramján (8. ábra) 200 °C-ig nem olvasható le egyértelmű tendencia. A kvarc és a mészkő adalékanyagú betonok esetén csekély a hőmérséklet növekedésével kezdeti szilárdságcsökkenést figyelhetünk meg, amit átmeneti szilárdságnövekedés követ. Az átmeneti szilárdságcsökkenésre magyarázatot nyújthat a cementkő és az adalékanyag különböző hőtágulási együtthatója (Hinrichsmeyer, 1987). A cementkő és az adalékanyag hőtágulása miatt az adalékanyag szemcsék és a cementkő határfelületén mikrorepedések keletkeznek. A hőmérséklet emelkedése során az adalékanyag növekvő hőtágulása miatt a repedéstágasság csökken.

400 °C-ig a nyomószilárdság értékei csökkenő tendenciát mutatnak, a fellépő szilárdságcsökkenést a cement repedezésével magyarázhatjuk. 400 °C felett a különböző adalékanyagú betonok szilárdsági értékeinek alakulását külön kell tárgyalni, mivel lényegesen eltérő tendenciát mutatnak. A kvarckavics adalékanyagú betonok szilárdságcsökkenése 550 °C-ig megközelítőleg 40%, a duzzasztott agyagkavics esetén ez a szilárdságcsökkenés jóval kisebb, mintegy 20%. A szilárdságcsökkenést 450-550 °C között a portlandit bomlása, valamint az adalékanyag és a cementkő eltérő hőtágulása okozza.

700 °C fölött az adalékanyagtól függetlenül minden beton esetén további jelentős szilárdságcsökkenést figyelhetünk meg, amit a CSH (kálcium szilikát hidrát) vegyületek átalakulása okoz.



8. ábra: A beton relatív, maradó nyomószilárdságának változása magas hőmérsékleten az adalékanyag típusától függően (Schneider, 1986)



10. ábra: A beton nyomószilárdságának változása a hőmérséklet és az előteher nagyságának függvényében (Schneider, Lebeda, 2000)

3.3 A beton szilárdsági értékeinek alakulása a víz-cement tényezőtől és az adalékanyag-cement tényezőtől függően

A beton magas hőmérsékleten bekövetkező, illetve hőterhelés utáni viselkedését nem csak alkotóelemei, hanem azok mennyiségi aránya is jelentősen befolyásolja.

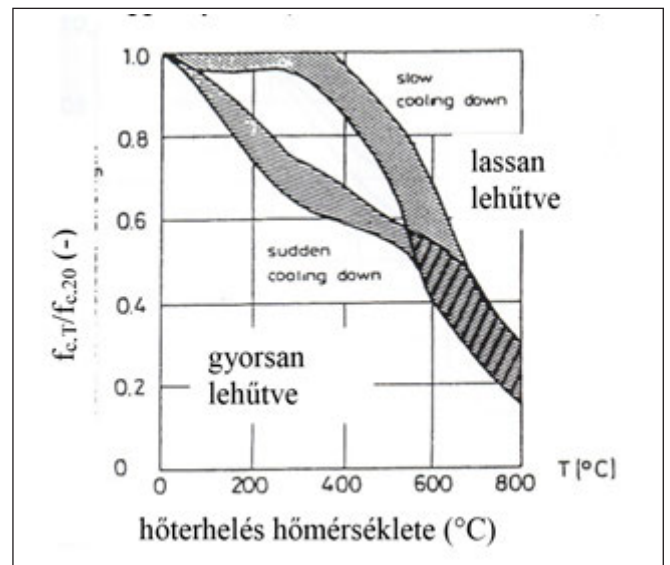
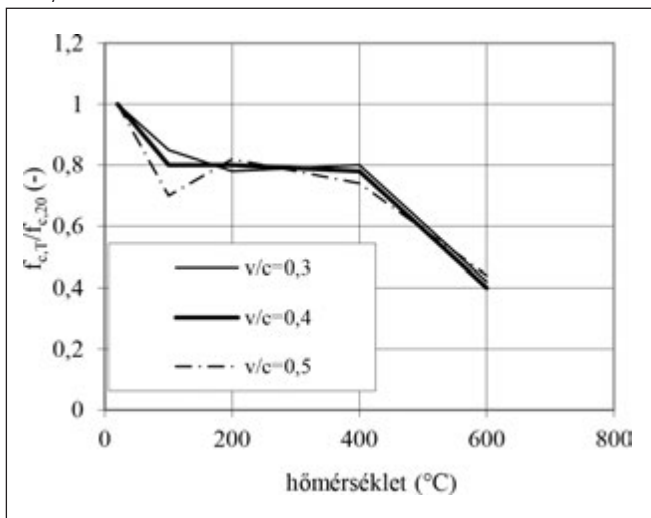
Az adalékanyag-cement tényező hatása 400 °C-ig nem jelentős, viszont minél nagyobb a beton cementtartalma, annál jelentősebb mértékben csökken 400°C felett a maradó nyomószilárdság (Schneider, Lebeda 2000).

A víz-cement tényező jelentős hatással van a beton nyomószilárdságának magas hőmérsékleten való alakulására (9. ábra). Megfigyelhető, hogy minél nagyobb a víz-cement tényező, annál kedvezőtlenebb viselkedést figyelhetünk mintegy 100°C-ig. Ezt a szabad víz távozásával magyarázhatjuk.

3.4 A beton szilárdsági értékeinek alakulása a hőterhelés módjától függően

Lényeges és kedvező változás következik be, ha a beton a felmelegedés során terhelésnek is ki van téve. A beton szilárdsági értékei ebben az esetben az alacsonyabb

9. ábra: A beton relatív maradó nyomószilárdságának változása magas hőmérsékleten a víz-cement tényező függvényében (Hager, Pimienta, 2004)



11. ábra: A betonszilárdságának alakulása hőterhelés után a lehűtési módjától függően (CEB Bulletin 208, 1991)

hőmérsékleti tartományokban (50 °C - 200 °C) nem csökkennek, sőt növekedhetnek. A beton nyomószilárdságának változása a terhelés és a hőmérséklet függvényében a 10. ábrán látható. A 9. ábrán látható esetben a próbatesteket a melegítés során a töréshez tartozó erő 0, 10 és 30%-kal terhelték (p=0%, p=10%, p=30% hőterhelés előtti előteherhen kívül) előkísérletként. A hőterhelés után törésig terhelték. Jól látható, hogy minél nagyobb előteherhet adtak a próbatestekre a hőterhelés során, annál kisebb volt a szilárdságcsökkenés mértéke (Schneider, Lebeda, 2000).

A melegen vizsgált próbatestek szilárdsága nagyobb, mint a lehült állapotban vizsgáltaké, amit a lehülés során a betonban keletkező repedésekkel és feszültségekkel magyarázhatunk (Schneider, 1986). A lehülés során a lehülés sebessége sem közömbös a maradó nyomószilárdság szempontjából (11. ábra), gyorsabb lehülés vagy lehűtés esetén a szilárdságcsökkenés mértéke nagyobb. Fehérvári (2009) kutatási eredményei a hűtési sebességből adódó különbséget kisebbnek mutatták.

4. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A tűz, illetve a magas hőmérséklet az építőanyagokra mindenképpen extrém terhelést jelent. Jelen cikk keretein belül a beton anyagszerkezeti, illetve szilárdsági jellemzőinek tűz hatására bekövetkező változását ismertettük. A cikk célja,

hogy a mérnökök számára érthetővé tegye, hogy milyen anyagszerkezeti változások következnek a betonban a tűz, illetve a magas hőmérséklet hatására, és ennek milyen hatása van a vasbetonszerkezetek tűz alatti viselkedésére.

A hőmérséklet emelkedésével a beton szilárdsági jellemzői romlanak. A beton a lehűlés 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. Az összegződő alakváltozások mértéke olyan nagy lehet, hogy a közvetlenül tűzterhelnek ki nem tett szerkezeti elemek is károsodhatnak.

A vasbeton szerkezetek tönkremenetele alapvetően a következő két okra vezethető vissza (Balázs, Lublóy, 2009):

- a beton alkotóelemeinek kémiai és fizikai átalakulására,
- a betonfelület réteges leválására.

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.

A szilárdsági tulajdonságok romlása mellett a betonfelület réteges leválása is bekövetkezhet, ami a statikai rendszer átalakulását eredményezheti. A betonfelület réteges leválásának veszélyét a megfelelő szerkezeti kialakítással és a megfelelő anyagválasztással lényegesen csökkenthetjük. Itt megjegyezzük, hogy az Eurocode-ban megadott méretezési eljárások nem használhatóak, ha a betonfelület réteges leválása bekövetkezik.

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.

6. HIVATKOZÁSOK

- Balázs L. Gy., Lublóy É. (2009), "Magas hőmérséklet hatása a vasbeton szerkezetek anyagaira", VASBETONÉPÍTÉS 2009/2, pp. 48-54.
- CEB Bulletin D'Information Nr 208: Fire design of concrete structures. 1991 Lausanne
- Chen, G. M., He, Y. H., Yang, H., Chen, J. F., Guo Y. C. (2014), „Comp-ressive behavior of steel fiber reinforced recycled aggregate concrete after exposure to elevated temperatures”, *Constr. Build. Mater.*, 71, pp. 1–15. 2014. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.08.012
- Dorn, T. (1993), „Berechnung des Tragverhaltens brandbeanspruchter Tragwerke in Verbundbauweise unter besonderer Berücksichtigung der Trager-Stützen Anschlüsse”. Heft 99, Braunschweig
- Fehérvári, S. (2009): „Beton összetevők hatása az alagútfalazatok hőtürése”, Doktori értekezés, BME
- fib* bulletin 38, (2007): „Fire design of concrete structures- materials, structures and modelling”, Lausanne, ISBN: 978-2-88394-078-9
- Hager, I., Pimienta, P. (2004): „Mechanical properties of HPC at high temperatures”, *Proceedings for Fire Design of Concrete Structures: What now?, What next?*, edited by: P.G., Gambarova, R., Felicetti, A., Meda, P., Riva, December 2-3, 2004
- Hinrichsmeyer, K. (1987): Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton, Heft 74 IBMB, Braunschweig
- Høj, N., P. (2005): Fire Design of Concrete Structures, Proceedings of *fib* Symposium on Keep Concrete Attractive, (edited by Balázs, G.L., Borosnyói, A.) 23-25 May 2005 Budapest, pp.: 1097-1105.
- Horiguchi, T. (2005), "Combination of Synthetic and Steel Fibres Reinforcement for Fire Resistance of High Strength Concrete",

- Proceedings of Central European Congress on Concrete Engineering (CCC2015)*, 8-9 Sept. 2005 (Ed.: Pauser, M.), Graz, pp. 59-64.
- Kordina, K (1997), „Über das Brandverhalten punktgestützter Stahlbetonbal-kaen“, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 479, Beuth Verlag GmbH, Berlin, ISSN 0171-7197
- Khoury, G. A., et al. (2001), "Fire Design of Concrete Materials structures and modelling", *Proceeding of the 1st fib Congress*, Osaka, Japan, Oct. 2001
- Mörth, W., Haberland Ch., Horvath J., Mayer A. (2005), „Behaviour of Optimized Tunnel Concrete with Special Aggregates at High Temperature”, *Proceedings of Central European Congress on Concrete Engineering (CCC2015)* 8.-9. Sept. 2005, Graz, pp. 41-50.
- Schneider, U. (1986), „Properties of Materials at High Temperatures of Concrete”, *RILEM Publ.*, 2nd Edition, Gesamthochschule Kassel, Universität Kassel
- Schneider, U., Lebeda, C. (2005), „Baulicher Brandschutz” W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, ISBN 3-17-015266-1
- Walter, R., Kari H., Kutslerle W., Lindlbauer W. (2005), „Analysis of the Load-bearing Capacity of Fibre Reinforced Concrete During Fire”, *Proceedings of Central European Congress on Concrete Engineering (CCC2015)*, 8.-9. Sept. 2005 Graz, pp. 54-59.

Dr. Balázs L. György (1958) okl. építőmérnök, mérnöki matematikai szakmérnök PhD, Dr. habil., egyetemi tanár, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék vezetője. MTA műszaki tud. kandidátusa. Fő kutatási területei: beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek (anyagai, laboratóriumi vizsgálata és modellezése), roncsolásmentes vizsgálatok. Speciális betonok és betétek: szálerősítésű betonok (FRC), nem acélanyagú (FRP) betétek, megerősítések anyagai és módjai, HPC, UHPC, LWC. Tűzállóságra való tervezés, tűzállóság fokozása. Fagyállóság fokozása. Kémiai ellenállóképesség fokozása. Tartósság. Használati élettartam. Fenntartható építés. Erőátadódás betonban, vasbeton tartók repedezettségi állapota. Fáradás. Lökés szerű terhelés. Nukleáris létesítmények. A *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) elnöke (2011-2012), jelenleg tiszteletbeli elnöke. A *fib* Magyar Tagozat elnöke. Az Int. PhD Symp. in Civil Engineering alapítója. A *fib* Com 9 „Dissemination of knowledge” elnöke.

Dr. Lublóy Éva (1976) okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar 2001), docens a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén (2008). Fő érdeklődési területei: vasbetonszerkezetek viselkedése tűz hatására, tűzkárok mérnöki tanulságai. A *fib* Magyar Tagozat tagja.

Dr. Kopeckó Katalin, okl. vegyész-mérnök (BME, Vegyész-mérnöki Kar, 1990), okl. betontechnológus szakmérnök (2004), PhD (2006), egyetemi docens a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszékén. Fő érdeklődési területei: építőanyagok tartóssága, anyagvizsgálat és fázisátalakulások elemzése röntgendiffrakcióval és termoanalitikával. A *fib* Magyar Tagozat, valamint az MSZT/MB 102 "Cement és mész" Nemzeti szabványosító műszaki bizottság tagja.

Dr. Nehme Salem Georges (1963) okl. építőmérnök, PhD, egyetemi docens, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék oktatója. Fő érdeklődési területei: a beton porozitása, a betonok és öntömörödő betonok tartósságának összefüggése a porozitással, az öntömörödő betonok és acélszálalás öntömörödő betonok alkalmazása a beton és vasbeton megerősítésében, az öntömörödő betonok tömegbetonként történő alkalmazási problémáinak megszüntetése. A Magyar Mérnöki Kamara (T1-01-9159), a *fib* Magyar Tagozat és a Szilikátipari Tudományos Egyesület tagja.

Dr. Nemes Rita (1978) okl. építőmérnök, betontechnológiai szakmérnök, PhD, egyetemi docens a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén. Fő érdeklődési területei: roncsolásmentes betonvizsgálatok, hulladék alapú adalékanyagok és kiegészítő anyagok alkalmazása betonban, betonacél tapadás speciális betonokban, könnyűbetonok, tartósság. A *fib* Magyar Tagozatának és a Szilikátipari Tudományos Egyesületnek tagja.

Dr. Kausay Tibor (1934) okl. építőmérnök (1961), vasbetonépítési szakmérnök (1967), egyetemi doktor (1969), a műszaki tudomány kandidátusa (1978), Ph.D. (1997), címzetes egyetemi docens (1985), címzetes egyetemi tanár a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén (2003), a *fib* Magyar Tagozat tagja (2000), az MTA gróf Lónyay Menyhért emlékérmese (2003), a Palotás László-díj birtokosa (2015). Tevékenysége a betontechnológiai és a kő- és kavicsipari kutatásra, fejlesztésre, szakértésre, oktatásra, szabványosításra terjed ki. Publikációinak száma mintegy 220.3

Dr. Józsa Zsuzsanna (1950) PhD, címzetes egyetemi tanár a BME-n, építészmérnök, épületrekonstrukciós szakmérnök. Főbb kutatási területei: könnyűbeton, építőanyagok tönkremenetele és védelme, szerkezetek hő- és nedvességttechnikai jellemzői, környezetkímélő építés anyagai.

Hlavička Viktor (1987) okl. szerkezet-építőmérnök (MSc), betontechnológus, tűvédelmi tervezési szakmérnök, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék doktorjelöltje. Fő érdeklődési területei: rögzítéstechnika, mechanikus és ragasztott csapok betonokban való viselkedése és végeselemes modellezése, tűzkárosult szerkezetek és szerkezeti anyagok mérnöki tanulságai. A *fib* Magyar Tagozat tagja.

Kakasy Gergely László (1979) okl. építészmérnök (SZIE-YMMF, 2006), okl. tűvédelmi tervező szakmérnök (BME, 2015), az ÉMI Nonprofit Kft. Tűzvédelmi Vizsgálati Egység vezetője. Fő szakterületei: tűzállósági határérték és homlokzati tűzterjedési határérték vizsgálatok.

Tóth Péter László (1971) okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar 1995), az ÉMI Nonprofit Kft. mb. műszaki igazgatója. Fő érdeklődési területek: Épületfizika és épületszerkezetek, homlokzati tűzterjedés. A CIB vezetőségi tagja.

Nyíri Szabolcs (1977) okl. építőmérnök, a MAÚT (Magyar Út- és Vasúti Társaság) elnöke, építőanyag ipari szakértő. Szakterületei: anyagok és termékek vizsgálatai, minősítése és projektek minőségbiztosítása.

Lizakovszky Géza SW Umwelttechnik Magyarország Építőelemgyár Kft. minőségirányítási igazgató 2003-ban végzett a Miskolci Egyetem gépészmérnöki karán, majd 2008-ban szerzett mérnök-közgazdász diplomát. 2004-től áll az SW Umwelttechnik Magyarország Kft.-nél, illetve jogelődjeinél alkalmazásban. 2015 végén, elődje visszavonulását követően a menedzsment megbízta a cég minőségirányítási igazgató feladatainak ellátásával. Közvetlenül két labor, 3 gyáregység minőségi- és környezetvédelmi és fejlesztési kérdési tartoznak hozzá, közvetetten pedig több mint 200 saját munkatárson, valamint alvállalkozókon keresztül Magyarország egyik piacvezető beton építőelemgyártó cég termékeinek megfelelőségért felelős.

Molnár Tamás (1987), okl. építészmérnök (BME) 2011, okl. betontechnológus szakmérnök (BME) 2014. SW Umwelttechnik Magyarország Kft. fejlesztési - és technológiai vezetője, betontechnológus.

Czirják János (1975) okl. nyersanyagelőkészítő mérnök (Miskolci Egyetem, Bányamérnöki Kar, 1999), okl. betontechnológus szakmérnök (BME, 2011), a CRH Magyarország Kft Műszaki Szolgáltató Központ vezetője, betontechnológus.

Földes Tamás (1954) okl. geológus (ELTE 1979), 2005-ig a Kőolajkutató vállalatnál, majd pedig a MOL Rt.-nél dolgozott. 2006-tól a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai Intézetének munkatársa. 1999-től végez CT és MR mérési értékeléseket élettelen vizsgálati anyagokon, elsősorban kőzeteken. Fő érdeklődési területe: szénhidrogén rezervoár, geológiai modellezés, nagyfelbontású képalkotó roncsolásmentes mérések (CT, microCT, MR), élettelen anyagvizsgálati módszerek kiértékelése. A Magyarhoni Földtani Társulat, a Geofizikai Társulat és az EAGE tagja.

Nabil Abdelmelek (1992), PhD student at the Department of Construction Materials and Technologies, Budapest University of Technology and Economics. His main fields of research interest are: fire design and behaviour of concrete at elevated temperature.

Mohammed Abed (1991) civil engineer (MSc). PhD candidate at the Department of Construction Materials and Technologies, Budapest University of Technology and Economics. Main fields of interests: recycled concrete aggregate, non-destructive testing of concrete, high performance concrete, supplementary cementations materials.

Naser Alimrani (1989), PhD student at the Department of Construction Materials and Technologies, Budapest University of Technology and Economics. His main fields of research interest are: fire design and behaviour of concrete at elevated temperature.

EFFECT OF FIRE ON CONCRETE STRUCTURES – STATE OF THE ART REPORT

György L. Balázs – Éva Lublós – Katalin Kopecskó - Salem G. Nehme – Rita Nemes – Tibor Kausay – Zsuzsanna Józsa – Viktor Hlavička – Gergely Kakasy - Péter Tóth – Szabolcs Nyíri – Géza Lizakovszky – Tamás Molnár – János Czirják – Tamás Földes – Nabil Abdelmelek – Mohamed Abed – Naser Alimrani

Recent fire cases indicated again the importance of fire research. Fast development of construction technology requires new materials. Initiation and development of fire are strongly influenced by the choice of construction materials, as well as the constituents of them. In addition to their mechanical properties, their behaviour at elevated temperature is also of high importance. Residual compressive strength of concrete exposed to high temperatures is influenced by the following parameters: water to cement ratio, cement to aggregate ratio, type of aggregate, water content of concrete before exposing it to high temperatures and the fire process. Therefore, mix design and composition of concrete is of high importance for high temperatures.

SZÁLERŐSÍTÉSŰ BETONOK NYÍRÁSI TEHERBÍRÁS SZÁMÍTÁSÁRA JAVASOLT ÖSSZEFÜGGÉSEK VIZSGÁLATA



Halvax Katalin – Dr. Lublós Éva

Vasbeton tartószerkezeteink méretezése során az egyes szerkezeti elemek nyírási teherbírása hasonlóan fontos, mint bármely más igénybevétellel szembeni megfelelőségük, és ezen a területen, száladagolás alkalmazásával előnyök érhetőek el. A jelen cikkben a szakirodalomból általunk összegyűjtött, más kutatók által javasolt, az acélszál-erősítésű, hagyományos nyírási vasalás (kengyelek) nélküli vasbeton gerendák repesztő- és törő-nyírószilárdság becslésére szolgáló egyenleteket mutatunk be. A törő-nyírószilárdság becslésére hét különböző egyenletet gyűjtöttünk össze, a repesztő-nyírószilárdság becslésére pedig hármat. Az egyenleteket elemeztük: összevetettük az egyenletek segítségével számított és a saját kísérleteink (Halvax, Lublós 2016) során korábban mért nyírási teherbírás értékeket. Az elemzést követően a két legjobb közeli-tést adó törő-nyírószilárdság számítására szolgáló egyenlet esetében módosító javaslatot teszünk az egyenletek kiterjesztésére különböző típusú acélszálak és makro műanyag szálak alkalmazása esetén.

Kulcsszavak: szálerősítésű beton, acélszál, műanyag szál, nyírási teherbírás

1. BEVEZETÉS

Vasbeton tartószerkezeteink méretezése során az egyes szerkezeti elemek nyírási teherbírása hasonlóan fontos, mint bármely más igénybevétellel szembeni megfelelőségük, és ezen a területen, száladagolás alkalmazásával előnyök érhetőek el pl.: a viszonylag nagy munkai igényű kengyelezés részleges vagy akár teljes kiváltásával. Az általunk végzett kísérletek célja annak tisztázása volt, hogy a különböző típusú és mennyiségű acél, illetve makro műanyag száladagolás hogyan befolyásolja egy hagyományos nyírási vasalás (kengyelezés) nélküli vasbeton gerenda nyírási teherbírását, valamint alkalmasak-e a szálak a hagyományos nyírási vasalás (kengyelek) kiváltására. Kísérleteink alapján módosító javaslatot teszünk a Narayanan és Darwish (1987), valamint Al-Ta'an és Al-Feel (1990) által, az acélszál erősítésű vasbeton gerendák nyírási törőteherbírás számítására, javasolt egyenletek kiterjesztésére különböző alakú acélszálakra és makro műanyag szálakra.

A szakirodalomban megjelent, acélszál erősítésű vasbeton gerendákon végzett kísérletek (Narayanan és Darwish 1987; Al-Ta'an és Al-Feel 1990; Li, Ward és Hamza 1992; Ashour, Hasanain és Wafa 1992; Khuntia, Stojadinovic és Goel 1999; Kwak, Eberhardt, W. Kim és J. Kim 2002; Slater, Balázs, Kovács 2003; Kovács, Balázs 2004; Moni és Alam 2012; Lim és Oh 1999) során azt tapasztalták a kutatók, hogy a rideg beton nyírási teherbírása növelhető száladagolással. Ennek okai a következők: száladagolás hatására nő a beton repesztő-, de főképpen a maradék-húzószilárdsága; a szálaknak köszönhetően a repedések jobban szétoszlanak és tágasságuk csökken; a szálaknak jobb a repedésáthidaló képességük és jobban szétosztják a húzási repedéseket (mivel jóval közelebb vannak egymáshoz), mint a kengyelek. Számos kutató egy-egy

zárt képlet formájában javaslatot is tett arra, hogyan lehetne meghatározni acélszál-erősítésű vasbeton gerendák repesztő-, illetve törő-nyírószilárdságát. Makro műanyag szálerősítésű vasbeton gerendák nyírási teherbírásának vizsgálatával napjainkig kevés kutatás foglalkozott (pl.: Yazdanbakhsh, Altoubat és Rieder 2015).

A jelen cikkben a szakirodalomból általunk összegyűjtött, más kutatók által javasolt, a repesztő- és a törő-nyírószilárdság becslésére szolgáló egyenleteket mutatjuk be, elemezzük (összevetjük az egyenletek segítségével számított és a kísérleteink során (Halvax és Lublós 2016) korábban mért nyírási teherbírás értékeket), majd pedig módosító javaslatot teszünk két egyenlet kiterjesztésére.

2. A NYÍRÁSI TEHERBÍRÁS SZÁMÍTÁSA

Narayanan és Darwish (1987) kutatók 85x150 mm keresztmetszetű, acélszál erősítésű, kengyelek nélküli vasbeton gerendákon végeztek nyírási teherbírás vizsgálatot, melynek során 0,3 mm átmérőjű hullámos acélszálakat adagoltak a betonkeverékhez különböző mennyiségben 0,25 V% és 3,0 V% között. Narayanan és Darwish megállapította, hogy mind a repesztő-, mind a törő-nyírószilárdság számottevő mértékben nőtt a szálak adagolásának következtében. 0,5 V% hullámos acélszál adagolás esetében a törő-nyírószilárdság növekedése 101% volt, 1,0 V% szálmennyisége esetében pedig 142% ($a/d=2,0$ és $\rho_s=2,0\%$ esetén) Narayanan és Darwish saját kísérleteik alapján, a szálerősítésű, nyírási vasalás nélküli, vasbeton gerendák törő-nyírószilárdságának meghatározására következő egyenleteket javasolják:

$$\vartheta_u = \left[0,24 \cdot f_{spfc} + 80 \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} \right] + 0,41 \cdot \tau_f \cdot F \quad \frac{a}{d} \geq 2,8 \quad (1.1)$$

$$\vartheta_u = 2,8 \cdot \frac{d}{a} \left[0,24 \cdot f_{spfc} + 80 \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} \right] + 0,41 \cdot \tau_f \cdot F \quad \frac{a}{d} \leq 2,8 \quad (1.2)$$

A Narayanan és Darwish (1987) által, a szálerősítésű, nyírási vasalás nélküli, vasbeton gerendák repesztő-nyírószilárdságának meghatározására javasolt egyenlet a következő:

$$\vartheta_{cr} = 0,24 \cdot f_{spfc} + 20 \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} + 0,5 \cdot F \quad (1.3)$$

Narayanan és Darwish (1987) az általuk javasolt becslő összefüggésekben a tapadószilárdság értékét, Swamy, Mangat és Tao (1974) vizsgálatai alapján, $\tau_f=4,15$ MPa értékre vették fel. Az F száltényezőben szereplő, a szál alakjától függő d_f tényezőt a kutatók kör keresztmetszetű egyenes szál esetében 0,5 értékre, míg hullámos alakú acélszál esetében 0,75 értékre javasolják felvenni.

Li, Ward és Hamza (1992) kutatók 63,5x127 mm keresztmetszetű, szálerősítésű, kengyelek nélküli vasbeton gerendákon végeztek nyírási teherbírás vizsgálatot. 0,5 mm átmérőjű, 30, illetve 50 mm hosszúságú acél, valamint 0,038 mm átmérőjű, 12,7 mm hosszú polietilén szálakat adagoltak 1,0 V%-ban a betonkeverékhez. Li, Ward és Hamza (1992) megállapították, hogy a száladagolás következtében mind a repesztő-, mind a törő-nyírószilárdság nagymértékben nő. Acélszálak adagolása esetén a szilárdság növekedés nagyobb mértékű volt. 1,0 V% 30 mm hosszúságú acélszál esetében a repesztő-nyírószilárdság 75%-kal, a törő-nyírószilárdság 91,5%-kal nőtt meg. Ugyanezen növekmény értéke a hosszabb, 50mm hosszúságú acélszál esetében 88%, illetve 115% volt. Műanyag szál adagolás esetén a nyírószilárdság növekedés kisebb mértékű, de számottevő: a repesztő-nyírószilárdság értéke 48%-kal, a törő-nyírószilárdság értéke pedig 71%-kal nőtt meg. A Li, Ward és Hamza (1992) által, a szálerősítésű, nyírási vasalás nélküli, vasbeton gerendák törő-nyírószilárdságának meghatározására javasolt egyenletek a következők:

$$\vartheta_u = 1,25 + 4,68 \cdot \left[(f_{tfc} \cdot f_{spfc})^{\frac{3}{4}} \cdot \left(\rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot d^{-\frac{1}{3}} \right] \quad \frac{a}{d} \geq 2,5 \quad (2.1)$$

$$\vartheta_u = 9,16 \cdot \left[f_{tfc}^{\frac{2}{3}} \cdot \rho_s^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{d}{a} \right] \quad \frac{a}{d} \leq 2,5 \quad (2.2)$$

Ashour, Hasanain és Wafa (1992) kutatók 125x250 mm keresztmetszetű, acélszál erősítésű, kengyelek nélküli, nagy-szilárdságú vasbeton gerendákon végeztek nyírási teherbírás vizsgálatot. 0,8 mm átmérőjű, 60 mm hosszúságú kampós végű acélszálakat adagoltak 0,5; 1,0 és 1,5 V% mennyiségben a betonkeverékhez. Ashour, Hasanain és Wafa (1992) azt tapasztalták, hogy 1,5 V% száladagolás a törő-nyírószilárdság 96,6%-os növekedését eredményezte, $\rho_s=2,84\%$ és $a/d=1,0$ mellett. Nagyobb nyírt szakasz-hatékony magasság arány ($a/d=6$) esetében, a törő-nyírószilárdság növekedés 32,2% volt 1,5 V% száladagolás hatására. A kutatók által, a szálerősítésű, nyírási vasalás nélküli, vasbeton gerendák törő-nyírószilárdságának meghatározására javasolt egyenletek a következők:

$$\vartheta_u = (2,11 \cdot \sqrt[3]{f_c} + 7 \cdot F) \cdot \left(\rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^{0,333} \quad \frac{a}{d} > 2,5 \quad (3.1)$$

$$\vartheta_u = \frac{2,5}{a/d} \left[(2,11 \cdot \sqrt[3]{f_c} + 7 \cdot F) \cdot \left(\rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^{0,333} \right] + 0,41 \cdot \tau_f \cdot F \cdot \left(2,5 - \frac{a}{d} \right) \quad \frac{a}{d} < 2,5 \quad (3.2)$$

Kwak, Eberhardt, Kim és Kim (2002) kutatók 125x250 mm keresztmetszetű, acélszál erősítésű, kengyelek nélküli vasbeton gerendákon végeztek nyírási teherbírás vizsgálatot. 0,8 mm átmérőjű, 50 mm hosszúságú kampós végű acélszálakat adagoltak 0,5 V% és 0,75 V% mennyiségben a betonkeverékhez. Kwak, Eberhardt, Kim és Kim (2002) megállapították, hogy a száladagolás következtében mind a repesztő-, mind a törő-nyírószilárdság nő, valamint a szálmennyiségek növelésével (0,5 V%-ról 0,75 V%-ra) a szilárdság növekmény értéke is nagyobb. 0,5 V% száladagolás hatására a repesztő-nyírószilárdság 16%-kal, a törő-nyírószilárdság 68,5%-kal nőtt, míg 0,75 V% hatására ugyanezen növekmények értéke 33% és 80% volt. A Kwak, Eberhardt, Kim és Kim (2002) által, a szálerősítésű, nyírási vasalás nélküli, vasbeton gerendák törő-nyírószilárdságának meghatározására javasolt egyenletek a következők:

$$\vartheta_u = 2,1 \cdot f_{spfc}^{0,7} \cdot \left(\rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^{0,22} + 0,8 \cdot (0,41 \cdot \tau_f \cdot F)^{0,97} \quad \frac{a}{d} > 3,5 \quad (4.1)$$

$$\vartheta_u = 2,1 \cdot \left(3,5 \cdot \frac{d}{a} \right) \cdot f_{spfc}^{0,7} \cdot \left(\rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^{0,22} + 0,8 \cdot (0,41 \cdot \tau_f \cdot F)^{0,97} \quad \frac{a}{d} \leq 3,5 \quad (4.2)$$

A Kwak, Eberhardt, Kim és Kim (2002) által, a szálerősítésű, nyírási vasalás nélküli, vasbeton gerendák repesztő-nyírószilárdságának meghatározására javasolt egyenlet a következő:

$$\vartheta_{cr} = 3 \cdot f_{spfc}^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.3)$$

Al-Ta'an és Al-Feel (1990), Khuntia, Stojadinovic és Goel (1999), valamint Slater, Moni és Alam (2012) kutatók a szakirodalomból gyűjtött, más kutatók által publikált, szálerősítésű vasbeton gerendákon végzett nyírási teherbírás kísérletek eredményeit felhasználva és alapul véve írták fel az általuk javasolt összefüggéseket, illetve ezen eredményeken vizsgálták statisztikai alapon az egyenletek megbízhatóságát.

Al-Ta'an és Al-Feel (1990) kutatók által, a szálerősítésű, nyírási vasalás nélküli, vasbeton gerendák törő-nyírószilárdságának meghatározására javasolt egyenletek a következők:

$$\vartheta_u = \left[1,6 \cdot \sqrt{f_c} + 960 \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} + 8,5 \cdot K \cdot V_f \cdot \frac{L_f}{D_f} \right] \cdot \frac{1}{9} \quad \frac{a}{d} > 2,5 \quad (5.1)$$

$$\vartheta_u = \left[1,6 \cdot \sqrt{f_c} + 960 \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} \cdot \left(2,5 \cdot \frac{d}{a} \right) + 8,5 \cdot K \cdot V_f \cdot \frac{L_f}{D_f} \right] \cdot \frac{1}{9} \quad \frac{a}{d} < 2,5 \quad (5.2)$$

Al-Ta'an és Al-Feel (1990) az egyenletekben szereplő, a szál alakjától függő K konstans értékét hullámos acélszál esetében 1,3, kampós végű acélszál esetében 1,2, míg egyenes acélszál esetében 1,0 értékre javasolják felvenni. A szálerősítésű, nyírási vasalás nélküli, vasbeton gerendák repesztő-nyírószilárdságának meghatározására javasolt egyenleteik pedig a következők:

$$\vartheta_{cr} = \left[\sqrt{f_c} + 260 \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} + 4,4 \cdot K \cdot V_f \cdot \frac{L_f}{D_f} \right] \cdot \frac{1}{8,5} \quad \frac{a}{d} > 2,5 \quad (5.3)$$

$$\vartheta_{cr} = \left[\sqrt{f_c} + 260 \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} \cdot \left(2,5 \cdot \frac{d}{a} \right) + 4,4 \cdot K \cdot V_f \cdot \frac{L_f}{D_f} \right] \cdot \frac{1}{8,5} \quad \frac{a}{d} < 2,5 \quad (5.4)$$

Khuntia, Stojadinovic és Goel (1999) kutatók által, a szálerősítésű, nyírási vasalás nélküli, vasbeton gerendák törő-nyírószilárdságának meghatározására javasolt egyenletek a következők:

$$\vartheta_u = 0,167 \cdot \sqrt{f_c} + 0,369 \cdot \tau_f \cdot F \quad \frac{a}{d} > 2,5 \quad (6.1)$$

$$\vartheta_u = 2,5 \cdot \frac{d}{a} \cdot 0,167 \cdot \sqrt{f_c} + 0,369 \cdot \tau_f \cdot F \quad \frac{a}{d} < 2,5 \quad (6.2)$$

Slater, Moni és Alam (2012) kutatók által, a szálerősítésű, nyírási vasalás nélküli, vasbeton gerendák törő-nyírószilárdságának meghatározására javasolt egyenletek a következők:

és kampós végű acélszál esetében: a képletekben a 0 ne legyen vasrag, szököz legyen a MPa előtt..

$$\vartheta_u = 5,52 - 0,12 \cdot f_c - 53,2 \cdot \rho_s - 44,7 \cdot \rho_s \cdot \frac{a}{d} + 44,455 \cdot \rho_s \cdot V_f - 209 \cdot \frac{a}{d} \cdot V_f - 3,36 \cdot F \quad (7.1)$$

$\frac{a}{d} < 3,0$, $f_c < 50MPa$ és egyenes vagy hullámos acélszál esetében:

$$\vartheta_u = 0,12 + 0,04 \cdot f_c + 113,5 \cdot \rho_s + \frac{1}{50} \cdot \frac{L_f}{D_f} + 3,3 \cdot \rho_s \cdot f_c + 2,46 \cdot f_c \cdot V_f - 103,5 \cdot \rho_s \cdot \frac{a}{d} \quad (7.2)$$

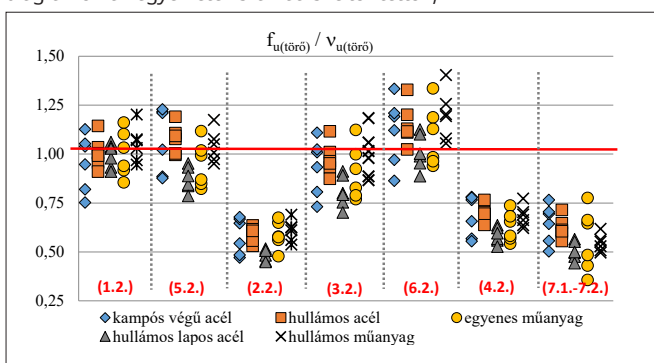
$\frac{a}{d} < 3,0$, $f_c > 50MPa$ és minden száltípus esetén:

$$\vartheta_u = 1 + 0,09 \cdot f_c + 1,5 \cdot f_c \cdot \rho_s - 7,4 \cdot 10^{-4} \cdot f_c \cdot \frac{L_f}{D_f} - 136 \cdot \rho_s \cdot \frac{a}{d} + 2,2 \cdot \rho_s \cdot \frac{L_f}{D_f} + 2 \cdot F \quad (7.3)$$

3. A KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ANALITIKUS ÉRTÉKELÉSE

„Szálerősítésű betonhoz használt száltípusok összehasonlító vizsgálata” címmel megjelent publikációnkban (Halvax és Lublőy 2016) acél és műanyag szál erősítésű, hagyományos nyírási vasalás (kengyelek) nélküli vasbeton gerendákon végzett nyírási teherbírás vizsgálatot, valamint annak eredményeit mutattuk be. A kísérlet során 90x150x700 mm-es gerenda próbatesteket készítettünk különböző anyagú, alakú és mennyiségű száladagolással. A kampós végű ($L_f=50$ mm, $D_f=1,05$ mm), a hullámos ($L_f=35$ mm, $D_f=0,9$ mm) és a hullámos-lapos ($L_f=50$ mm, keresztmetszete: 0,75x2,7 mm) alakú acélszálakat 0,5 V% (39,3 kg/m³), illetve 1,0 V% (78,5 kg/m³) mennyiségben adagoltuk. Az egyenes-bordázott ($L_f=50$ mm, $D_f=0,5$ mm) és a hullámos ($L_f=42$ mm, $D_f=0,8$ mm) műanyag szálakat 0,1 V% (0,91 kg/m³), illetve 0,5 V% (4,55 kg/m³) mennyiségben

1. ábra: A mért és számított repesztő-nyírószilárdság érték aránya (a diagramon az egyenletek számát is feltüntettük)



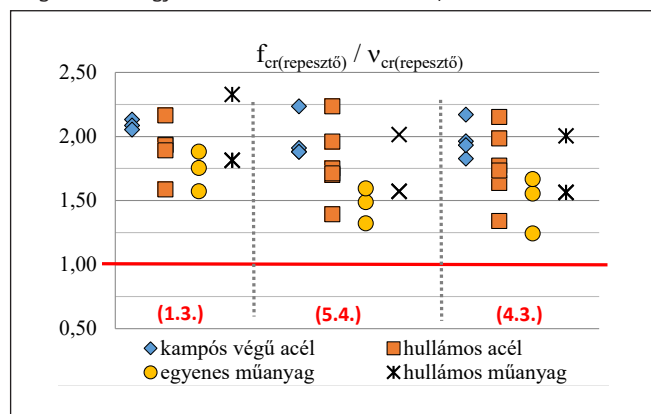
alkalmaztuk. A gerendák készítéséhez használt különböző betonkeverékek szilárdsági (nyomó-, illetve hajlító-húzó szilárdság) és merevségi (rugalmassági modulus) jellemzőit szintén meghatároztuk. Referencia mérés céljából szálerősítés nélküli vasbeton gerendákat is készítettünk hagyományos nyírási vasalással, illetve anélkül (a kengyelezés mennyisége: f6/120, azaz $\rho_w=5,2\%$, illetve f6/85, azaz $\rho_w=7,9\%$ volt).

A sűrűbb kengyelezéssel (f6/85) ellátott gerendákhoz tartozó teherbírás szintet csak a nagyobb mennyiségben (1,0 V%) adagolt kampós végű és hullámos acélszálak tudták teljesíteni. A kisebb mennyiségben (0,5 V%) adagolt kampós végű és hullámos acélszálak pedig kis mértékben meghaladták a ritkább kengyelezéshez (f6/120) tartozó teherbírás szintjét. A műanyag szál erősítésű gerendák esetén a ritkább kengyelezéssel ellátott gerendákhoz (f6/120) tartozó teherbírás szintet csak a nagyobb mennyiségben adagolt (0,5 V%) műanyag szálakkal tudtuk megközelíteni. A hullámos műanyag szál esetén kis mennyiségű (0,1 V%) szál adagolás mellett is megfigyelhető volt teherbírás növekmény, de a ritkább kengyelezés teherbírás szintjét e mennyiségű száladagolással nem lehetett elérni.

A nyírási teherbírás vizsgálatokat követően összevetettük a mért, illetve a 2. fejezetben bemutatott, a szakirodalomból gyűjtött egyenletek segítségével számított nyíró szilárdság értékeket. Az 1. ábrán ezen mért és számított törő-nyírószilárdság értékek aránya látható száltípusonként és egyenletenként – melyekkel a számított teherbírást meghatároztuk - külön-külön csoportokban. Az 1. ábra, valamint az egyenletek pontosságát mutató átlagos négyzetes eltérés értékek meghatározása alapján megállapítható, hogy a törő-nyírószilárdság számítására a vizsgált hét különböző egyenlet közül a következő négy bizonyult a legpontosabbnak: Narayanan és Darwish (1.2.) egyenlete, Al Ta'an és Al-Feel (5.2) egyenlete, Ashour et al. (3.2) egyenlete, valamint Khuntia et al. (6.2) egyenlete. Az 2. ábrán a mért és számított repesztő-nyírószilárdság értékek aránya látható száltípusonként és egyenletenként – melyekkel a számított teherbírást meghatároztuk - külön-külön csoportokban. A 2. ábra, valamint az egyenletek pontosságát mutató átlagos négyzetes eltérés értékek meghatározása alapján megállapítható, hogy a repesztő-nyírószilárdság számítására javasolt egyenletek közül mindegyik jelentősen alulbecsülte a tényleges, mért repesztő-teherbírást.

Mindegyik egyenlet esetében, bizonyos bemenő paraméter (lásd 1. táblázat) változtatásával, megvizsgáltuk, hogy lehetséges-e az adott egyenlet pontosságának növelése a mért, tényleges teherbírás értékeket figyelembe véve. Az 1. táblázatban látható összefoglalva, hogy az egyes egyenletek esetében mely paraméter(ek)e)t változtattuk, valamint a táblázat legalsó sorában feltüntettük, hogy a változtatást követően javasoljuk-e az adott egyenlet alkalmazását.

2. ábra: A mért és számított repesztő-nyírószilárdság érték aránya (a diagramon az egyenletek számát is feltüntettük)



1. táblázat: Az egyenletekben változtatott paraméterek, illetve javaslat az egyenletek alkalmazhatóságára

	Narayanan és Darwish 1987	Al Ta'an és Al-Feel 1990	V. C. Li et al. 1992	Ashour et al. 1992	Khuntia et al. 1999	Kwak et al. 2002	Slater et al. 2012
változtatott paraméter	τ_f d_f	K (d_f)	9,16 értékű szorzó tényező	τ_f d_f	τ_f d_f	τ_f d_f	---
javaslat az egyenlet alkalmazhatóságára	jó közelítést ad, javasoljuk alkalmazásra		nem javasoljuk alkalmazni	Narayanan és Darwish, valamint Al-Ta'an és Al-Feel egyenlete pontosabb közelítés ad			nem volt lehetőség az egyenlet pontosságának javítására

Narayanan és Darwish (1987), valamint Al-Ta'an és Al-Feel (1990) által javasolt egyenletek a módosítást követően a törő-nyírószilárdság értékeire jó közelítést adnak. A megváltoztatott paraméterek változtatásának szükségessége a különböző szálak eltérő jellemzőivel indokolható. V. C. Li et al. (1992) összefüggését nem javasoljuk alkalmazni, ugyanis ezen egyenletben egy szorzó tényező került megváltoztatásra, melynek eredetét nem ismerjük. Ashour et al. (1992), Khuntia et al. (1999), valamint Kwak et al. (2002) összefüggései esetében a Narayanan és Darwish (1987), valamint Al-Ta'an és Al-Feel (1990) egyenlete pontosabb közelítés ad. Slater et al. (2012) egyenlete esetében az összefüggés módosítása nem javasolt, ugyanis az egyenlet csak olyan bemenő paramétereket tartalmaz, melyek mindegyike konkrét geometriai vagy mért mechanikai jellemző, illetve konstans szorzó tényező.

4. MÓDOSÍTÓ JAVASLAT A NYÍRÁSI TEHERBÍRÁS SZÁMÍTÁSÁRA

Javaslatot teszünk a Narayanan és Darwish (1987), valamint Al-Ta'an és Al-Feel (1990) kutatók által acélszál erősítésű, hagyományos nyírási vasalás (kengyelek) nélküli vasbeton gerendák nyírási törőteherbírás számítására javasolt egyenletek különböző acélszál típusokra, illetve makro műanyag szálakra történő kiterjesztésére.

Kísérleteink alapján Narayanan és Darwish (1987) kutatók (1.2) egyenletében a szál alakjától függő (d_f) tényező és a tapadószilárdság (τ_f) értékeinek kiterjesztése szükséges, melyek általunk javasolt értékeit a 2. táblázatban adjuk meg. A τ_f tapadószilárdság értékeit saját mérési eredményeink alapján határoztuk meg.

Kísérleteink alapján (Halvax és Lublőy 2016) Al-Ta'an és Al-Feel (1990) kutatók (5.2) egyenletében a szál alakjától függő (K) tényező értékeinek kiterjesztése szükséges, melyek általunk javasolt értékeit a 3. táblázatban adjuk meg.

5. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A jelen cikkben a szakirodalomból általunk összegyűjtött, más kutatók által javasolt, az acélszál erősítésű, hagyományos nyírási vasalás (kengyelek) nélküli vasbeton gerendák repesztő- és törő-nyírószilárdság becsülésére szolgáló egyenleteket mutatunk be. Az egyenleteket elemeztük (összevetettük az egyenletek segítségével számított és a kísérleteink során korábban mért (Halvax, Lublőy 2016) nyírási teherbírás értékeket), majd pedig módosító javaslatot tettünk két egyenlet kiterjesztésére.

Az egyenletek elemzését követően a törő-nyírószilárdság számítására a vizsgált hét különböző egyenlet közül - az általunk vizsgált száltípusok esetében - a következő négy bizonyult a legpontosabbnak: Narayanan és Darwish (1.2.) egyenlete, Al Ta'an és Al-Feel (5.2) egyenlete, Ashour et al.

(3.2) egyenlete, valamint Khuntia et al. (6.2) egyenlete. A hét különböző egyenlet esetében - bizonyos bemenő paraméter változtatásával - megvizsgáltuk, hogy lehetséges-e az adott egyenlet pontosságának növelése a mért, tényleges teherbírás értékeket figyelembe véve. Az 1. táblázatban összefoglaltuk, hogy az egyes egyenletek esetében mely paraméter(ek)et változtattuk, valamint a táblázat legalsó sorában feltüntettük, hogy a változtatást követően javasoljuk-e az adott egyenlet alkalmazását. A módosítást követően a Narayanan és Darwish, valamint Al-Ta'an és AL-Feel kutatók által javasolt egyenletek adták a legjobb közelítést, ezért ezen egyenletek kiterjesztésére tettünk javaslatot. Narayanan és Darwish kutatók (1.2) egyenletében a szál alakjától függő (d_f) tényező, valamint a tapadószilárdság (τ_f) értékeinek kiterjesztésére volt lehetséges, melyek általunk javasolt értékeit a 2. táblázatban adtuk meg. A τ_f tapadószilárdság értékeit saját mérési eredményeink alapján határoztuk meg. Al-Ta'an és Al-Feel kutatók (5.2) egyenletében a szál alakjától függő (K) tényező értékeinek kiterjesztése volt lehetséges, melyek általunk javasolt értékeit a 3. táblázatban adtuk meg.

2. táblázat: A τ_f és d_f paraméterek általunk javasolt értékei Narayanan és Darwish kutatók törő-nyírószilárdság számítására ajánlott (1.2) egyenletéhez

	szál típusa	τ_f [MPa]	d_f [-]
acélszál	kampós végű acélszál [$L_f=50$ mm, $D_f=1,05$ mm]	8,35	0,50
	hullámos alakú acélszál [$L_f=35$ mm, $D_f=0,9$ mm] 11,09		0,35
	hullámos-lapos acélszál [$L_f=50$ mm, km.: 0,75x2,7 mm]	9,95	0,10
makro műanyag szál	egyenes, bordázott műanyag szál [$L_f=50$ mm, $D_f=0,5$ mm]	1,52	0,50
	hullámos alakú műanyag szál [$L_f=42$ mm, $D_f=0,8$ mm]	3,78	0,65

3. táblázat: A K tényező általunk javasolt értékei Al-Ta'an és Al-Feel kutatók törő-nyírószilárdság számítására ajánlott (5.2) egyenletéhez

	szál típusa	K [-]
acélszál	kampós végű acélszál [$L_f=50$ mm, $D_f=1,05$ mm]	1,80
	hullámos alakú acélszál [$L_f=35$ mm, $D_f=0,9$ mm]	1,80
	hullámos-lapos acélszál [$L_f=50$ mm, km.: 0,75x2,7 mm]	0,20
makro műanyag szál	egyenes, bordázott műanyag szál [$L_f=50$ mm, $D_f=0,5$ mm]	0,70
	hullámos alakú műanyag szál [$L_f=42$ mm, $D_f=0,8$ mm]	1,80

6. ALKALMAZOTT JELÖLÉSEK

Jelen cikkben az alábbi jelölés rendszert alkalmaztuk:

θ_u a számított törő-nyírószilárdság [MPa]
 θ_{cr} a számított repesztő-nyírószilárdság [MPa]
 f_u a mért törő-nyírószilárdság [MPa] (a tönkremenetelt okozó mért terhelő nyíróerő, valamint a keresztmetszet szélesség és hatékony magasság szorzatának a hányadosa)

f_{cr} a mért repesztő-nyírószilárdság [MPa] (a 0,1 mm-es repedéstágassághoz tartozó mért terhelő nyíróerő, valamint a keresztmetszet szélesség és hatékony magasság szorzatának a hányadosa)

f_{spfc} szálerősítésű betonkeverék hasító-húzószilárdsága [MPa]

$f_{spfc} = \frac{f_c}{\vartheta - \sqrt{F}} + 0,7 + \sqrt{F}$ (Narayanan és Darwish (1987) alapján)

f_{fyc} szálerősítésű betonkeverék hajlító-húzószilárdsága [MPa]

f_c szálerősítésű betonkeverék nyomószilárdsága [MPa]

F száltényező $F = \frac{L_f}{D_f} \cdot V_f \cdot d_f$

V_f a szál mennyisége [%]

L_f a szál hossza [mm]

D_f a szál átmérője [mm]

τ_f tapadószilárdság a szál és az őt körülvevő beton között [MPa]

$\rho_s = \frac{A_s}{b \cdot d}$: húzott vashányad [%]

b a keresztmetszet szélessége [mm]

d a keresztmetszet hatékony magassága [mm]

A_s a húzott vasalás mennyisége [mm²]

a a gerenda nyírt szakaszának hossza [mm]

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- Al-Ta'an, S.A., Al-Feel, J.R. editors (1990), „Evaluation of shear strength of fibre-reinforced concrete beams”, *Cement & Concrete Composites*, 12, pp. 87-94.
- Ashour, S. A., Hasanain, G.S., Wafa, F.F. editors (1992), „Shear behaviour of high-strength fibre reinforced concrete beams”, *ACI Structural Journal*, March-April, pp. 176-184.
- Balázs, Gy. L., Kovács, I. editors (2003), „Structural behaviour of steel fibre reinforced concrete”, *Journal of Structural Concrete*, 2003/2, pp. 57-63.
- Halvax K., Lublőy É. szerzők (2016), „Szálerősítésű betonhoz használt szál-típusok összehasonlító vizsgálata”, *Vasbetonépítés*, 2016/4
- Khuntia, M., Stojadinovic, B., Goel, S.C. editors (1999), „Shear strength of normal and high-strength fibre reinforced concrete beams without stirrups”, *ACI Structural Journal*, March-April, pp. 282-290.
- Kovács, I., Balázs, Gy. L. editors (2004), „Structural performance of steel fibre reinforced concrete”, *Book*, Publ. Comp. of Budapest University of Technology and Economics, 2004, ISBN 963 410 822 3, 233 p.
- Kwak, Y.-K., Eberhardt, M. O., Kim, W.-S., Kim, J. editors (2002), „Shear strength of steel fibre-reinforced concrete beams without stirrups”, *ACI Structural Journal*, July-August, pp. 530-538.
- Li, V.C., Ward, R., Hamza, A. M. editors (1992), „Steel and synthetic fibres as shear reinforcement”, *ACI Materials Journal*, September-October, pp. 499-508.
- Lim, D.H., Oh, B.H. editors (1999), „Experimental and theoretical investigation on the shear of steel fibre reinforced concrete beams”, *Engineering Structures*, 21, pp. 937-944.
- Narayanan, R., Darwish, I.Y.S. editors (1987), „Use of steel fibres as shear reinforcement”, *ACI Structural Journal*, May-June, pp. 216-227.
- Slater, E., Moni, M., Alam, M. S. editors (2012): „Predicting the shear strength of steel fibre reinforced concrete beams”, *Construction and Building Materials*, 26, pp. 423-436.
- Swamy, R. N., Mangat, P. S., Rao, C. V. S. K. editors (1974), “The Mechanics of Fiber Reinforcement of Cement Matrices”, *Fiber Reinforced Concrete*, SP-44, American Concrete Institute, Detroit, 1974, pp. 1-28.
- Yazdanbakhsh, A., Altoubat, S., Rieder, K.-A. editors (2015), „Analytical study on shear strength of macro synthetic fibre reinforced concrete beams”, *Engineering Structures*, 100, pp. 622-632.

Halvax Katalin (1984) okl. építőmérnök (SZE Műszaki Tudományi Kar 2007). 2008-tól 2017-ig a győri Széchenyi István Egyetem Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszékének egyetemi tanársegéd munkatársa. Kutatási területe: acél és műanyag szálerősítésű betonok. 2017-től tervező mérnökként a Széchenyi Építőmérnöki Kft.-nél dolgozik.

Dr. Lublőy Éva (1976) okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar 2001), adjunktus a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén (2008). Fő érdeklődési területei: vasbetonszerkezetek viselkedése tűz hatására, tűzkaók mérnöki tanulságai. *Ajfb* Magyar Tagozat tagja.

PREDICT THE ULTIMATE SHEAR STRENGTH OF FIBRE REINFORCED CONCRETES

Katalin Halvax - Éva Lublőy

When planning a reinforced concrete structure, the structural elements shear load bearing capacity is as important as their conformity to any other stresses, and in this area, benefit can be achieved by fibre addition. Equations, to predict the ultimate and cracking shear strength of a steel fibre reinforced concrete beam without conventional shear reinforcement, will be presented in this paper. We have collected the equations from the literature proposed by other researchers. Seven equations are proposed to predict the ultimate shear strength and three to predict the cracking shear strength. The equations were analysed: the calculated strength values and the previously measured strength values (during our own experiment) were compared. After the analysis, in case of two of the best approximations in ultimate shear strength equations, a proposal for amendment were made to extend the equations for various type of steel and macro synthetic fibres.

NVKP_16-1-2016-0019**Fokozott ellenálló képességű (kémiai korrózióknak ellenálló, tűzálló és fagyálló) beton termékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése”****Futamidő: 2017. márc. 1 – 2020. febr. 28.**

Nemzeti Versenyképességi és Kiválósági Program, B alprogram:
Anyagtudományi, technológiai nemzeti program

Konzorcium keretében a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, az SW Umwelttechnik Magyarország Építőelemgyár Kft, az MC-Bauchemie Építőanyagipari és Kereskedelmi Kft, a CRH Magyarország Kft, valamint az ÉMI Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft. 575,36 millió Ft támogatást nyert el a „Fokozott ellenálló képességű (kémiai korrózióknak ellenálló, tűzálló és fagyálló) beton termékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése” című projekt megvalósítására. A projekt az NKFI Alap keretében valósul meg.

Kutatócsoportunk olyan fejlesztési területeken vállal közös erőfeszítéseket, amelyek a környezetünket jelentősen meghatározó vasbetonszerkezetek biztonságosabb és hosszabb élettartamú használatára nyújtanak lehetőséget, erőforrásaink hatékonyabb kiaknázása mellett.

Törekvéseink elsődleges célja olyan betonösszetételek kikísérletezése - és ezek felhasználásával - olyan beton termékek készítése, amelyek nagyobb ellenálló képességet biztosítanak a szokványos betonokhoz képest agresszív közegekkel (pH <5) szemben, magas hőmérséklettel (tűzzel, belső tűzzel vagy homlokzati tűzzel) szemben, ill. fagyhatással szemben. Mindezen elvárások eltérő anyagtani, ill. anyagtudományi megközelítéseket igényelnek.

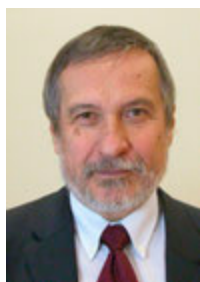
Vizsgálataink módszere a vonatkozó fizikai-kémiai-biológiai hatásokra bekövetkező leromlási folyamatok alapos megismerése, és a leromlási folyamatok lassításának, ill. elkerülhetőségének kikísérletezése.

A beton több komponensű – több fázisú anyagi rendszer, amelynek viselkedését (szilárdságát, tartósságát és egyéb tulajdonságait) jelentős részben összetevőinek tulajdonságai és a közöttük kialakuló fizikai-kémiai kapcsolat határozzák meg. Vizsgálataink kiterjednek ezért a cementek és cement kiegészítő anyagok (szilikapor, metakaolin, kohósalak, pernye) és felhasználásukkal készült betonkeverékek széleskörű vizsgálataira. A projekt várható befejezési időpontja 2020. febr. 28.



Dr. Balázs L. György,
konzorcium vezető

DR. FARKAS GYÖRGY 70. SZÜLETÉSNAJÁRA



Dr. Farkas György 1971-ben szerezte szerkezet építőmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karán. Ettől kezdve kisebb megszakításokkal az Egyetem oktatója. 1971-től 1976-ig tanársegéd, 1976 és 1994 között adjunktus, 1994-től 2000-ig egyetemi docens, 2000 és 2016 között egyetemi tanár, 2016-óta professor emeritus. 1975-ben Mérnöki

Matematikai Szakmérnöki

oklevelet, 1976-ban Műszaki Doktori címet szerzett. 1994-ben a műszaki tudomány kandidátusa (PhD), 1999-ben habilitált. 1997-től 2001-ig Széchenyi Professzori Ösztöndíjas. 2004.-ben a Magyar Mérnökakadémia rendes tagjává választotta 1995- től a Vásbetonszerkezetek Tanszék, majd 2000 és 2010 között jogutódja, a Hidak és Szerkezetek Tanszék tanszékvezetője. 1997-től 2005-ig az Építőmérnöki Kar dékánja. 2005 és 2016 között a BME Szenátusának választott tagja, a Gazdasági Bizottság elnöke. A *fib* magyar tagozatának megalakulása óta aktív tagja, a Tanácsadó Testület elnöke.

Pályafutása során széleskörű nemzetközi kapcsolatokra és tapasztalatokra tett szert. 1977-78-ban Párizsban, az École Nationale des Ponts et Chaussées egyetemen töltött egy évet ösztöndíjas kutatóként. Itt ismerkedett meg Roger Lacroix professzossal a CEB, a FIP majd a *fib* elnökével és a korszerű utófeszítési méretezési elvekkel és technológiákkal. 1979 és 1982, majd 1985 és 1989 között az oráni USTO és az algíri ENP egyetemeken oktatott, kutatott és szerzett tervezési tapasztalatokat az arab világban. 1992-ben a svájci állam ösztöndíjasaként vendégkutató volt a lausannei EPFL egyetemen. Az 1990-es évektől kezdve részt vett a BME Francia Tagozatának beindításában, majd az Építőmérnöki kar TEMPUS koordinátoraként szervezte a Kar és neves európai egyetemek építőmérnöki karai közötti együttműködést. Erre az időszakra esett az építőmérnöki képzés európai harmonizációja, a kreditrendszerű oktatás és a kétfélsős képzés bevezetése, amelyben vezető szerepet vállalt. Az Európai Építőmérnöki Karok Szövetségének (AECEF) és az európai építőmérnöki képzés harmonizálására létrehozott szervezet (EUCEET) elnökségi tagja a 2000-es évek első évtizedében. Kutatásvezetőként közreműködött nemzetközi INCO- COPERNICUS, PHARE és COST programok munkájában is. 1991-ben kollégáival,

barátaival és a neves francia Freyssinet cég részvételével létrehozták a Pannon Freyssinet vállalatot, melynek hosszú ideig műszaki igazgatója volt. Működésük során számos, elsősorban feszített tartószerkezet tervezését, építését, megerősítését végezték

Oktatói, kutatói, szakmai munkásságának szűkebb szakterülete a vasbetonépítés, elsősorban a feszített vasbeton szerkezetek és a nagyszilárdságú betonok alkalmazásával kapcsolatos kutatások, fejlesztések, és a hidépítés. Saját kutatásai mellett doktorandusz hallgatók kutatásait is irányította. Vezetésével hat PhD hallgatója védte meg disszertációját. Több mint negyven éves pályafutása során számos épület, műtárgy és híd tervezésében, kivitelezésében, vagy szakértésében működött közre. Ezek közül például a Mostaganemi Kórház (Algéria) statikus terveit, gabonasilók megerősítését, közepes nyílású vasbeton hidak megerősítését, autópálya felüljárók terveit érdemes megemlíteni. Közreműködött a Paksi Atomerőmű élettartam hosszabbításának feltételeit vizsgáló és kidolgozó bizottság munkájában is. Szakmai munkásságát több mint kétszáz publikáció fémjelzi.

Aktív szerepet vállalt a tartószerkezetek tervezése európai szabványrendszerének, az EUROCODE-ok kidolgozásában, oktatásában, hazai bevezetésében, az angol nyelvű európai szabványok lefordításában, a nemzeti mellékletek kialakításában is. 2000 óta a Magyar Szabványügyi Testület MSZT MB 119 tartószerkezeti szakbizottságának elnöke, a BME képviselője az MSZT Szabványügyi Tanácsában.

A Magyar Mérnöki Kamarának megalakulása óta tagja. Budapesti, majd országos küldött, 2008 és 2012 között a Tartószerkezeti Tagozat elnökségi tagja, 2009-től 2013-ig az országos elnökség tagja, és az oktatási albizottság elnöke. Jelenleg is a végzettségek szakirányúságát megállapító szakértői testület elnöke.

Oktatói, szakmai munkájának elismeréseként számos kitüntetésben részesült. 1996-ban, 2005-ben és 2016-ban az Építőmérnöki Kar Hallgatókért díját, 2000-ben a Közlekedéstudományi Egyesület (KTE) Irodalmi díját, 2003-ban a Magyar Köztársasági Érdemrend Lovagkeresztje kitüntetését, 2005-ben a BME Pro Juventute Universitatis díját, 2007-ben a BME József Nádor Emlékérmét kapta.

*A fib Magyar Tagozata nevében
Dr. Balázs L. György szeretettel köszönti*

DR. MAGYARI BÉLA 75. SZÜLETÉSNAPJÁRA



A **fib** Magyar Tagozata tisztelettel köszönti ünnepelt tagtársunkat születésének jubiláris évfordulója alkalmából.

Amikor 70 éves volt, beszámoltunk e rovatban addigi gazdag életútjáról. Mindemellert kötelességünk, hogy a legfontosabb tényekkel megismertessük mai olvasóinkat.

Magyari Béla Soltvadkertén született 1942. június 6-án. Középkisiskolai évei után technikus volt az ÉTI-ben. Hamar felismerte az igényes kísérletek fontosságát. Szükségét látta széles elméleti és tervezési ismereteknek, ezért munkája mellett tanult, és 1969-ben oklevelet szerzett a BME Építőmérnöki Karának szerkezetépítő mérnöki szakán. Tervezési és technológiai osztályvezető lett Kecskeméten, majd anyagvizsgálati laboratóriumot vezetett, és minőségellenőrzési feladatokat látott el.

Tapasztalataival felvértezve magánvállalkozásban új produktumokat eredményező kísérleteket végzett. 14 önálló szabadalma mellett társként is számon tartották, mint kiváló újítót. Betontechnológiai munkássága sok tekintetben fokozta a házgyári termelés műszaki színvonalát és gazdaságosságát.

1972 óta igazságügyi szakértő. Speciális ismeretei vannak a tűz, ill. gázrobbanás okozta károk megítélésében és orvoslásában.

1978-ban avatta a BME műszaki doktorrá, és 1982-ben nyerte el az MTA-n a műszaki tudomány kandidátusa fokozatot. Kutatási eredményeit különösen nagyra értékelték annak révén, hogy élő műszaki problémára nyújtott tudományos értékű választ. Betonacéloknak az általa kidolgozott sajtolt csőhüvelyes toldása széles körű alkalmazást nyert házgyári lakások ezreinél és más területen is, pl. hidaknál

Már házgyári laboratóriumvezetőként figyelemmel fordult a szálerősítésű betonok felé. Nagyszámú, sokrétű vizsgálatot végzett ezek fizikai tulajdonságainak és alkalmazhatóságának megismerésére.

Munkáinak egy része a kecskeméti házgyárhoz kapcsolódott. Ennek bezárása után a szálerősítésű betontermékek gyártását saját vállalkozásában folytatta. Homlokzatképző termékeit megismerte és nagyra értékelte az építőipar. Számos jelentős épület homlokzatát ékesítik a termékei. Bensőséges és sok épületen nyomot hagyó kapcsolat fűzte Makovecz Imréhez. Ennek tanúja a néhai világhírű építész egyik könyvének

Magyari Bélához intézett ajánlása: „Örömmel ajánlom ezt a történelmi könyvet annak a kollégának, aki maga is történelmet csinál a szakmájában.”

Most ünnepelt tagtársunk folyamatosan kísérletezett, kutatta a szálerősítésű beton anyagait, az alkalmazásukkal készíthető elemeket. Az alkalmazásra szánt gyártmányok megfelelő voltát mindig igazolta anyag- és mérethű kísérleti példányokkal. Ő olyan mérnök, aki számára a tudományos kutatás mindig a gyakorlati életet szolgálja.

Hazai szakmai fórumok mellett külföldi konferenciákon (IABSE, FIP, **fib**, CCC stb.) is szerepelt számos alkalommal. Kutatási eredményeit és az országszerte megvalósult alkalmazásokat folyóiratokban és konferencia-kiadványokban közzétett cikkek mellett a tapasztalatai alapján elkészített igen hasznos termékek hosszú sora is igazolja.

Munkáját sok elismerés övezte közöttük 1996-ban Innovációs Nagydíjat kapott, 1998-ban Betonépítészeti Díjban részesült. Az igazi elismerés számára azonban az országszerte megvalósult építési példák nagy sora jelenti. Ezeket a közmegelegedésen kívül unokáinak is szívesen mutatja meg a sikeres munka örömeiként. Munkái közül csak kiragadott példa a piliscsabai Pázmány Péter Egyetem épülete, az egri Gárdonyi Géza Színház, a Szegedi Tudományegyetem József Attila Tanulmányi és Informatikai Központja, az Amerikai Nemzetközi Iskola Nagykovácsiban, valamint a Duna Ház.

2008-ban hirtelen, súlyos betegség érte. Ez nem törte meg a szakma iránti szeretetét. Nagy szellemi kapacitását kamatoztatta Kozák Jánossal való együttműködésében. Sok más eredmény mellett e folytatást dicséri a 4-es metró Szent Gellért téri és Fővám téri állomásának burkolata, valamint az öntömörülő, nagyszilárdságú szálerősítésű beton kifejlesztése.

Magyari Bélát a fizikai nehézségek sok részén csodálatosan átsegíti felesége, aki szintén kiváló építőmérnök. Az ő mindenkori, sokoldalú segítségéért mi is köszönetet mondunk.

A **fib** Magyar Tagozata kívánja, hogy tisztelt tagtársunk végezze kedve szerint tanácsadói, szakfordítói és más munkáját számítógépe mellett. Legyen meg mindene, ami segíti maga építette szép kecskeméti otthonában, ápolja jókedvűen gazdag növényzetű kertjét, töltsön kellemes nyári időszakot mátrai nyaralójukban, lelje sokáig örömét családjá körében.

T. G.



BETONMIX

Szálerősítéses betonok

Tervezés

Betontechnológia

Szakértés

Diagnosztika

Ipari padlók

Térbetonok

Betonszerkezetek

Hibajavítás

- optimális javítási technológia kidolgozása
- szakvélemény
- javítás kivitelezése, felügyelete

Vízzáró-rendszermegoldások

- nedves falra
- vízbetörés ellen
- talajvíz ellen



BE SURE. BE KRYTON.



Georadar

- akár 6 méter mélységig
- geotechnikai anomáliák meghatározása
- aknák és üregek helyének meghatározása
- vasalás becslés

+36 30 377 8629

BETONMIX@BETONMIX.HU

WWW.BETONMIX.HU

A JÖVŐT ÉPÍTJÜK



A-HÍD ZRt.
H-1138 BUDAPEST
KARIKÁS FRIGYES U. 20.

www.ahid.hu



A-HÍD