

A **fib** MAGYAR TAGOZAT LAPJA

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF **fib**



Dr. Kisbán Sándor

Az M0 körgyűrű északi Duna-hídja

4. Ferdekábeles Nagy Duna-ág híd. Alépitmények, pilon-szerkezet

38

Dr. Arany Piroska —

Dr. Lichter Tamás

Száz éves a Műegyetem Campusa — Épületdiagnosztika és irodalomkutatás

44

Dr. Balázs L. György —

Dr. Lublói Éva

Magas hőmérséklet hatása a vasbeton szerkezetek anyagaira

48

Dr. Balázs L. György —

Dr. Kausay Tibor

Betonok fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálata és követelmények 2. Vizsgálat

55

SZEMÉLYI HÍREK

Dr. Zvonimir Marić 65 éves

Dr. Dalmy Dénes 70 éves

Kiss Lajos emlékére

66

fib BULLETIN 45

PRACTITIONERS' GUIDE TO FINITE ELEMENT MODELLING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

68

2009/2

Főszerkesztő:

Dr. Balázs L. György

Szerkesztő:

Dr. Träger Herbert

Szerkesztőbizottság:

Beluzsár János

Dr. Bódi István

Csányi László

Dr. Csiki Béla

Dr. Erdélyi Attila

Dr. Farkas György

Kolozsi Gyula

Dr. Kovács Károly

Lakatos Ervin

Madaras Botond

Mátyássy László

Polgár László

Telekiné Királyföldi Antonia

Dr. Tóth László

Vörös József

Wellner Péter

Lektori testület:

Dr. Deák György

Dr. Dulácska Endre

Dr. Janzó József

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 Mérnökgeológia
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: Bene László

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: 200 000 Ft+áfa

belső borító: 160 000 Ft+áfa

A hirdetések felvétele:

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

Címlap:

Épülnek az M6 autópálya

hídjai és alagútjai

TARTALOMJEGYZÉK

38 Dr. Kisbán Sándor

Az M0 körgyűrű északi Duna-hídja

4. Ferdekábeles Nagy Duna-ág híd. Alépítmények, pilonszerkezet

44 Dr. Arany Piroska – Dr. Lichter Tamás

Száz éves a Műegyetem Campusa

Épületdiagnosztika és irodalomkutatás

48 Dr. Balázs L. György – Dr. Lublőy Éva

Magas hőmérséklet hatása a vasbeton szerkezetek anyagaira

55 Dr. Balázs L. György – Dr. Kausay Tibor

Betonok fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálata és követelmények

2. Vizsgálat

66 Személyi hírek

Dr. Zvonimir Marić 65 éves

Dr. Dalmy Dénes 70 éves

Kiss Lajos (1926-2009) emlékére

68 fib BULLETIN 45

PRACTITIONERS' GUIDE TO FINITE ELEMENT MODELLING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

A folyóirat támogatói:

Vasúti Hidak Alapítvány, Swietelsky Építő Kft., DDC Kft., ÉMI Kht.,
Hídépítő Zrt., MÁV Zrt., MSC Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft.,
Lábatlani Vasbetonipari Zrt., Pont-Terv Zrt., Strabag Zrt., Uvaterv Zrt.,
Mélyépterv Komplex Mérnöki Zrt., Hidtechnika Kft., Betonmix Mérnökiroda Kft.,
BVM Épelem Kft., CAEC Kft., Pannon Freyssinet Kft., Stabil Plan Kft.,
SW Umwelttechnik Magyarország Kft., Union Plan Kft., DCB Mérnöki Iroda Kft.,
BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéke,
BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

4. FERDEKÁBELES NAGY DUNA-ÁG HÍD. ALÉPÍTMÉNYEK, PILONSZERKEZET



Dr. Kisbán Sándor

A cikkben összefoglaljuk a híd alépítményeinek és pilonszerkezeteinek jellemzőit. Ismertetjük a parti közös pillérek és a mederpillérek alépítményeit. Bemutatjuk a 100 m magas pilonok kialakítását, a pilonépítés sajátosságait, az építés segéd szerkezeteit, az építést kiszolgáló daru pilonhoz való kikötését. Ismertetjük a pilonépítés geodéziai ellenőrző rendszerét, figyelembe véve a szekrény keresztmetszetű ferde pilonszárak sajátosságait. Bemutatjuk a pályaszerkezet speciális, hidraulikus támaszokkal kialakított saruzását. Ismertetjük a pilon építészeti elemeit, a pilonfej üvegfal burkolatát.

Kulcsszavak: ferdekábeles híd, folyami alépítmény, vasbeton pilonszerkezet.

1. BEVEZETÉS

Az M0 Megyeri Duna-híd 1862 méteres hosszúságával hazánk leghosszabb folyami hídja, amely öt, egymás után kapcsolódó különböző hídszerkezetből áll, áthidalva a Duna mindkét ágát és a Szentendrei-sziget déli részét. A híd általános bemutatását, kialakulásának folyamatát, az engedélyezési terv szerkezeteit Hunyadi (2008) ismerteti.

A Duna főágában, a váci oldalon, Magyarországon eddig nem alkalmazott ferdekábeles, háromnyílású hídszerkezet épült (Kisbán, 2008). A híd két pilonnal készült, a kábelek legyezőszerűen két síkban függesztik fel 12 m-enként az acél-szerkezetű merevítőtartót. A híd támaszközei 145+300+145 m,

összhossza 590 m. Mind a pesti oldalon (balparti ártéri híd), mind a Szentendrei szigeti oldalon a csatlakozó hídszerkezetek feszített vasbeton ártéri hidak. Az ártéri hidakat Pusztai és Skultéty (2009) ismerteti.

Az M0 autópálya hídon átvezetett szakasza 2x2 forgalmi sáv, leállósávval. A hídon a leálló sáv az előírtnál szélesebb. A későbbiekben, ha a forgalom növekedése megköveteli, a kétoldali leálló sávok megszüntetésével a kocsipálya 2x3 forgalmi sávra bővíthető a hídszerkezet átalakítása nélkül. A híd északi oldalán mozgássérültek közlekedésére is alkalmas kerékpárút, a déli oldalon gyalogjárda épült. A kocsipálya burkolata aszfalt, a gyalogjárda kopásálló, érdesített sókorrózió elleni bevonatot kaptak. A hidat közvilágítással, hajózási- és repülési jelzőfényekkel látták el.

1. ábra: Az elkészült ferdekábeles híd



2. ALAPOZÁS

A Dunába kerülő mederpillérekkel kapcsolatban folyamáramlási és mederfenék kimosási hatásvizsgálatok készültek. A szimulációs vizsgálatok megállapították, hogy a tervezett mederpillérek elhelyezése áramlási szempontból kedvező, jelentős áramlásmódosulás nem várható. A hajózás biztonságát, a meder és a part állékonyságát a pillérek nem veszélyeztetik.

A parti közös pillérek és a két mederpillér alapozása mély-alapozással, nagyátmérőjű fűrt vasbeton cölöpökkel készült. A cölöpcsúcsok mind a négy alaptestnél a kiváló teherbírású alapkőzetbe, az oligocén korú szürke, márgás, sovány és közepes agyagrétegbe kerültek.

A fűrt vasbeton cölöpök és a cölöpösszefogó alaptest betonjának szilárdsági jele C 20/25, az alépítményi felmenőfalé C 30/37, a szerkezeti gerendasáv betonjácé C 35/45.

2.1 A közös pillérek

A közös pillérek alapozása 16-16 db nagyátmérőjű fűrt vasbeton cölöppel készült. A 19,00 m hosszú cölöpök átmérője 1,50 m. A vasbeton cölöpösszefogó alaptest alaprajzi mérete a híd tengely irányában 7,50 m, keresztirányban 49,40 m, magassága 2,00 m.

A felmenőfal oldala 1:20 hajlással készült, két vége csúcsíves kialakítással, gránit orrkövel ellátva. A felmenőfal alsó 5,50 m magas szakaszának vastagsága 6,76 – 6,21 m, szélessége 48,36–47,40 m. A felmenőfal felső 7,00 m magas szakasza állandó 4,60 m vastagságú, szélessége 40,20 – 36,90 m.

A felszerkezet megtámasztására és lehorgonyzására a felmenőfal felső részén kialakított szerkezeti gerendarészen a függőleges terhelésekre két saruzsámoly készült 28,83 m tengelytávval és két lehorgonyzóhely 24,03 m tengelytávval. A híd keresztirányú megtámasztását biztosító saruzsámoly a híd tengelybe került.

2.2 A mederpillérek

A mederpillérek alépítménye a folyami hidaknál már alkalmazott és bevált vasbeton kéregelemes módszerrel épült. Az alépítmény nagy mérete miatt 3-3 db, egymás mellé helyezett kéregelem összeépítése biztosította a körülzárt munkateret.

A kéregelemeket dúcolatukkal együtt mintegy zsaluzatul szolgálva bebetonozták. A kéregelemekre csavarokkal rögzített 5,00 m magas visszabontandó acél őrfal került, melynek felső szintje 101,50 mBf., így 50 cm-es hullámváz figyelembevételével a körülzárt munkatér a 101,00 mBf-i építési vízszintig volt szárazon tartható.

2. ábra: A kéregelemek elhelye



3. ábra: Cölöpfejek vasalása a vízalatti betonozás felett

A mederpillérek 46-46 db nagyátmérőjű fűrt vasbeton cölöppel készültek. A 19,50 m – 20,50 m hosszú cölöpök átmérője 1,50 m. A vasbeton cölöpösszefogó alaptest alaprajzi mérete a híd tengely irányában 16,50 m, keresztirányban 70,00 m, magassága a vízalatti betonozással együtt 4,50 m. Felső síkja 96,50 mBf, azonos a vb. kéregelemek felső síkjával.

A felmenőfal oldala 1:20 hajlással készült, két vége áramlástanai szempontból kedvező csúcsíves kialakítással. Az orrkészleteket az uszadékok és a jégzajlás ütköző, romboló hatása miatt fagyálló gránit burkolattal alakították ki. A felmenőfal vasatagsága 8,00 – 7,00 m, szélessége 64,90-63,16 m, magassága 10,20 m. A felső felmenőfal részen kialakított szerkezeti gerendasávba kötnek be a vasbeton szerkezetű pilonszárak. A felmenő fal (szerkezeti gerenda) felső szintje a csapadékvíz levezetése miatt kétoldali 5 %-os lejtésű.

3. A PILON

Ferde pilonszárakkal kialakított pilonszerkezettel épült ferdekábeles folyami híd a németországi Rheinbrücke Düsseldorf-Flehe híd, (Schambeck, H., Foerst, H., Honnefelder, N., 1979), amelynek építési tapasztalatai elősegítették a Megyeri híd tervezését és megvalósítását.

A két pilonszerkezet részlegesen feszített, vasbeton szekrény keresztmetszetű pilon szárból kialakított, „A” formájú térbeli keretszerkezet. Magasságuk az alépítmény felett 100 m, a pilonszárak külső befoglaló mérete az alépítményi befogásnál 51,0 m. A pilonszárak keresztmetszete 5,0 x 4,0 m-ről parabolikusan csökken 3,5 x 4,0 m-re, a falvastagság szintén változik, 1,0 m-ről 0,5 m-re csökken. A pilonszárak külső élei R=300 mm-es lekerekítéssel készültek, csökkentve ezzel a szélörvények kialakulási lehetőségét. A pilonszerkezetek betonjának szilárdsági jele C40/50.

A keretszerkezetű pilonban a hídszerkezeti önsúly és a ferdekábelek előfeszítő erőrendszerének együttes hatására keletkező keresztirányú hajlítógénybevételek keresztirányú feszítéssel egyenlítették ki. A feszítést a pilonszárak külső falában elhelyezett, hazánkban eddig nem alkalmazott 40 mm átmérőjű feszítőrudak biztosítják, anyagminőségük 1030.

A pilonszárakat az alépítményi befogás felett 55,0 m-re egy szekrény keresztmetszetű vasbeton gerenda köti össze. Az összekötő gerenda feletti pilonszár szakaszokban helyezték el a ferdekábelek felső lehorgonyzását biztosító acélszerkezetű elemeket.

A lehorgonyzó kamrák födémeivel egyidőben bebetonozott szerelvényként az egyes lehorgonyzási szinteken acélszerkezetű lehorgonyzó elemek készültek, melyek biztosítják a ferdekábelek felső lehorgonyzását. A függőleges terhelést közvetlenül a pilonszár 60 cm vastag falának adják át, a vízszintes teher



4. ábra: A $\varnothing 40$ feszítőrúdak lehorgonyozása az alépítményben



5. ábra: A $\varnothing 40$ feszítőrúdak lehorgonyozása munkahézagnál

komponensek pedig az acélszerkezeten keresztül záródnak. Építési állapotban a merevítőtartó szerelésekor, végleges állapotban pedig kábelcsere esetén a féloldalas terhelést az acélszerelvény alján kialakított acélszerkezetű nyírófog adja át a vasbeton födém szerkezetnek.

A pályaszerkezet acélszerkezetű konzolok segítségével támaszkodik közvetlenül az alépítményi befogás felett 9,0 m-re kialakított 1,35 m magas rövid konzolokra.

6. ábra: Ferdekábel lehorgonyzó acélelem



A rövid konzoloknál alakították ki a merevítőtartó hosszirányú megtámasztását, hidraulikus támaszokkal.

4. A PILONÉPÍTÉS SAJÁTOSSÁGAI

A pilonszárak kúszózsalus építési technológiával, az általános szakaszokon 4,07 m-es magasságú építési ütemekben készültek. A kapcsolódó szerkezeti pontoknál (rövid konzol, összekötő gerenda, ferdekábel lehorgonyozások, pilonfej csatlakozás stb.) további munkahézagok kialakítása volt szükséges.

A konzolos pilonszárépítés miatt az alépítményi befogás felett 32,0 m-re és 52,0 m-re kitámasztó acélszerkezetű segéd tartókat építettek be. A felső segéd tartó egyben az összekötő gerenda zsaluzatát is alátámasztotta. A segéd tartók célszerű alkalmazásával elérhető volt, hogy az építés közbeni igénybevételek nem haladták meg a végállapotú pilonszerkezet határteherbírását.

A pilonépítést két daru szolgálta ki. Az alépítmény északi végében telepített 68 m magas daru alépítménybe befogott konzolos szerkezet volt, az összekötő gerenda elkészülte után elbontották. Az alépítmény déli végében telepített daru végső kiépítésében 116 m magas volt, magassága az építés során a pilonépítéssel összhangban növekedett. Az építés során az alépítményi befogáson kívül 38 m, 58 m és 80 m-es magasságokban a már meglévő pilonszerkezethez kötötték ki. Egyidőben mindig csak két kikötés volt aktív, amivel a pilonszárakra ható daruterhelést lehetett úgy optimalizálni, hogy a járulékos daruterhekre a pilonkeresztmetszetek megerősítés nélkül megfeleljenek.

A merevítőtartó konzolos szabadszerelése elkezdődött a pilon szerkezetépítésének befejezése előtt. A 87 m magasán található pilonszárakat mereven összekötő vasbeton födém betonozása ezért külön intézkedések mellett történt. A még konzolos pilonszárak felső végeit a már lehorgonyzott ferdekábelek erőhatásai, illetve a déli pilonszárhoz kikötött építési daru dinamikus hatásai egymáshoz képest elmozgathatták, nyírási igénybevételt okozva az összekötő födémlemben. A födém szakasz betonozása ezért a délutáni munkavégzés befejezésekként történt, majd a daru egy teljes munkanapra leállt, elkerülendő a frissbeton kötés közbeni sérülését. A beton szilárdulását kötés gyorsító adalékanyagok mellett külső fűtés is segítette, majd 36 óra múlva folytatódott az építés.

A merevítőtartó szabadszerelésével összhangban, a



7. ábra: Pilonszárak építés közben

merevítőtartó parti nyílásban történő járomlekötése után került sor a pilonszárak és az összekötő gerenda közötti háromszög födémeinek, a függőleges liftaknának és a homlokzati üvegfa-
falnak az építésére. Erre az építés alatti mértékadó szélteher csökkentése miatt volt szükség.

5. A PILONÉPÍTÉS GEODÉZIAI RENDSZERE

A pilonszárak építése közben az egyes építési ütemek zsaluzatbeállítását kiemelt figyelemmel kezelték. A külső felületi sík tartása mellett a pilonszár vízszintes keresztmetszet átlós távolságait, az oldalhosszakat, valamint a pilonszár keresztmetszet tengely körüli elcsavarodását (torzulás) is méretpontossági követelményekkel előre meghatározták.

A beállításhoz illetve az ellenőrzéshez a geometriai kitűzés pontjait pilononként meghatározott lokális koordinátarendszerben határozták meg. A kitűzés az építési technológiának megfelelő sorrendben történt. Először a belső zsalutáblákat helyezték el. A feszítőrudak, a vasszerelés és az esetleges szerelvények elhelyezése után szerelték fe a külső zsaluzatot. A beállítási és ellenőrzési mérési pontokat a zsalutáblák felső élén jelölték ki.

A mérési pontok alapértéke a terv szerinti végállapotnak felelt meg. Ez az alapérték az egyes építési fázisokban módosult az ún. „túlemelési” értékekkel. A túlemelési értékek

8. ábra: Daru kikötése a pilonszárhoz



tartalmazták az időben lejárászódo folyamatok miatti változásokat (kúszás, zsugorodás, lassú alakváltozás, építési állapotok aktuális „túlemelési értéke”), illetve az aktuális építési terhek, hőmérsékleti körülmények, esetlegesen szükséges korrekciók miatti értékeket.

A túlemelési értékekkel módosított mérési pontokat építési zömöknént adták meg, az építés során folyamatosan, az aktuális építési körülmények ismeretében. Megadták a tényleges építési hőmérsékletre tartozó magassági eltéréskorrekció értékét is, amivel az egyenletes hőmérsékletváltozás hatását vették figyelembe. A tervezettől eltérő zsaluzati felső szint korrekciójához függőleges értelemben +/- 60 mm-es tartományra vonatkoztatott „magassági eltéréstáblázatot” is megadták, hogy a pilonszár ferdeségéből adódó függőleges tengely irányú adatmódosítás a geodéziai mérésakor közvetlenül elvégezhető legyen.

A geodéziai méréseket a kora reggeli órákban végezték el. Ezzel nagyban csökkenthető volt az egyenlőtlen hőmérsékleti hatáshoz adódó alakváltozás hatása.

6. AZ ALÉPÍTMÉNYEK KÜLÖNLÉ- GESSÉGEI

A híd hosszirányú megtámasztása a pilonoknál, keresztirányú megtámasztása a hídvégi közös pilléreknél és a pilonoknál történik.

A pilon rövid konzoloknál alakították ki a merevítőtartó hosszirányú megtámasztását, hidraulikus támaszokkal. A hazánkban először alkalmazott hidraulikus támaszok lassú erőváltozásokra - hőhatásra, kúszás/zsugorodásra, támaszsüllyedésre – elhanyagolható mértékben reagálnak, míg gyors teherváltozás esetén – fékezőerő, szélteher, földrengés - merev támaszként működnek. A hidraulikus támaszok húzó és nyomó igénybevételt is felvesznek.

A támaszonkénti határerő 2400 kN, ezt meghaladó igénybevétel esetén (a Richter skála szerinti 5,5 fokozatnál nagyobb földrengés esetén) a hidraulikus támaszok kioldanak, és a ferdekábeles hídszerkezet híd hosszirányban kilengő szerkezeté válik. A statikai rendszer átalakul, az igénybevételek leépülnek, de híd hosszirányban egy kilengés jön létre, ami nem haladja meg a 300 mm értéket. Ezt az alakváltozást lehetővé teszi a beépített dilatációk mozgástartománya.

A keresztirányú megtámasztást a közös pilléreken a hídtengelyben elhelyezett hagyományos szélsaruk biztosítják. A pilléreknél a szélsaruk csak nyomóigénybevétel felvételére alkalmas, nagynyomású gázzal töltött szerkezetek, a pilonszárakat közvetlenül a rövidkonzolok felett terhelve támasztják meg a pályaszerkezet támaszkeresztjét. A széltámaszok lassú erőváltozásokra - hőhatásra, kúszás/zsugorodásra, támaszsüllyedésre – elhanyagolható mértékben reagálnak, míg gyors teherváltozás esetén – szélteher, földrengés - merev támaszként működnek.

Az alépítményi függőleges saruzás támaszigénybevételei nem jelentősek, a pályaszerkezet függőleges megtámasztá-

9. ábra: Hosszirányú hidraulikus támasz



sát túlnyomó részt a pilonokba lehorgonyozott ferdekábelek biztosítják. A függőleges saruzás mind a közös pilléreknél, mind a pilon rövid konzoloknál a hídépítési gyakorlatban szokásos kétirányban mozgó fazéksarukkal megoldott. A közös pilléreknél 19 pásmás kábelekből kialakított lefeszítő „ingaoszlopok” akadályozzák meg a ferdekábeles híd végeinek felemelkedését.

7. A PILON ÉPÍTÉSZE, ÜZEMEL- TETÉSE

Az „A” formájú pilon méreteivel, megjelenésével a ferdekábeles híd meghatározó szerkezeti része. A pilonszárak és az összekötő gerenda közötti háromszöget acél falvázoszlopokra szerelt homlokzati üveggallal burkolták.

Az üveggall esztétikai alkalmazása újszerű a hídépítésben. A napszaknak és a nézőpontnak megfelelően az üveggall megjelenése folyamatosan változik. Átsüt rajta a nap, hártyszerűen csillogva jelenik meg a pilonszárak között, a keretező vasbe-



10. ábra: Pilonfej kialakítása

ton pilonszár-felületek visszatükröződnek az üvegfelületen. Az egyes üvegtáblák keret nélküliek, 2x10mm-es ragasztott, félig edzett üvegek, hő- és fényvisszaverő tulajdonsággal rendelkeznek. A feszültségmentes üvegtáblák a toronyházaknál alkalmazott csuklós pontmegfogó rögzítéssel készültek. Az üveggall szerelése, tisztítása alpinista módszerrel történik.

A piloncsúcs lamellás kiképzése nappal árnyékhata miatt, sötétedés után pedig az esti fényfüzér megvilágítással kerül kiemelésre.

A pilonszárak belső kialakítása az építetói igényeknek megfelelően történt.

Az északi pilonszár a ferdekábelek legalsó lehorgonyzási szintjéig belső lépcsővel, míg a déli pilonszár belső ipari lifttel lett ellátva. Az összekötő gerendából induló függőleges lift a pilonfejig biztosítja a szerkezetek elérhetőségét. A lifttel kialakított pilonszakaszok egyben belső hágcsoval is megközelíthetőek.

8. A PILONSZERKEZET ÖSSZEFOG- LÁLÓ ADATAI

A pilon építéshez felhasznált anyagok egy pilon esetén :

Beton	C40/50	1700 m ³
Betonacél	B500B	370 t
Feszítőrúd	1030 minőségű	19 t
Ferdekábel lehorgonyzó acélszerelvény		80 t



11. ábra: Üvegfal pontmegfogásos részlete



12. ábra: Pilonzsár belső lépcső

9. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A beruházás megvalósítását a Hídépítő Zrt-ből és a Strabag Zrt-ből alakult M0 Északi Duna-híd Konzorcium végezte. A híd generál tervezője a Céh Zrt. volt, az építési tervek az UNITEF-CÉH Kkt készítette a konzorcium megbízásából.

Az alépítmények és a pillérek kivitelezését a Hídépítő Zrt végezte. A pilonok kúszó zsaluzási munkáit a PERI Kft készítette. Egy mederpillér komplett alépítménye 6 hónap alatt, a hozzá tartozó pilonszerkezet 11 hónap alatt készült el. A mederpillér teljes szerkezeti magassága a cölöpök csúcsától a pilonfej tetejéig 132 m, ebből az alépítményből konzolosan kinyúló „A” formájú pilonszerkezet 100 m.

A ferdekábeles Nagy Duna-ág híd meghatározó szerkezeti és látványelemei a pilonszerkezetek. A ferdekábeles híd esztétikai megjelenésével méltón illeszkedik a főváros szép hídjainak sorába, és növeli a főváros jelképeinek, látványosságainak számát.

10. HIVATKOZÁSOK

- Hunyadi M. (2008): Az M0 körgyűrű északi Duna-hídja. Előtervezés, engedélyezési terv, vállalkozásba adás. *Vasbetonépítés*, 2008/3.
- Pusztai P., Skultéty Á. (2008): Az M0 körgyűrű északi Duna-hídja. Feszített vasbeton ártéri hidak. *Vasbetonépítés*, 2009/1.
- Schambeck, H., Foerst, H., Honnefelder, N. (1979): Rheinbrücke Düsseldorf-Flehe/Neuss-Uedesheim. Der Betonpylon. *Bau-ingenieur* 54 (1979) 111-117.
- Kisbán S. (2008): Az M0 északi Duna-híd. Ferdekábeles Nagy-Duna-ág-híd. *Magyar Tudomány* 2008/4.

Dr. Kisbán Sándor (1949) okl. szerkezetépítő mérnök (BME 1973), a Céh Zrt. hídszakági főmérnöke, a Céh-Híd Kft ügyvezető igazgatója. Hídtervezői pályafutását 1975-ben az Uvaterv-ben kezdte, ahol nagyfeszítávú acélszerkezetű hidak tervezésében vett részt (Szegedi Északi Tiszahíd, Tiszapalkonyai közúti híd, Jugoszlávia – Újvidéki ferdekábeles Duna-híd). Dr. techn. címét ferdekábeles hidak témakörben 1986-ban szerezte meg (BME–Acélszerkezetek Tanszék).

2002-től a Céh Zrt-ben végzi hídtervezői tevékenységét, számos hazai folyami és autópálya híd tervezését készítette és irányította (M0, M31, M6 autópálya- és völgyhidak, M0 Északi Duna-híd). Szakmai tevékenységének elismeréseként megkapta a Gábor Dénes díjat (2008) és a Széchenyi-díjat (2009). A *fib* Magyar Tagozatának tagja.

BRIDGES ON THE M0 MOTORWAY OVER THE RIVER DANUBE NORTH OF BUDAPEST

4. Cable Stayed Great Danube Branch Bridge.

Substructure, pylon structure

Sándor Kisbán

In this article, we sum up the characteristics of the bridge substructure and pylon structure. We give information on the substructure of the common piers on the bank and of the bed piers. We present the design of the 100 m high



13. ábra: Az elkészült pilonszerkezet

pylons, the characteristics of the pylon construction, the auxiliary structures of the construction, the anchoring of the crane serving the construction to the pylon. The geodesic controlling system of the pylon construction, considering the characteristics of the box profiled stayed pylon legs are outlined. We present the bearing system of the deck slab by special hydraulic supports. We give information on the architectural elements and on the glazed wall coating of the pylon head.

SZÁZ ÉVES A MŰEGYETEM CAMPUSA — ÉPÜLETDIAGNOSZTIKA ÉS IRODALOMKUTATÁS



Dr. Arany Piroska — Dr. Lichter Tamás

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem előintézményének, a József Nádor Műegyetem látványosi épületegyüttesének építése 1902-ben kezdődött és lényegében 1909-ben fejeződött be. A kor legjelentősebb építész-tanár egyéniségei tervezték – Czigler Győző, Petz Samu, Hauszmann Alajos – vagy vettek részt az épületek megvalósításában. A XX. század eleje a korszerű vasbetonszerkezet születésének bölcsője és a fejlődés jól követhető az egyetemi épületek szerkezetein is. Az épületek szerkezeteinek technológiatörténeti kutatása, diagnosztikai vizsgálata során a száz éves vasbetonszerkezeteket – azok megvalósítását, anyagainak fizikai, mechanikai állapotát – igyekeztünk átvilágítani. Cikkünkkel egyrészt tisztelgünk a tervezők-építők emléke előtt, másrészt rá akarunk világítani a műemléki épületek szerkezetdiagnosztikájának szabvány háttér hiányosságaira, a tartósság, élettartam vonatkozásában.

Kulcsszavak: BME, építéstörténet, épületdiagnosztika, irodalomkutatás, korabeli szerkezetek, anyagvizsgálatok

1. BEVEZETÉS

Épületdiagnosztikai vizsgálatok során közismert tény, hogy az épületre, építményre vonatkozó eredeti, illetve korábbi tervek, régebbi vizsgálatok, szakvélemények ismerete elengedhetetlenül szükséges. Ezek lényeges kiindulási adatként szolgálnak a vizsgálandó épület egyes szerkezeteinek kellő mélységű megismeréséhez (Kelemen, 1981; Balázs, 1997). Ilyen dokumentumok beszerzése, tanulmányozása műemléki épületek esetén komolyabb időráfordítással járó, könyvtári, levéltári, múzeumi kutatásokat igénylő munka.

2002-2009 között diagnosztikai vizsgálatokat végeztünk a BME történeti épületegyütteséből a CH, az MT, a Központi Könyvtár és a K épületen. E munkák kapcsán, a levéltári kutatások eredményeként sikerült az épületek eredeti terveit, költségvetését, illetve a korabeli anyagok (cement, téglák, kő stb.) gyártására, bányászatára vonatkozó ipartörténeti dokumentumokat találni – amelyek sokszor igen érdekes olvasmányok is voltak egyben. (ICM Kft., 2001)

Az alábbiakban ezen irodalomkutatásból, helyszíni vizsgálatokból mutatunk be néhány adatot, ami a Műegyetem száz éve elkészült történeti épület-együttesének betonszerkezeteihez kapcsolódik.

2. RÖVID ÉPÍTÉSTÖRTÉNET

A Műegyetem épületegyüttesét az új Ferencz József híd, a Duna, a Promontori út (mai Budafoki út) és a Boráros téri híd budai oldala által határolt, mintegy 32,728 négyzetméteres területre tervezték. A korabeli fotón (1. ábra) jól látható, hogy a terület a Duna egy öble, ahol jelentős feltöltési munkákat kellett elvégezni.

Az egyetemi épületegyüttes tervezésével Czigler Győzöt bízták meg, aki 1900-ra elkészítette a beépítési tervet. Konceptiója szerint az új egyetem 12 épületből állt volna. A tényleges tervezés, építés 1902-ben kezdődött.



1. ábra: Lágymányos a XX. század elején (ICM Kft., 2001)

Czigler Győző tervezte a CH és az F épületet is, azonban az utóbbi építések, 1905-ben elhunyt. Az építési-tervezési munkák irányítását Hauszmann Alajos vette át, aki Pecz Samut kérte fel a tervezésben való részvételre. Pecz összesen öt épületet tervezett, amelyek 1909-re készültek el egyszerre: a Központi Könyvtár, az MT, az MM épületek és a kazánház. Az ötödik épület, az obszervatórium, a II. világháborúban megsemmisült. A Hauszmann Alajos által tervezett Központi „K” épület szintén 1909-ben készült el. Az épületek kivitelezését szakáganként hirdették meg versenytárgyaláson. A földmunkát, alapozást és kőművesmunkákat Havel Lipót építési vállalkozó nyerte meg minden épületen. Havel Lipót a századforduló Budapestjének jelentős vállalkozója volt. Ő építette például a Műcsarnokot és a Vígszínházat is. Az egyetem tervezőivel már korábban kapcsolatban állt: ő kivitelezte a Hauszmann Alajos által tervezett, XI., Budafoki út 3. szám alatti lakóépületet 1902-ben. A versenytárgyalást (2. ábra), valamint a bánatpénz kifizetését követően kötöttek szerződést (3. ábra).

A vasbetonszerkezetek tervezését és kivitelezését Biehn János nagyvállalkozó nyerte el, szintén minden épületen. Biehn Jánosnak aszfalt és kátrány termékeket készítő gyára volt, amelynek „Rabitz osztálya” tervezte a vasbetonszerkezeteket.

A „Vállalati Részletes Feltételek” lényegében egy korabeli építési szabályzat, amely szabvány híján a tervez során szabja meg a beépítendő anyagok mechanikai és fizikai paramétereit, valamint a kivitelezés minőségi elvárásait, a módját, és az egyes munkák elszámolását is.

Az épületek beton- és vasbetonszerkezeteinek építése 1902 és 1909 között nagyon jól reprezentálja a XIX. század végén, XX. század elején felgyorsuló beton és vasbeton szerkezetépítést. Az épületek alapozásának anyaga románcement kötőanyagú beton. A CH épület alapozását eredetileg valószínűleg teljes egészében lemezalapra tervezték. Ezt úgy változtatták meg, hogy a mélypince alapozása maradt lemezalap, de a főfalak alá már sávalap készült. Hasonló módon a többi épület is beton sávalapozású. A legvastagabb feltöltés a K épület keleti homlokzati fal déli végén van, itt a sávalap mélysége meghaladja a nyolc métert.

Az elsőnek épült CH épület zárófödémei Monier-szerkezetek (5. ábra), illetve járható rabcok voltak.

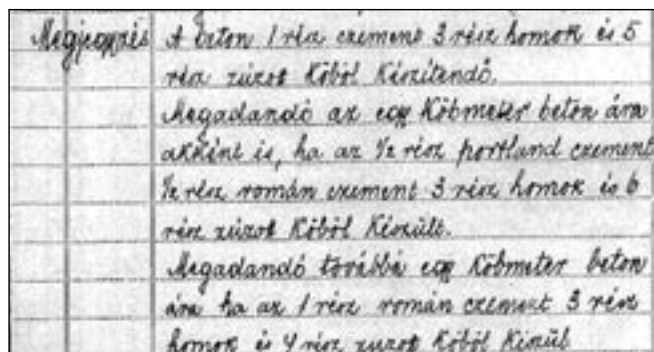
Az acéltartók alsó öve fölött Ø6 mm-es gömbvasat vezettek,



2. ábra: Versenytárgyalás kiírása
(Tételes költségvetés)



3. ábra: Szerződés a CH épület építésének munkáira (Tételes költségvetés)

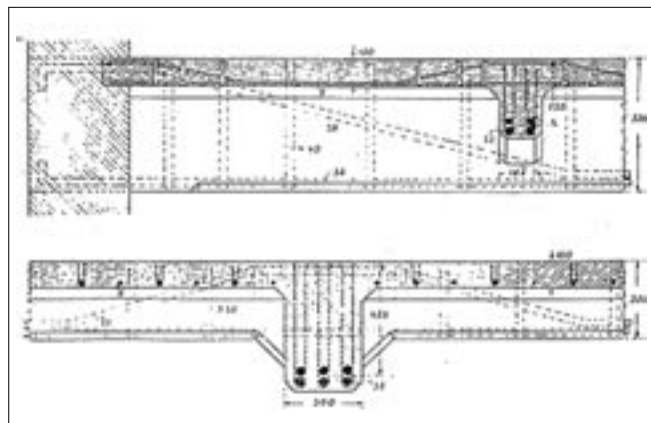


4. ábra: A Műgyetem CH épület betonalapjának összetétele a tételes költségvetés alapján (Tételes költségvetés)

The diagram shows a cross-section of a beam with a top flange and a web. The top flange has a width of 25 cm and a thickness of 2 cm. The web has a height of 20 cm. The neutral axis is shown as a dashed line. The distance from the top edge of the flange to the neutral axis is labeled as $5 \frac{1}{2}$ cm. The distance from the bottom edge of the web to the neutral axis is labeled as $9 \frac{1}{2}$ cm. The total height of the beam is 20 cm. The moment of inertia is calculated as $I = 10000 \text{ cm}^4$.

5. ábra: Monier-rendszerű földem (Fővárosi Levéltár)

A Központi Könyvtár, az MT épület szerkezetei az akkor teljesen új, (a mai vasbetonépítés öse), Hennebique-szerkezetek voltak (6. ábra)



6. ábra: A Hennebique-féle építési rendszer (Mihailich, 1966)

Az épületek vasbeton szerkezeteinek kutatása nagyon izgalmassá vált. A fellelt statikai számításokon, vasbeton terveken az olvasható aláírás Biehn Jánosé, akinek viszont nem volt tervezői jogosultsága, nyilvánvalóan, mint vállalkozó írta alá a terveket. A CH épület tervein még nem tudtuk megfejtetni az aláírást, a Központi könyvtárnál és MT épületnél a valós tervező Lipták Pál volt, aki ebben az időben Petz Samu tanszékén volt tanársegéd, 1907-ben doktorált. Persze, azonnal felvetődik a kérdés: miért nem Zielinski Szilárd a tervező, aki ekkor szintén tanszékvezető és a „Vasvázás betonszerkezet” licencének képviselője.

A könyvtár vasbeton szerkezeteinek geometriai kialakítása, főtartó, fióktartó, lemez- és vasszerelése már igazi Hennebique szerkezet. A vasszerelés nemcsak hajlítási, hanem bizonyos mértékben a nyírási igénybevételt is figyelembe veszi. A feltárt laposvasból, egyes helyeken köracélból készített kengyelezés a támasz felé nincs még kellőképpen besűrítve; az alsó húzott vasak lapos 30°-os felvezetése még nem biztosítja a repedésmentes állapotot.

Az elkészült vasbeton szerkezetet próbaterheléssel adták át, amelyet fotóztak, illetve jegyzőkönyveztek. A Könyvtár nagytérjének földemének próbaterhelése 1909. június 11-én történt (7. ábra).

A vasbetonszerkezeti tervezés rendkívül gyors fejlődését mutatja a K épület építése idején a második emelet feletti



7. ábra: Központi Könyvtár Nagyolvasó födém próbaterhelése (Fővárosi Levéltár)

zárófödém (8. ábra) és a CH épület hasonló geometriájú Monier-rendszerű födémének összehasonlítása (7. ábra).

A Monier-födémekben a vasszerelésnek technológiai szerepe van, a beton a poroszüveg födémek acélgerendák közötti téglaboltozathoz hasonlóan dolgozik. A K épület zárófödém vasbeton szerkezetének vasszerelése az igénybevételt követi, a teherviselésben számítottan részt vesz.

A födémek tervezése és építése között ~6 év telt el. Itt is készült próbaterhelés 1909. augusztus 28-án. A jegyzőkönyv szerint a 17,75 m²-es terhelési mezőre 165 db 60 kg-os cementes zsákot helyeztek el, azaz összesen 9900 kg-mal terhelték a födémmezőt. Az ellenőrzés közben károsodást, repedést nem tapasztaltak.

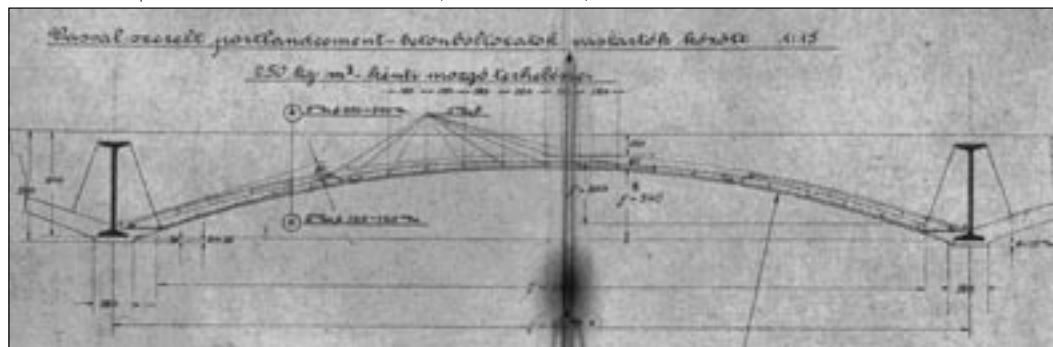
Különösen jelentős dokumentum Biehn János K épületre, illetve a Központi Könyvtár, MT, MM épületek és a kazánház építésére kötött szerződésének „Vállalati Részletes Feltételek” melléklete, illetve részletes költségvetése.

A szerkezetek méretezéséhez meghatározták a minimális szilárdságokat:

- a beton „nyomó igénybevétele”: 50 kg/cm²
- a hengerelt vas „igénybevétele”: 1200 kg/cm²
- a vas és beton rugalmassági modulusa közötti arányt: $n = 1/15$ -re kellett felvenni,
- oszlopoknál a beton „nyomó igénybevételét” a törési határ értékének $1/10$ -ében kellett meghatározni.

Fontos, hogy beton keverési arányainál a cement mennyiségét súlyban kellett megadni és a helyszínen mérni. A bedöngölt, ma földnedvesként meghatározható betonba köbméterenként 300 kg cementet kellett keverni, a homok-kavics aránynak 1:2-nek kellett megfelelnie.

8. ábra: A K épület eredeti zárófödémének terve (Fővárosi Levéltár)



A továbbiakban az épületek betonszerkezeteihez kapcsolódó korabeli cementvizsgálatokra térünk ki.

4. ELŐDEINK CEMENTVIZSGÁLATAI

A Műegyetem épületeinek levéltári kutatásában a CH épület dokumentációjának összegyűjtése igen széleskörű volt. A cementgyártás és a vasbetonépítés fejlődéstörténetének (Balázs, 1994) általános megismerésén túl, a költségvetésekben talált betonösszetételekhez fontos volt a felhasznált cement tulajdonságainak konkrét ismerete is.

Levéltári adatokból kiderült, hogy a CH épület alapozási munkáihoz beocsini cementet alkalmaztak (Beocsin: Vajdaság/Szerbia). A BME elődje, a Királyi József Műegyetem Műszaki Mechanika Laboratóriumával kapcsolatos Kísérleti Állomás végezte a cementvizsgálatokat (mai szóhasználattal a „gyártásközi minőségellenőrzést”). A CH épület műszaki ellenőre, Jendrassik Alfréd küldte be a mintákat. Ezekből a cement átlagos nyomószilárdsága 132,8 kp/cm² volt.

A cementtel szemben támasztott korabeli követelmények abban az időben nem voltak magasak. A Magyar Mérnök és Építész Egylet 1877-ben adta ki a mai szabványokhoz hasonló előírását. A magyar vizsgálati módszer a német és orosz előírásokhoz igazodott, de megengedte tiszta cementté őrölt, valamint előírt keverékből való próbatestek készítését. A próbatestek készítési módjai is különbözőek voltak. A fenti előírás az alábbi szilárdsági értékeket írta elő követelményként:

28 napos korban:

románcement nyomószilárdsága: 80 kp/cm² (~8 N/mm²);

portlandcement nyomószilárdsága: 160 kp/cm²

(~16 N/mm²)

A tényleges vizsgálati eredmények rendszerint túlhaladták a fenti értékeket.

Az eredeti nyomószilárdsági adatok földnedves habarcsból készített, 70,7 mm élhosszúságú próbakocka vizsgálati eredményei voltak.

A Közlemények (1906) részletes adataiból megállapítható, hogy a beocsini portlandcement jellemző vizsgálati nyomószilárdsága 28 napos korban, földnedves habarcs vizsgálva 25-30 N/mm² volt. Ugyanez az érték a beocsini románcementekre 12-15 N/mm². Ezek az adatok is azt igazolták, hogy a korabeli, tényleges cementvizsgálati eredmények jóval meghaladták a követelmény értékeket. Ahhoz, hogy a diagnosztikai vizsgálat során ellenőrzött betonban alkalmazott cementfajtát legalább tájékoztatás jelleggel össze lehessen hasonlítani egy mai cementfajtaival, és így betonösszetétel elemzéséhez, illetve a beton szilárdságára vonatkozóan adatot kapjunk, ahhoz mélyebbre kell menni a cementvizsgálatokat illetően.

A cement minőségi (nyomószilárdsági) osztályát a kezdetektől fogva földnedves habarcs és 70,7 mm élhosszúságú próbakockán vizsgálták. A földnedves habarcs

összetétele 1:3 – cement : homok arány és annyi víz, hogy előírt bedolgozás mellett a felület márványeres legyen.

1972-ig ez a módszer volt érvényben. 1972-től az előírások a képlékeny habarccsal végzett cementszilárdsági vizsgálatot írják elő,

ahogyan napjainkban is. A képlékeny habarcs összetétele: 1 : 0,5 : 3 – cement : víz : szabványhomok, és megadott gépi keverés, illetve bedolgozás, 40x40x160 mm-es hasábon.

Azért lényeges e két különböző vizsgálati mód, mert ezek ugyanazon cementnél eltérő szilárdságokat eredményeznek. Egyértelmű, átszámítás jellegű összefüggés nincs a földnedves és a képlékeny cementhabarcsokon mért adatok között.

Az ismeretes, hogy a földnedves habarcs szilárdsága és a képlékeny habarcs szilárdságának logaritmusai között hozzávetőlegesen lineáris az összefüggés, bizonyos határok között (Kilián, 1975).

A cementek fentiek miatti összehasonlítására, megfelelőségére az alábbiak adnak tájékoztatást (Kilián, 1975):

- földnedves habarcs vizsgálattal a cement szilárdsági jele (1956): 600; 500; 400
- képlékeny habarcsvizsgálattal a cement szilárdsági jele (1972): ~450; ~350; ~200-250
- képlékeny habarcsvizsgálattal a cement szilárdsági jele (mai): ~42,5; ~32,5; ~22,5.

Ha a fenti tájékoztató jellegű összefüggéshez hozzávesszük a beocsini portland cement földnedves habarcsra kapott 250-300 kp/cm² nyomószilárdsági adatait, akkor a mai 22,5 szilárdsági jelű cementet közelíti meg.

Érdemes megjegyezni, hogy a CH épület építése idején, építési tapasztalatok szerint föld alatti építkezéseknél a fele-fele arányban adagolt román- és portlandcementtel készített beton előnyösebb volt a tiszta portlandcementtel készített betonnál.

Ezek az adatok nagyban segítettek a diagnosztikai vizsgálatok során a beton roncsolásos (mágminta) szilárdság vizsgálati eredményeinek értékelésében, illetve a ma százéves beton további anyagtani viselkedésének megítélésében.

5. ZÁRÓGONDOLAT

Épületek teherhordó szerkezeteinek felülvizsgálatára – amihez elengedhetetlenül szükséges a részletes diagnosztika, komplett irodalom-kutatással, anyagvizsgálatokkal – jelenleg az MI 15011-1988 (1988) műszaki irányelv a leggyakrabban használatos műszaki dokumentum. Ennek 4.2. fejezete: Igazolás a használati tapasztalatok alapján és 4.3. fejezete: Igazolás erőtani számítás alapján, valamint az anyagok ellenőrzésére vonatkozó mellékletei jó kiindulásul szolgálnak az egyes épületszerkezetek erőtani ellenőrzéséhez. Tapasztalataink szerint ez a műszaki irányelv semmiképpen nem elegendő a szerkezetek komplex megfelelőségének, így tartósságának vizsgálatára, élettartamának tervezésére. A műszaki irányelvek kiadása óta eltelt húsz év alatt közismerten óriási fejlődés zajlott le mind az anyagok, mind az idevonatkozó technológiák és a műszaki szabályozás tekintetében. Fontos tényezővé vált a szerkezetek tervezésében a használati élettartam, a szerkezeti elemek karbantartási költségeinek minimalizálása, a szerkezetek tartósságának növelése. A mérnöki létesítmények (hidak, silók, tornyok stb.) tervezésében, felújításában az elmúlt húsz év hatalmas fejlődést hozott. A legrégebbi vasbetonszerkezetek műemléki épületeinkben is száz évesek, rehabilitációjukban újra kell gondolnunk és korszerűsíteniünk az idevonatkozó szabályozásokat, szabványokat, új anyagokat, technológiákat kell kifejlesztenünk.

Lully francia zeneszerző, karmester életrajza szerint úgy vizsgáztatta a fiatal hegedűst, hogy az elé tett kottát hibátlanul el kellett játszania, majd azt fejjel lefelé fordítva is. A diagnosztikát készítőnek tisztában kell lennie az anyagokkal, technológiákkal, úgy hogy „visszafelé” gondolkodva az ezekhez szükséges vizsgálatokat meg tudja határozni és el tudja végezni.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Épületdiagnosztikai vizsgálatok során – különösen műemléki épületek esetén – elengedhetetlenül szükséges a korabeli anyagok gyártásának, az anyagok tulajdonságainak pontos ismerete. A BME történeti épületeinek diagnosztikája kapcsán könyvtári és levéltári kutatásokat végeztünk a mintegy 100 éves épületeknél alkalmazott különböző építőanyagokat illetően. A CH épület beton- és vasbetonszerkezeteihez alkalmazott cementet sikerült pontosan beazonosítani és a korabeli cementvizsgálati eredményeket hasznosítani a betonok szilárdságának, a szerkezet teherbíró képességének és tartósságának megítélésénél. Felvetettük, hogy időszerűvé vált az MI 15011-1988 műszaki irányelv korszerűsítése, valamint a mérnöki létesítmények rehabilitációjához hasonlóan új anyagok, technológiák kifejlesztése vagy a meglévők adaptálása műemlék épületek szerkezeteire.

Szükségesnek tartjuk a rendeleti háttér újragondolását is, ami hangsúlyos szerepet ad a tervezést megelőző szerkezetdiagnosztikának is.

7. HIVATKOZÁSOK

- Balázs Gy. (1997), „Beton- és vasbetonszerkezetek diagnosztikája”, *Műegyetemi Kiadó*, Budapest ISBN: 963-420-543-7
- Balázs Gy. (1994), „Beton és vasbeton I: Alapismeretek története”, *Akadémiai Kiadó*, Budapest, ISBN 963 056 754 7
- ICM Kft.: Szakértői jelentés; BME Központi Könyvtár épületdiagnosztikai és statikai vizsgálatok; 2001
- Kilián J. (1975), „Építőanyagok I.” Egyetemi jegyzet, *BME, Tankönyvkiadó*, Budapest
- Kelemen L. (1981), „Épületdiagnosztikai vizsgálatok”, *ÉTK, Budapest*, ISBN 963 512 527 5
- „Közlemények a Kir. József Műegyetem Műszaki Mechanikai Laboratóriumával kapcsolatos kísérleti állomásról” (1906), VI. füzet, *Portland – cementek és Román cementek Pátia*, Budapest, 1906
- Mihailich-Haviár (1966): A vasbetonépítés kezdete és első létesítményi Magyarországon, *Akadémiai Kiadó*, Bp.
- MI 15011 (1988), „Műszaki Irányelv”, Épületek megépült teherhordó szerkezeteinek erőtani vizsgálata, *Magyar Szabványügyi Hivatal*
- „Tételes költségvetés, Vállalati Részletes Feltételek” – *Fővárosi Levéltár*

Dr. Arany Piroska (1946), okl. szerkezetépítő mérnök, címzetes egyetemi docens. A BME Építőanyagok, majd az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék oktatója 1970. és 2009. között. Oktatási tevékenységét a nappali, a levelező tagozaton, szakmérnöki és egyéb tanfolyamok keretében végzi jelenleg is. Kutatási, ipari megbízások szakértői tevékenységet elsősorban betontechnológia, kötőanyagok, szakipari munkák anyagai, minőségellenőrzés témakörben végez. Az MMK szakértője, tagja több szakmai bizottságnak, a *fib* Magyar Tagozatának, az SZTE-nek.

Dr. Lichter Tamás (1950) okl. építőmérnök, építéskivitelezési szakmérnök. Végzést követően ács-vasszerelő építészvezető a KÉV-METRO-nál, az M3-as metró szinte összes állomás beépítésében részt vett 1982-ig. 1978-80 között Algériában kenyérgyár mélyépítési munkáinak az építészvezetője. 1982-től egy fővállalkozással foglalkozó magasépítő céget irányít, amely könnyűszerkezettel iskolákat, gimnáziumokat, üzleteket épít. 1990-től Ukrajnában, Oroszországban dolgozik olasz cégekkel együttműködve faipari kombinátok rekonstrukciójának tervezésében, kivitelezésében. A 90-es évek közepétől épületdiagnosztikával, károsodott szerkezetek megerősítésének technológiai tervezésével és kivitelezésével foglalkozik. Fő érdeklődési területe: falazott szerkezetek szilárdságvizsgálata, történeti építéstechnológiák, károsodott szerkezetek helyreállítása.

CAMPUS OF BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IS 100 YEARS OLD – Diagnostics and literature review
Piroska Arany - Tamás Lichter

During building diagnoses – especially in case of monumental buildings – the knowledge on the fabrication and properties of contemporary materials is indispensable. Building diagnoses of the Budapest University of Technology and Economics were carried out in libraries and archives about building materials applied in the hundred years old buildings. The types of cement used in the CH building could be identified properly. We succeeded to use the contemporary results of the cement researches for the judgment of concrete strength, load carrying capacity and durability. We suggested that the MI 15011-1988 Technical Guidance should be improved to be able to consider the rehabilitation of monumentally structures. We find it necessary to reconsider the background of the Technical Guidance which modifies the building diagnosis and design.

MAGAS HŐMÉRSÉKLET HATÁSA A VASBETON SZERKEZETEK ANYAGAIRA



Dr. Balázs L. György – Dr. Lublóy Éva

Az utóbbi évtizedekben számos épületkatasztrófa igazolta, hogy a tűzteherre való méretezés továbbra is nagy jelentőséggel bír. A vasbeton szerkezetek tönkremenetele két okra vezethető vissza, az egyik az anyagszerkezeti változás; a másik a szerkezetek erőjátékának megváltozása a tűz hatására. A cikkben ismertetjük a beton és az acél tűzteher alatti és utáni viselkedését (anyagszerkezeti változását, szilárdságának változását). Fontos, hogy ismerjük a beton magas hőmérsékleten való viselkedését befolyásoló tényezőket és azok hatását. Jelen cikk célja a magas hőmérséklet hatására bekövetkező anyagszerkezeti változások áttekintése szakirodalmi adatok alapján. A következő cikkekben a szerkezeti viselkedés jellegzetességeit és lehetőségeit mutatjuk be.

Kulcsszavak: vasbeton szerkezetek, beton, acél, magas hőmérséklet, tűz, szilárdságcsökkenés, cement típus, v/c

1. BEVEZETÉS

A tűz, illetve a magas hőmérséklet az építőanyagokra nagy terhelést jelent. Tűz hatására az építőanyagok szilárdsági, illetve merevségi jellemzői jelentősen változhatnak. A cikk keretein belül a két leggyakrabban használt építőanyag (a beton és az acél) anyagszerkezeti, illetve szilárdsági jellemzőinek változását tekintjük át. Nagyon fontos tisztáznunk, hogy a tűz hatására bekövetkező anyagszerkezeti változások milyen következményekkel járnak az anyag viselkedése szempontjából (szilárdság, hőtágulás, törési összenyomódás, lehajlás, alakváltozás...).

2. A BETON VISELKEDÉSE MAGAS HŐMÉRSÉKLETEN

A megszilárdult beton két fő komponensből (adalékanyag és a cementkő) álló, összetett anyag. A hőmérséklet emelkedésének hatására mindkettőben változások következnek be. A hőmérséklet emelkedésével romlanak a beton szilárdsági jellemzői, aminek hatása van a szerkezet állapotára (1. ábra) is. A beton a lehűlés után sem nyeri vissza eredeti tulajdonságait, mivel a hőterhelés hatására a beton szerkezetében visszafordíthatatlan folyamatok mennek végbe.

A beton tűzterhelés hatására bekövetkező károsodása alapvetően két okra vezethető vissza (Kordina, 1997):

- a beton alkotóelemeinek kémiai és fizikai változására, illetve
- a betonkéreg réteges leválására.

A beton összetevőinek megfelelő megválasztásával a magas hőmérséklettel szembeni ellenálló képesség befolyásolható.

2.1 A beton kémiai és fizikai változása hőterhelés hatására

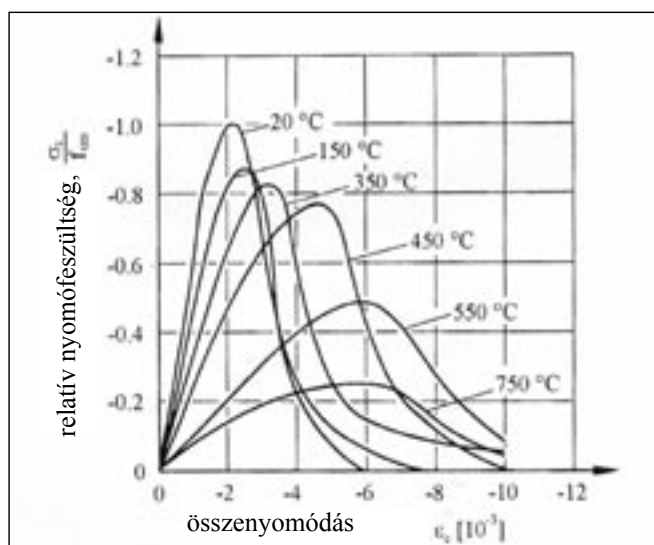
A beton szilárdsági tulajdonságainak változása magas hőmérsékleten elsősorban a következő paraméterektől függ (Thielen, 1994):

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

Magas hőmérséklet hatására a beton szerkezete megváltozik. A különböző hőmérsékleti tartományokban a betonban

1. ábra: Vasbeton oszlop egy raktárban történt tüzeset után (Csepel, Masped raktár, 1985)





2. ábra: A beton $\sigma - \epsilon$ diagramja a hőmérséklet függvényében (Schneider, Lebeda, 2000), a vizsgálat a hőterhelés során történt, 28 napos korú betonon

lejátszódó legfontosabb fizikai és kémiai folyamatokat röviden összefoglaljuk.

A hőmérséklet hatására bekövetkező kémiai átalakulások

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 bekövetkező exoterm (hőtermelő) vagy endoterm (hőelnyelő) folyamatok alakulását (Hinrichsmeyer, 1987).

100°C körül a makro-pórusokból távozó víz tömegvesztést 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 (Khouri, Grainger, Sullivan, 1985).

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.

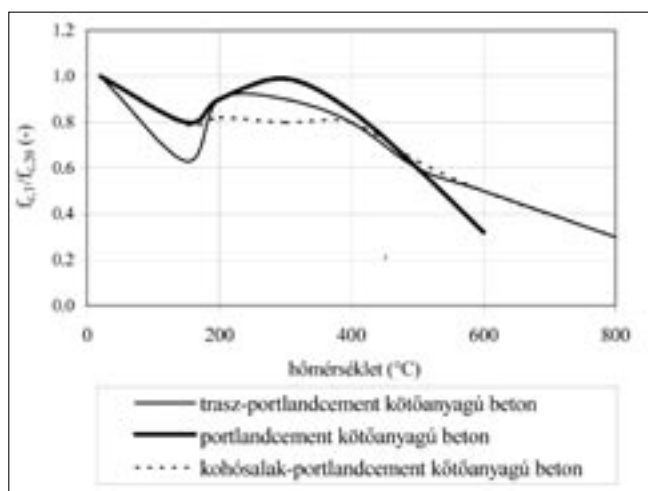
450°C és 550°C között a nem karbonátosodott portlandit (kalcium-hidroxid) bomlása következik be ($\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \uparrow$). Ez a folyamat endoterm (hőelnyelő) csúcsot, és ezzel egyidejűleg újabb tömegvesztést okoz (Schneider, Weiss, 1977).

573°C-on a közönséges betonok esetén a kvarc α módosulatból β módosulattá való kristályátalakulása okoz kis intenzitású, endoterm csúcsot. A kvarc ezen átalakulása 5,7%-os térfogat-növekedéssel jár (Waubke, 1973), ami a beton lényeges károsodását eredményezheti.

700°C-on a CSH (kalcium-szilikát-hidrát) vegyületek vízleadással bomlanak, ami szintén térfogat-növekedéssel 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.



3. ábra: A beton relatív maradó nyomószilárdságának változása magas hőmérsékleten a cement típusától függően (Schneider, 1986, a vizsgálat a visszahűlt állapotban történt, 28 napos korú betonon)

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.

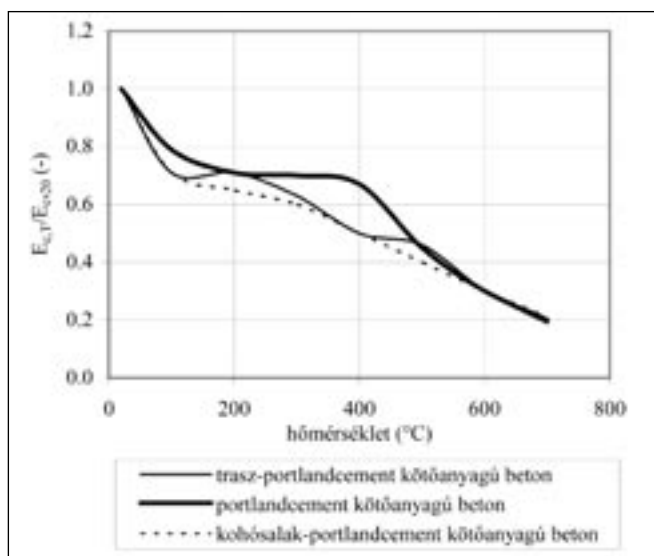
750 °C felett a pórusok átmérője nagymértékben növekszik. A különböző mikrorepedések mérete függ az adalékanyag legnagyobb szemmagyságától.

A beton $\sigma - \epsilon$ diagramjának változását a hőmérséklet függvényében a 2. ábrán mutatjuk be (MSZ ENV, 2005).

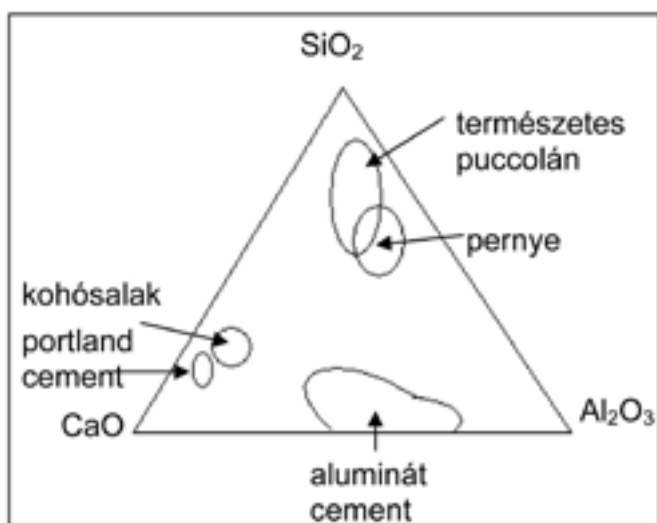
2.1.1 A beton maradó szilárdsági jellemzői hőterhelés után a cement-típus függvényében

Schneider az 1980-as években végzett kutatásokat, amelyekben a cementtípus hatását vizsgálta a hőterheléssel szembeni ellenálló képességre. A kísérletei során alkalmazott cementek kiegészítő anyag tartalma nem haladta meg a 15%-ot a cement tömegére vonatkoztatva. A 3. ábra mutatja a nyomószilárdság hőterhelés utáni alakulását a cementtípus függvényében. A próbatestek vizsgálatát szobahőmérsékletre visszahűlt állapotban végezte. A hőterhelés időtartama 2 óra volt. A próbatestek melegítését terhelésmentesen végezte. Schneider (1986) ezen kísérleti eredményei nem mutattak jelentős eltérést a portlandcement és a kohósalak-portlandcement felhasználásával készült betonok hőterhelés utáni nyomószilárdságára vonatkozóan. A rugalmassági modulus mérése is szobahőmérsékletre visszahűlt állapotban történt. A 4. ábra a hőterhelés utáni rugalmassági modulus értékeit adja meg a rugalmassági modulus 20°C értékéhez viszonyítva. A beton rugalmassági modulusa (4. ábra) – a nyomószilárdsághoz hasonlóan – a hőmérséklet növekedésével egyidejűleg csökkent.

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 cementkő tulajdonságai tehát jelentősen befolyásolhatják a beton tulajdonságainak változását a hőmérséklet emelkedésének hatására. A cementkő hőterhelés utáni maradó



4. ábra: A beton relatív maradó rugalmassági modulusának változása magas hőmérsékleten a cement típusától függően (Schneider, 1986. a vizsgálat a visszahűlt állapotban történt, 28 napos korú betonon)



5. ábra: A kiegészítő anyagok hatása a cementek összetételére (fib bulletin 38)

szilárdságát befolyásolják:

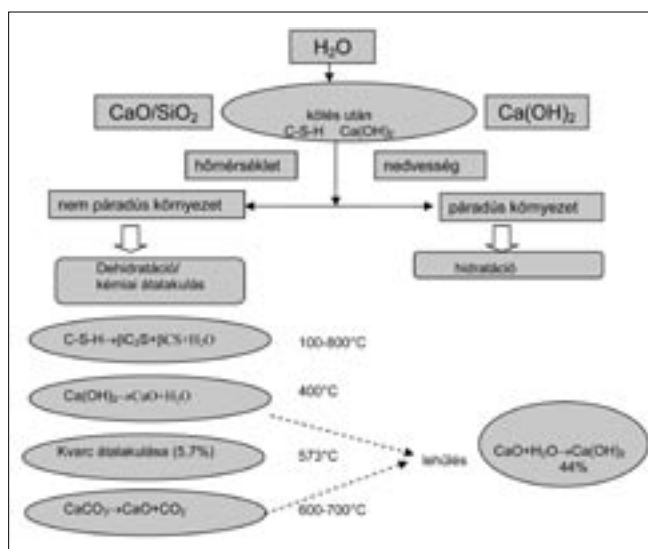
- a víz-cement tényező,
- a CaO-SiO₂ (C/S) hányad,
- a cementkő Ca(OH)₂ tartalma,
- a cement hidratációjának foka,
- a cementkő nedvességtartalma.

Az 5. ábrán a cement összetételének és a C/S-hányadnak az összefüggését láthatjuk.

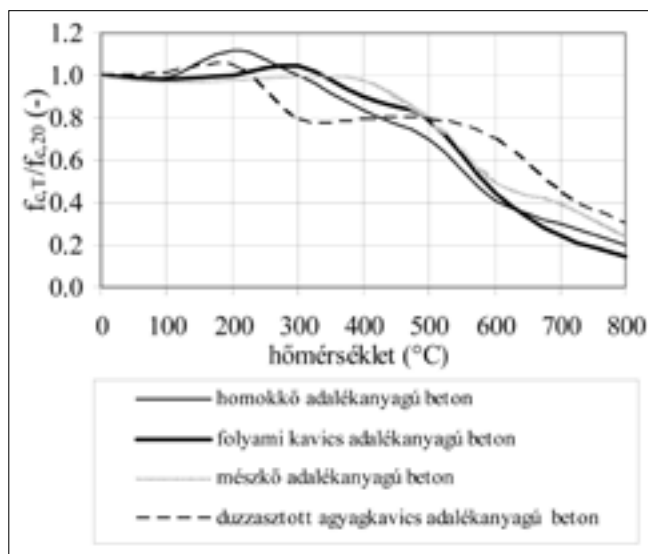
A cementkő magas hőmérsékleten való viselkedését melegítéskor a környező levegő nedvességtartalma is befolyásolja. Máshogy viselkedik a páradús környezetben (6. ábra bal oszlop) és a nem páradús környezetben (6. ábra jobb oszlop) melegített cementkő a hőmérséklet emelkedése során (6. ábra). Jelentősebb kémiai változások zajlanak le a száraz környezetben melegített cementkő esetén a fizikailag és a kémiailag kötött víz távozása miatt. A kémiai változások miatt megváltozik a porozitás, a pórusok mérete, és mikro- repedések keletkeznek.

2.1.2 A beton maradó szilárdsági jellemzői hőterhelés után az adalékanyag típusától függően

A beton maradó szilárdságát magas hőmérséklet hatására az adalékanyag típusa is befolyásolja (Schneider, 1986; Khoury



6. ábra: A cementkőben bekövetkező kémiai változások a nedvességtartalom és a hőmérséklet függvényében (fib bulletin 38)



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

et al, 2001). Schneider (1986) eredményei alapján a 7. és a 8. ábrán jól látható, hogy az adalékanyag típusa jelentősen befolyásolja a beton magas hőmérsékleten való viselkedését: minden adalékanyag típushoz jellegzetesen más viselkedés tartozik. Ennek legkézenfekvőbb magyarázata, hogy a különböző adalékanyagok alakváltozása a hőmérséklet függvényében eltérő (Niels, 2005).

A nyomószilárdság vizsgálatát ebben a kísérletsorozatban is szobahőmérsékletre visszahűlt állapotban végezték (Schneider, 1986). A nyomószilárdság-hőmérséklet összefüggés diagramja (7. ábra) alapján a következőket állapíthatjuk meg:

A kvarckavics és a mészkő adalékanyagú betonok esetén 400°C felett egyértelmű szilárdságsökkenés figyelhető meg. A mészkő adalékanyagú betonok szilárdságsökkenés szempontjából kedvezőbben viselkednek, mint a kvarckavics adalékanyagú betonok, viszont 800°C felett a mészkő átalakulása miatt alkalmazásuk kedvezőtlenebb.

500°C felett a duzzasztott agyagkavics adalékanyagú betonok kedvezőbben viselkednek, mint a kvarckavics vagy a mészkő adalékanyagú betonok. A kvarckavics adalékanyagú betonok szilárdságsökkenése 550°C-ig megközelítőleg 40%, a duzzasztott agyagkavics esetén ez a szilárdságsökkenés jóval kisebb, mintegy 20%. A szilárdságsökkenést 450°C-550°C között a portlandit bomlása, valamint az adalékanyag és a cementkő eltérő hőtágulása okozza.

A szokványos betonok hőterhelésre történő tönkremenetele a kontakt zónában következik be, amit az adalékanyag és a cementkő rugalmassági modulusának eltérése, illetve az adalékanyag felületén lerakódott portlandit (kalciumhidroxid) és ettringit réteg dehidratációja okoz. Az adalékanyag felületén vékony vízréteg válik ki, itt kristályosodnak ki a portlandit, valamint az ettringit ásványok. A nyomófeszültségi trajektóriák az adalékanyag-szemcséken keresztül futnak, ezért a *közönséges betonok nyomószilárdság értékét alapjában a cementkőváz szilárdsága korlátozza* (Hinrichsmeyer, 1987).

700°C fölött az adalékanyagtól függetlenül minden beton esetén további jelentős szilárdságcsökkenést figyelhetünk meg, amit a CSH-vegyületek átalakulása okoz.

A beton *rugalmassági modulusa* – a nyomószilárdsághoz hasonlóan – a hőmérséklet növekedtével folyamatosan csökken (8. ábra). A hőterhelés hatására a betonok közül a könnyűbetonok rugalmassági modulusa csökken a legkisebb mértékben. A legnagyobb mértékű csökkenést a kvarckavics adalékanyagú beton rugalmassági modulusa mutatja: itt a csökkenés már 100°C-on 33% körüli érték; 400°C-ig további csökkenés következik be mintegy további 20 %-kal csökken a rugalmassági modulus értéke; 400°C-550°C között jelentősebb, mintegy újabb 30 %-os csökkenés figyelhető meg; 600°C felett a görbe enyhén lejt. A 100°C-ig bekövetkező drasztikus csökkenést a pórusokból távozó víz és a repedések képződése okozza. A rugalmassági modulus jóval nagyobb mértékű csökkenést mutat, mint a nyomószilárdság csökkenése (Hinrichsmeyer, 1987).

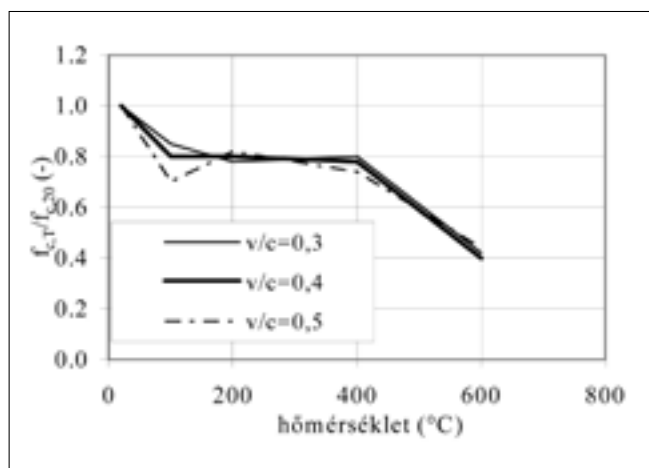
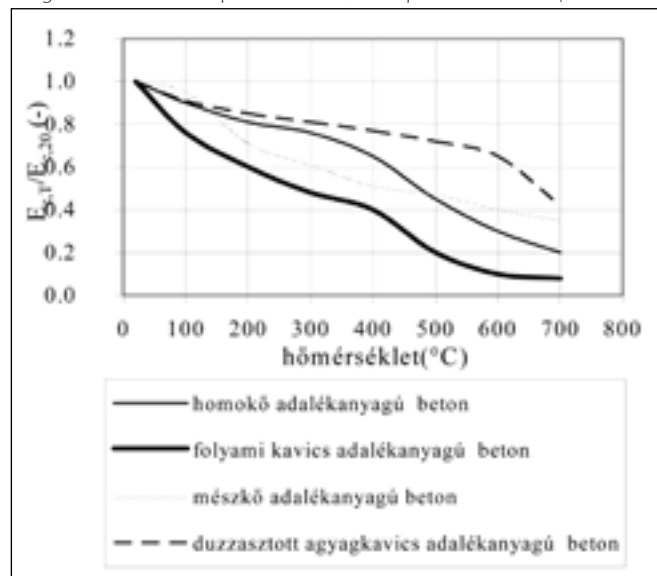
2.1.3 A beton maradó szilárdsági jellemzői a víz-cement tényező és az adalékanyag-cement tényező függvényében

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

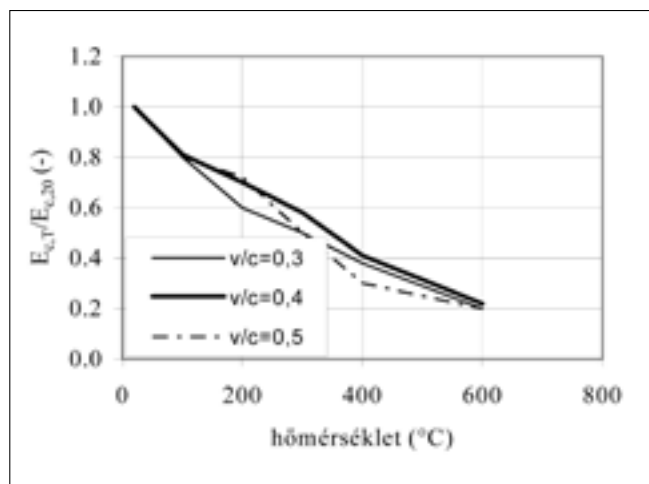
Az *adalékanyag-cement tényező hatása* 400°C-ig nem jelentős, viszont minél nagyobb a beton cementtartalma, annál jelentősebb mértékben csökken 400°C felett a maradó nyomószilárdság (Schneider, Lebeda 2000).

A *víz-cement tényező* jelentős hatással van a *beton nyomószilárdságának* magas hőmérsékleten való alakulására (9. ábra).

8. ábra: A beton maradó, relatív rugalmassági modulusának változása magas hőmérsékleten az adalékanyag típusától függően (Schneider, 1986, a vizsgálat a visszahűlt állapotban történt, 56 napos korú betonon)



9. ábra: A beton relatív maradó nyomószilárdságának változása magas hőmérsékleten a víz-cement tényező függvényében (Hager, Pimienta, 2004, a vizsgálat visszahűlt állapotban történt, 56 napos korú betonon)



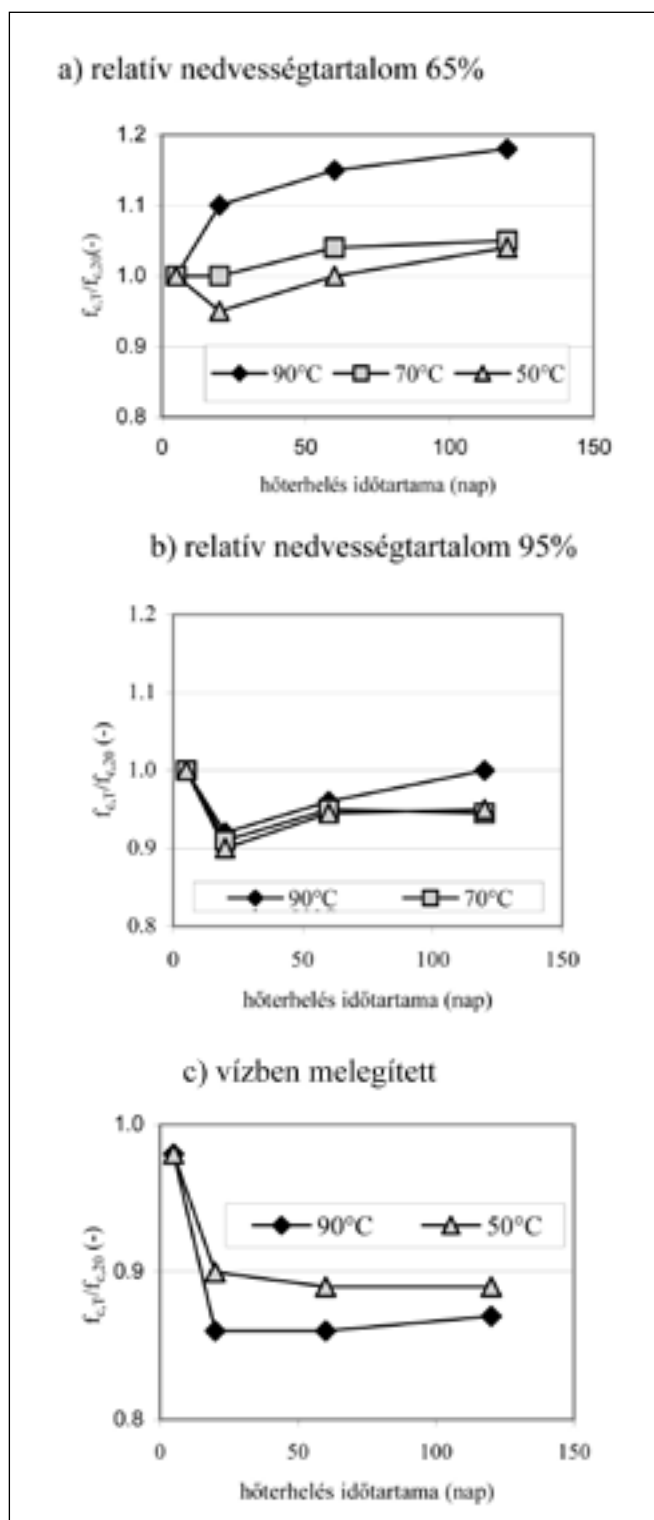
10. ábra: A beton relatív maradó rugalmassági modulusának változása magas hőmérsékleten a víz-cement tényező függvényében (Hager, Pimienta, 2004, a vizsgálat visszahűlt állapotban történt, 28 napos korú betonon)

Minél nagyobb a víz-cement tényező, annál kedvezőtlenebb viselkedést figyelhetünk mintegy 100°C-ig. Ezt a kémiai kötött és nem kötött víz távozásával magyarázhatjuk.

A *beton rugalmassági modulusának* alakulását a víz-cement tényező 100°C-ig csak kis mértékben befolyásolja, 100°C felett jelentősebb változásokat figyelhetünk meg (10. ábra).

2.1.4 A beton nyomószilárdságának alakulása hőterhelés után a beton kezdeti nedvességtartalmától függően

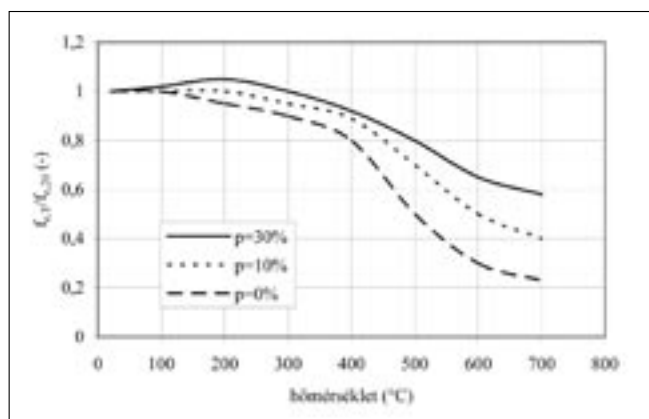
Budelmann (1987) betonhengereken végzett kísérletekkel igazolta, hogy a beton nedvességtartalmának, a kiszáradási időtartamának és a kiszáradási hőmérsékletének is döntő hatása van a beton számos paraméterének alakulására, köztük a nyomószilárdságára. Budelmann kísérleteihez kizárólag kvarckavics adalékanyagú betont használt. A 11. ábrán jól látható, hogy a beton mind 65%, mind 95%-os relatív nedvességtartalom mellett, 20 napos hőntartás esetén 10%-os szilárdságcsökkenést mutat. A hőntartás (szárítás) időtartamának növekedésével a szilárdságcsökkenés mértéke visszaesik, sőt a szilárdság még nőhet is. *A szilárdságcsökkenés mértéke annál kisebb, minél magasabb a kiszáradási hőmérséklet, minél nagyobb a hőntartás időtartama, és minél alacsonyabb a beton kezdeti nedvességtartalma.*



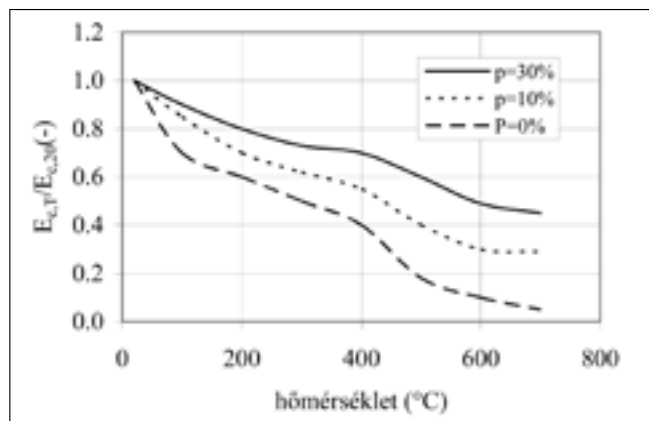
11. ábra: A betonszilárdság változása a hőterhelés időtartama, hőmérséklete és a levegő relatív nedvességtartalma függvényében (Budelmann, 1987)

2.1.5 A beton szilárdsági jellemzőinek alakulása a hőterhelés módjától függően

A beton elem helyzete némiképp kedvezőbb, ha a tűzterhelés során nyomóigénybevételnek van kitéve. A beton szilárdsági értékei az alacsonyabb hőmérsékleti tartományokban (50°C–200°C) nem csökkennek, sőt növekedhetnek. A duzzasztott agyagkavics adalékanyagú, illetve a samott beton szilárdságnövekedése nem ennyire jelentős. A *beton nyomószilárdságának* változása a terhelés és a hőmérséklet függvényében a 12. ábrán látható. A 13. ábrán a próbatesteket a melegítés során a töréshez tartozó erő 0, 10 és 30%-ánál terhelték ($p=0\%$, $p=10\%$,



12. ábra: A beton nyomószilárdságának változása a hőmérséklet és az előteher nagyságának függvényében (Schneider, 2000)
p: a melegítés során az alkalmazott teher a törőteher %-os értékében kifejezve



13. ábra: A beton rugalmassági modulusának változása a hőmérséklet és az előteher nagyságának függvényében (Schneider, 2000)
p a melegítés során az alkalmazott teher a törőteher %-os értékében kifejezve

$p=30\%$). A hőterhelés után törésig terhelték. Jól látható, hogy minél nagyobb előterhet adtak a próbatestekre a hőterhelés során, annál kisebb volt a szilárdságcsökkenés mértéke. Méretezés szempontjából a nagyobb teher alatti kisebb szilárdságcsökkenés kedvezőnek mondható, mivel a szerkezetet az önsúly állandóan terheli (Schneider, Lebeda, 2000).

A *rugalmassági modulus* (13. ábra) változása is kedvezően alakul, ha a próbatesteket a melegítés előtt megterheljük. A könnyűbetonok esetén a rugalmassági modulus szempontjából a teher alatti melegítésnek kisebb jelentősége van (Schneider, Lebeda, 2000).

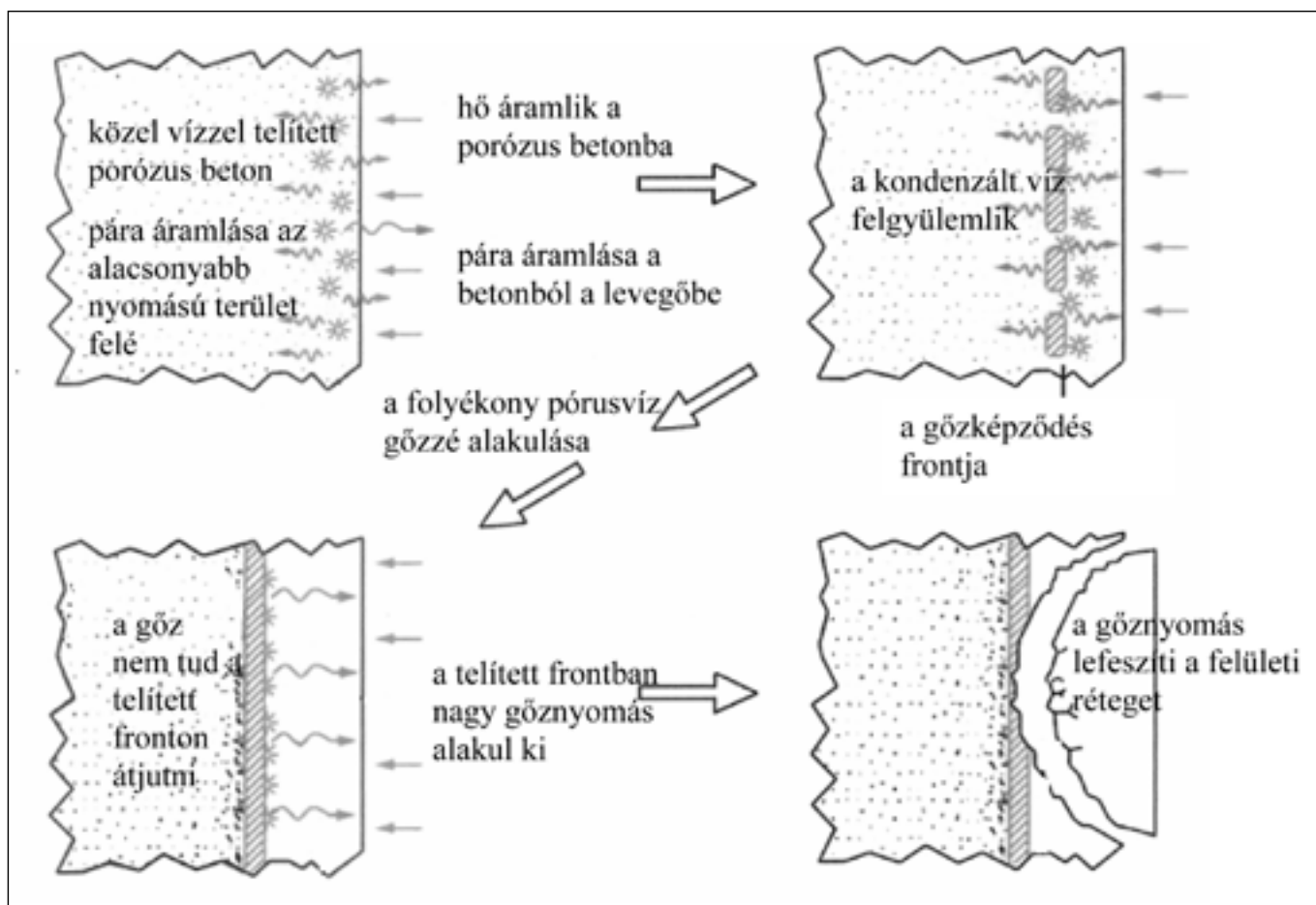
A melegen vizsgált próbatestek szilárdsága nagyobb, mint a lehűlt állapotban vizsgáltaké, amit a lehűlés során a betonban keletkező repedésekkel és feszültségekkel magyarázhatunk (Schneider, 1985). A lehűlés során a lehűlés sebessége sem közömbös a maradó nyomószilárdság szempontjából (13. ábra), gyorsabb lehűlés vagy lehűtés esetén a szilárdságcsökkenés mértéke nagyobb (CEB, 1991). Fehérvári (2008) legújabb eredményei alapján a lehűlés sebességének esetenként kisebb jelentőséget tulajdoníthatunk.

2.2 A betonkéreg réteges leválása

A betonkéregréteges leválásának két oka lehet:

- (1) a betonból távozó vízgőz lefeszíti a felületi rétegeket vagy
- (2) a terhelt zóna már nem tudja a hőtágulásból származó újabb erőket felvenni, és lemorzsolódik, leválik (Winterberg, Dietze, 2004).

A nagyszilárdságú betonok felületének leválását általában a hőmérséklet emelkedésének hatására bekövetkező feszültségek



14. ábra: A betonfelület leválásának mechanizmusa (Winterberg, Dietze, 2004)

okozzák; a normálbetonok esetén általában a betonból távozó vízgőz feszíti le a felületi rétegeket. A betonfelület egyik oldalát hőterhelés éri, a betonból távozó vízgőz hatására egy vízgőzzel telített réteg alakul ki, ahol a vízgőz nyomása egyre nő, és lefeszíti a betonrétegeket. A beton kéreg leválásának mechanizmusát a 14. ábrán ismertetjük.

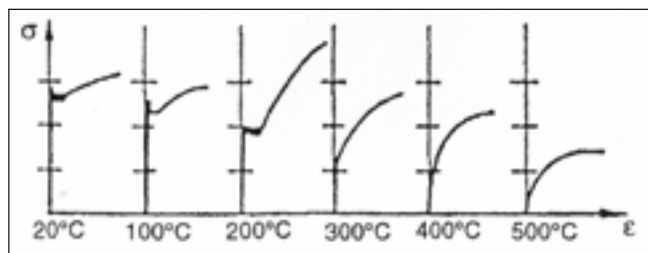
A betonfelület réteges leválásának az esélyét a következő tényezők befolyásolják:

- külső tényezők: a tűz jellege, a szerkezetre ható külső terhek nagysága;
- geometriai jellemzők: a szerkezet geometriai adatai, a betonfedés nagysága, az acélbetétek száma és elhelyezkedése;
- a beton összetétele: az adalékanyag mérete és típusa, a cement és a kiegészítőanyag típusa, a pórusok száma, a polipropilén száladagolás, az acél szálerősítés, a beton nedvességtartalma, áteresztőképessége és szilárdsága (Silfwerbrand, 2004).

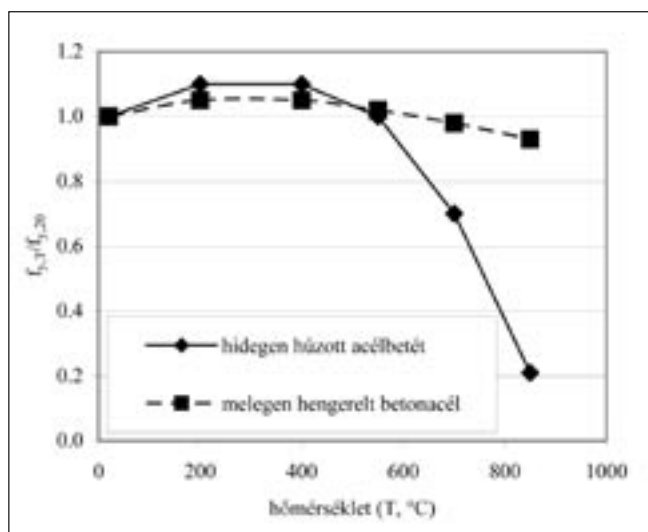
Alagutak esetén fontos, hogy a betonfelületek réteges leválása tűz esetén lehetőség szerint ne következzen be. Számos kísérlet igazolta, hogy a betonfelület leválásának veszélye műanyagszálak alkalmazásával jelentősen csökken, mivel a szálak kiegészése során létrejövő pórusszerkezet a szétrepedezés veszélyét csökkenti (Richtlinie, 2005; Dorn, 1993).

3. AZ ACÉL MAGAS HŐMÉRSÉKLETEN VALÓ VISELKEDÉSE

Az acél tartószerkezetek jó hővezetési képességük miatt a tűzzel szemben kevésbé ellenállóak, mint a beton, illetve a vasbeton szerkezetek. Az acél anyagú szerkezetek tűz esetén 10-15 perc után elveszthetik teherhordó képességüket és összeomolhatnak (Schneider, Lebeda, 2000). Az acél a hőmérséklet emelkedésével egyidejűleg nagy alakváltozásokra képes; ha



15. ábra: A melegen hengerelt acélok $\sigma - \epsilon$ diagramja a hőmérséklet függvényében (Reinhardt, 1973)



16. ábra: A hidegen húzott és a melegen hengerelt betonacél viselkedése hőterhelés után lehűlt állapotban (Felicetti, Meda, 2005)

az alakváltozások nem mehetnek szabadon végbe, akkor a szerkezetben keletkező feszültségek a szerkezet tönkremeneteléhez vezethetnek.

A melegen hengerelt acél szilárdsági jellemzőinek válto-

zását egy a hőmérséklet függvényében megadott $\sigma - \varepsilon$ ábrán mutatjuk be (15. ábra). Az ábrán jól látható, hogy a hőmérséklet emelkedésével megszűnik a folyási szakasz, csökken a szilárdság.

Vasbeton keresztmetszetek tervezéskor fontos, hogy az acélbetétek megfelelő tűzvédelmét megoldjuk. A hagyományos, melegen hengerelt betonacél vasalás esetén a kritikus hőmérséklet 500°C, a hidegen alakított betonacélok esetén pedig 400°C (Mészáros, 1990). A hőterhelés hatására máshogy viselkednek a melegen hengerelt és a hidegen húzott betonacélok, ezért méretezésük során különbséget kell tenni köztük.

Más a helyzet, ha az acél a hőterhelés után lehűl. A betonnal ellentétben az acélbetétek a lehűlés után szilárdságuk egy részét visszanyerik. A melegen hengerelt betonacélok a visszahűlést követően visszanyerik eredeti szilárdságukat, vagy annak jelentős részét. A melegen hengerelt betonacél maradó szilárdsága 850°C-os hőterhelést követően is mintegy 90% (16. ábra). A hidegen alakított acélbetétek szilárdságcsökkenése 500°C-ig nem észlelhető, de efelett a folyamat felgyorsul: 750°C-os hőterhelés után már jelentős, mintegy 30% a csökkenés; a hőmérséklet további emelkedésének hatására az acélbetétek szilárdsága tovább csökken, 850°C-os hőterhelést követően a maradó szilárdság már nem több, mint 20%.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az utóbbi évtizedekben számos épületkatasztrófa igazolta, hogy a tűzterhelre való méretezés kérdései továbbra is aktuálisak. Jelen cikkben a vasbetonszerkezetek anyagainak magas hőmérsékleten, illetve annak hatására való viselkedését mutatjuk be.

1. Beton: A betonban lejátszódó legfontosabb fizikai és kémiai folyamatok jelentősen befolyásolják a beton magas hőmérsékleten, illetve magas hőmérséklet hatására kialakuló anyagtulajdonságait. 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 beton kezdeti nedvességtartalmától, a hőterhelés módjától. Magas hőmérséklet hatására a beton szerkezete megváltozik.

2. Acél: Az acél tartószerkezetek a tűzzel szemben kevésbé ellenállóak, mint a beton, illetve vasbeton szerkezetek. Jelentős hőterhelés esetén az acél anyagú szerkezetek tűz esetén 10-15 perc után elveszíthetik teherhordó képességüket. Az acél a hőmérséklet emelkedésével egyidejűleg nagy alakváltozásra képes, ami a viselkedés szempontjából kedvező. Vasbeton keresztmetszetek tervezéskor fontos, hogy a vasbetétek megfelelő védelmét megoldjuk. A hagyományos melegen hengerelt betonacélok esetén a kritikus hőmérséklet 500°C, a hidegen húzott feszítőbetétek esetén pedig 400°C.

5. HIVATKOZÁSOK

- Budelmann, H. (1987), "Zum Einfluss erhöhter Temperatur auf Festigkeit und Verformung von Beton mit unterschiedlichen Feuchtegehalten", *Heft 76, Braunschweig*, ISBN 3-89288-016-6
- Dorn, T. (1993), "Berechnung des Tragverhaltens brandbeanspruchter Tragwerke in Verbundbauweise unter besonderer Berücksichtigung der Träger-Stützen Anschlüsse", *Heft 99, Braunschweig*
- Fehérvári, S. (2008), "A hűtés sebességének és módjának hatása a beton maradó nyomószilárdságára", Józsa, J. (szerk.): *Doktori kutatások a BME Építőmérnöki Karán*, Budapest
- Felicetti, R., Meda, A. (2005), "Residual behaviour of reinforcing steel bars after fire", *Proceedings of Keep Concrete Attractive*. Hungarian Group of fib, 23 - 25 Mai 2005, Budapest University of Technology and Economics, Budapest.: 2005, pp.: 1148-1156, ISBN 963 420 837 1
- 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
- Hilsdorf, H. K. (1967), "A method to estimate the water content of concrete shields", *Nuclear Engineering and design*, 6, pp. 251-263
- Hinrichsmeyer, K. (1987), "Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton", *Heft 74 IBMB, Braunschweig*
- Khoury, G. A., Grainger, B. N., Sullivan P. J. E. (1985), "Transient thermal strain of concrete: literature review, conditions within specimen and behaviour of individual constituents", *Magazine of Concrete Research*, Vol 37, No. 132
- Khoury, G. A. et al. (2001), "Fire Design of Concrete Materials structures and modelling", *Proceeding of 1st fib Congress*, Osaka, Japan, Oct. 2001
- Kordina, K. (1997), "Über das Brandverhalten punktgestützter Stahlbetonbalken", *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 479*, ISSN 0171-7197, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- Mészáros Gy. (1990) *Épületszerkezetek tűzállósági méretezése*, Szakértői tájékoztató, ÉMI
- Niels, H. P. (2005), "Fire Design of Concrete Structures", *Proceedings of fib symposium on Keep concrete attractive*, (edited by Gy. L. Balázs, A. Borosnyói), 23-25 May 2005 Budapest, pp.: 1097-1105
- Reinhardt H. W. (1973): "Ingenieurbaustoffe" Verlag von Ernst & Sohn, Berlin
- Schneider, U. (1986), "Properties of Materials at High Temperatures of Concrete", *RILEM Publ., 2nd Edition*, Gesamthochschule Kassel, Universität Kassel, 1986
- Schneider, U., Lebeda, C. (2000), "Baulicher Brandschutz" ISBN 3-17-015266-1 W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart
- Schneider U., Weiss R. (1977), "Kinetische Betrachtungen über den thermischen Abbau zementgebundener Betone und dessen mechanische Auswirkungen", *Cement and Concrete Research*, Vol 11, pp. 22-29
- Silfwerbrand, J. (2004), "Guidelines for preventing explosive spalling in concrete structures exposed to fire", *Proceedings of Keep Concrete Attractive*, Hungarian Group of fib. 23-25 Mai 2005, Budapest University of Technology and Economics, Budapest: 2005, pp. 1148-1156. - ISBN 963 420 837 1
- Thielen, K. Ch. (1994), "Strength and Deformation of Concrete Subjected to High Temperature and Biaxial Stress-Test and Modeling", (Festigkeit und Verformung von Beton bei hoher Temperatur und biaxialer Beanspruchung - Versuche und Modellbildung), *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 437*, ISSN 0171-7197, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- Waubke, N. V. (1973), "Über einen physikalischen Gesichtspunkt der Festigkeitsverluste von Portlandzementbetonen bei Temperaturen bis 1000°C-Brandverhalten von Bauteilen", *Dissertation, TU Braunschweig*
- Winterberg, R., Dietze, R. (2004), "Efficient passive fire protection systems for high performance shotcrete", *Proceeding for the Second International Conference on Engineering Developments in Shotcrete*, Cairns, Australia, October, 2004 ISBN: 0415358981

FELHASZNÁLT IRÁNYELVEK

- fib bulletin 38, (2007): Fire design of concrete structures- materials, structures and modelling, ISBN: 978-2-88394-078-9
- fib bulletin 46, (2008): Fire design of concrete structures- structural behaviour and assessment, ISBN: 978-2-88394-086-2
- MSZ ENV 1992-1-2: 2005 Betonszerkezetek tervezése, Általános szabályok, Tervezés tűzterhelésre
- Richtlinie (2005): "Erhöhter Brandschutz mit Beton für unterirdische Verkehrsbauteile" (2005) Wien ÖVBB

INFLUENCE OF HIGH TEMPERATURES ON CONSTITUENTS OF CONCRETE STRUCTURES

György. L. Balázs - Éva Lublőy

Recent fire cases indicated again the importance of fire research. Collapse of concrete structures or structural elements could be based on two deterioration mechanisms: deterioration of material properties or deterioration of structural performance. Purpose of present paper is to review the modification of material properties due to high temperatures both for concrete and reinforcement. Our next paper will indicate analysis of structural performance due high temperatures.

Dr. Balázs L. György (1958) okl. építőmérnök, okleveles mérnök matematikai szakmérnök, PhD, Dr. habil, egyetemi tanár, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék vezetője. Fő érdeklődési területei: beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek (anyagai, laboratóriumi vizsgálata és modellezése), szálerezősítésű betonok (FRC), nem acélanyagú (FPR) betétek, megerősítések anyagai és módjai, erőátadás betonban, vasbeton tartó repedezettségi állapota, vasbetonszerkezetek tartóssága. A *fib* TG 4.1 „Használhatósági határállapotok” munkabizottság elnöke, további *fib*, ACI és RILEM bizottságok tagja. A *fib* Magyar Tagozat elnöke.

Dr. Lublőy Éva (1976) okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar 2002), doktorandusz a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén (2002). Fő érdeklődési területei: vasbetonszerkezetek viselkedése tűz hatására, tűzkárok mérnöki tanulságai. A *fib* Magyar Tagozat tagja.

BETONOK FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓ-ÁLLÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA ÉS KÖVETELMÉNYEK – 2. VIZSGÁLAT



Dr. Balázs L. György – Dr. Kausay Tibor

A kültéri beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek tönkremenetelésében jelentős szerepe van a fagy és az olvasztósó hatásának. A fagy- és olvasztósó-állóságra történő betontervezés szempontjai az európai szabványok bevezetésével a korábbiakhoz képest módosultak. Ezért érdemes áttekinteni a beton fagy- és olvasztósó-állóságának feltételeit, az új, MSZ EN 206-1:2002, ill. az MSZ 4798-1:2004 beton szabványokban megfogalmazott követelményeket, és összehasonlítani a visszavont MSZ 4715-3:1972 szabvány, valamint az MSZ CEN/TS 12390-9:2007, az MSZ EN 12371:2002 és az MSZ EN 1338:2003 szabványok, továbbá a CEN/TR 15177:2006 műszaki jelentés szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatok jellemzőit.

Kulcsszavak: beton, környezeti osztály, fagyállóság, olvasztósó-állóság, vizsgálat

A cikk 1. része a Vasbetonépítés 2008/4. számában jelent meg.

5. A BETON FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓ-ÁLLÓSÁG VIZSGÁLATA

Az egykori MSZ 4715:1955 és MSZ 4715:1961 szabvány 25 fagyasztási ciklust írt elő. A fagyasztás időtartama -20°C léghőmérsékleten legalább 6 óra volt, amelyet legalább 6 órán át tartó vízben történő olvasztás követett $(+15) - (+20)^{\circ}\text{C}$ vízhőmérsékleten. A fagyállóságot a tömegveszteségből vagy az etalon próbatestek nyomószilárdságához viszonyított nyomószilárdság vizsgálati eredményből határozták meg. A betont fagyállónak tekintették, ha a nyomószilárdság csökkenés legfeljebb 10% volt. Az MSZ 4719:1958 szabvány a 25 fagyasztási ciklust kiállott betont fagyálló betonnak, az 50 fagyasztási ciklust kiállott betont különlegesen fagyálló betonnak nevezte.

Az MSZ 4715-3:1972 szabvány szerint a 150 bar nyomással telített (lásd 6. táblázat) próbatestek fagyállósági vizsgálatát vízben vagy levegőn végzett fagyasztással és vízben történő olvasztással kellett végezni. (A levegőn fagyasztott

próbatestekből a víz párolog, ezért a vízben történő fagyasztás a szigorúbb.) Az MSZ 4715-3:1972 szabvány esetén a fagyasztási ciklusok száma 15, 25, 50, 100 vagy 150 volt. A fagyasztási idő kezdetét a jégben vagy légtérben attól az időponttól kezdve számították, amikor a tér minden pontja elérte a $-20\pm 3^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletet. A fagyasztás legalább 4 órán át tartott. Az olvasztás attól az időponttól kezdve, amikor a víztér minden pontja elérte a $+20\pm 3^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletet, legalább 2 órán át tartott vízben. A vizsgálat eredményeként azt a ciklusszámot határozták meg, amelynél a próbatest tömegvesztesége vízzel telített állapotban mérve eléri az 5%-ot. Szilárdság vizsgálattal egybekötött fagyállóság vizsgálat esetén határértéknek azt a legkisebb ciklusszámot tekintették, amelyknél a vízzel telített, fagyasztott próbatest nyomószilárdsága legalább 25%-kal kisebb, mint az egyidejűleg vizsgált, vízzel telített ellenőrző próbatest nyomószilárdsága.

Az MSZ 4719:1977 és az MSZ 4719:1982 szabvány a 25, 50, 150 fagyasztás-olvasztási ciklusnak ellenálló betonokat ismerte, és fagyállóságukat f 25, f 50, f 150 jellel jelölte.

5. táblázat: A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának rendje (javaslat)

Környezeti osztály	Olvasztósó hatás éri a betont	A beton felülete	Vizsgálati rend
XF1	Nem	Függőleges	Megengedhető a betonösszetétel határértékeivel történő előírás
XF2	Igen	Függőleges	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint, amely elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák
XF3	Nem	Vízszintes	Fagyállóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint, amely elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák
XF4	Igen	Vízszintes	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint és ajánlott meghatározni a légbuborék szerkezetet is
XF2(BV-MI)	Igen	Függőleges	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint
XF3(BV-MI)	Nem	Vízszintes	Fagyállóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány kétféle fagyállóság, ill. fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot ismer: vagy a beton belső szerkezeti sérülését („A” eset), vagy a beton felületi hámlását („B” eset) vizsgálja. Az „A” eset az MSZ EN 12371:2002 szabványt követi, a „B” eset hasonló az MSZ EN 1338:2003 szabvány D mellékletében leírt eljáráshoz.

A fagyállóságot, ill. a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány és a BV-MI 01:2005 műszaki irányelv szerint a következőképpen kell vizsgálni és értékelni, amelyhez megjegyzést is fűzünk:

- Az XF1 és az XF3 környezeti osztály esetén, ahol csak fagyhatás éri a betont, – ha a fagyállóságot nem közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor – a fagyállóságot együtt a „referencia” betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. *Véleményünk szerint* a betonösszetétel határértékeivel történő előírás csak az XF1 környezeti osztályban engedhető meg;
- Úgy véljük, hogy az XF3 környezeti osztályban a fagyállóság vizsgálatot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint el kell végezni, ha a légbuborék szerkezetet (légbuborék eloszlás és távolsági tényező) nem határozzák meg;
- Az XF2 és az XF4 környezeti osztály esetén, ahol fagy- és olvasztósó-hatás éri a betont, – ha a fagy- és olvasztósó-állóságot nem közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor – a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. Ha megegyeznek a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat elhagyásában, és a fagy- és olvasztósó-állóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor a szilárd beton légbuborék eloszlását és távolsági tényezőjét kell meghatározni az MSZ EN 480-11:2006 szerint. *Véleményünk szerint* az XF2 és XF4 környezeti osztályban nem elegendő a fagy- és olvasztósó-állóságot közvetve a betonösszetétel határértékeivel előírni, hanem el kell végezni az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerinti vizsgálatot, amely az XF2 környezeti osztály esetén elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák. Az XF4 környezeti osztályban ajánlott meghatározni a légbuborék szerkezetet is;
- Az XF2(BV-MI) környezeti osztály esetén a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. A fagy- és olvasztósó-állóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel nem szabad előírni, hanem a fenti vizsgálatot el kell végezni;
- Az XF3(BV-MI) környezeti osztály esetén a fagyállóságot együtt a „referencia” betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. A fagyállóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel nem szabad előírni, hanem a fenti vizsgálatot el kell végezni.

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának rendje tehát javaslatunk szerint az 5. táblázat szerinti legyen. Az 5. táblázatban javasolt vizsgálati rend érvényre juttatásához az MSZ 4798-1:2004 szabvány átdolgozása lenne szükséges.

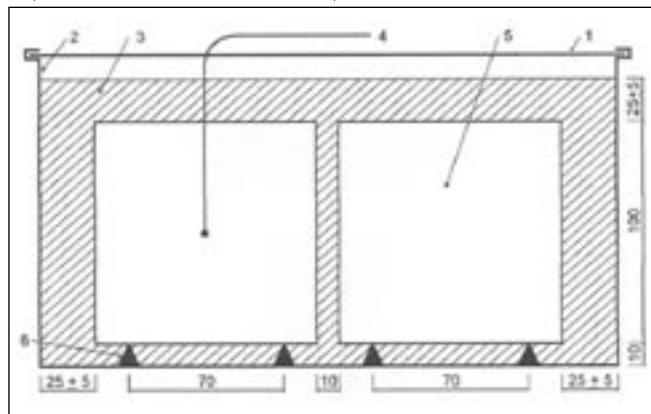
A beton fagy- és olvasztósó-állóságának követelménye az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszában található. A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatához 100 m³ beton-térfogatonként, vizsgálatonként legalább 1 db, de tételenként legalább 3 db próbatestet kell készíteni. A fagyállóság vizsgálatához szükséges referencia próbatestek darabszáma ugyanennyi kell, hogy legyen.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint, ha a beton fagnak ki van téve, de olvasztósó hatása nem éri (azaz környezeti osztálya XF3), akkor a megszilárdult beton fagyállóságát legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített próbatesteken, légtérben történő fagyasztással és víz alatti olvasztással kell vizsgálni az MSZ EN 12371:2002 szabvány módszerét alkalmazva (6. táblázat). Ezt az eljárást fel fogja váltani a „belső szerkezeti fagykárosodásokat” vizsgáló európai eljárás, amelyet európai műszaki jelentés (CEN/TR 15177:2006) formájában tettek közzé.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint (az MSZ 1338:2003 szabványt követve), ha a beton fagnak és olvasztósó hatásának is ki van téve (azaz környezeti osztálya XF2 vagy XF4), akkor a megszilárdult beton fagy- és olvasztósó-állóságát ugyancsak legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített, és öt oldalán gumiréteggel körülragasztott, a vizsgált felületen túlnyúló peremmel körülhatárolt, a peremen belül 3%-os, 3 mm mélységű nátrium-klorid oldattal feltöltött próbatesteken kell, ún. „hámlasztásos” (vagy „felületi mállási”) eljárással vizsgálni. A peremes hámlasztásos vizsgálatot a jövőben a prEN 12390-9:2002 szabványtervezetet felváltó MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány referencia módszere szerint célszerű végezni (6. táblázat). A peremes hámlasztásos vizsgálat hazai tapasztalatok szerint túlzottan erős hatása folytán elsősorban összehasonlító jelleggel alkalmazható.

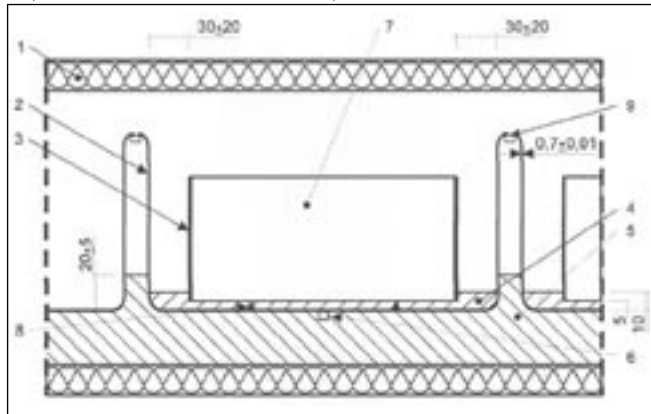
5. ábra: Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti kockavizsgálat (alternatív-módszer) tartálya próbatestekkel

Jelmagyarázat: 1) Csúszófedél, 2) Tartály, 3) Fagyasztóközeg, 4) Hőmérő a próbakocka közepén, 5) Próbakocka, 6) 10 mm magas alátámasztás (Forrás: MSZ CEN/TS 12390-9:2007)



6. ábra: Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti CF/CDF vizsgálat (alternatív módszer) alapelrendezése

Jelmagyarázat: 1) Tartály fedele, 2) Vizsgálótartály, 3) Próbatest oldalainak szigetelése, 4) Fagyasztóközeg, 5) Hűtőfolyadék, 6) Hőmérő a hűtőfolyadékban a középső tartály közepe alatt, a vizsgálótartály aljára erősítve, 7) Próbatest, 8) 5 mm magas alátámasztás, 9) Támasztékok a vizsgálótartályok beállításához (Forrás: MSZ CEN/TS 12390-9:2007)



Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007, MSZ EN 12371:2002 és MSZ EN 1338:2003 szabvány, valamint a visszavont MSZ 4715-3:1972 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatok jellemzőit a 6. táblázatban hasonlítjuk össze.

1. megjegyzés: A CEN/TR jelzetet európai műszaki jelentések kapnak. A CEN/TR jelzetű műszaki jelentések olyan útmutatókat, tájékoztató adatokat tartalmaznak, amelyek a szabványok alkalmazását támogatják, de tartalmuk nem alkalmas arra, hogy szabványosított követelmények legyenek (Szabó, 2006).

2. megjegyzés: A CEN/TS jelzet európai műszaki előírást takar, és tulajdonképpen a prEN előszabvány (szabványtervezet) jelzet helyett vezették be. Általában akkor alkalmazzák, ha az előszabvány az EN szabvánnyá váláshoz nem kapja meg a kellő támogatást vagy a hivatalos szavazásra való előterjesztésre megadott határidőn belül nincs közmegegyezés. Három éven belül felül kell vizsgálni, hogy EN-szabvánnyá átdolgozható-e. Nemzeti szabványként nem kötelező bevezetni, de nemzeti szinten hozzáférhetővé kell tenni. A bevezetett CEN/TS státusa a nemzeti címlapon szerint „szabvány”. Bevezetésekor a korábban meglévő, azonos tárgyú nemzeti szabványokat nem kell visszavonni (Szabó, 2006).

A prEN 12390-9:2002 szabványtervezet szerinti hámlasztásos vizsgálattal – mások mellett – Erdélyi – Csányi – Kopecskó – Borosnyói – Fenyvesi, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék kutatói acélszálás betonok fagy- és olvasztósó-állóságának tanulmányozása során végeztek széleskörű kísérleteket (2007 és 2008). A kísérlet során különböző módszereket alkalmaztak. Ezek közül a legszigorúbb (a szabványos eljárásokhoz képest is) az a kapilláris felszívósos hámlasztási vizsgálat volt, amelynek során a fellig sóoldatba merített, fekvő hasábokat, hossztengejük mentén, 8 ciklusonként 90°-kal elforgatták. Ezáltal a 32 ciklus alatt minden oldal egyszer felülre került, és felfelé párologtatható, másszor alulról szívhatta a sóoldatot. Megállapításaik közül kiemeljük, hogy

- „a 45-65 N/mm² nyomószilárdságú beton légbuborékképző és légbuborék rendszer nélkül nem fagyálló, és az acélszál adagolás ezen gyökeresen nem segít;
- az 56 ciklusos hámlasztásos módszer szigorúbb, mint a szokásos, nyugvó oldatba merített testek fagyasztás-olvasztása és minősítése a tömegvesztés és a szilárdságcsökkenés alapján. A 28 ciklusos kapilláris felszívósos hámlasztás (CDF módszer) ciklusszáma – amelyet például az útburkoló betonelemekre az MSZ EN 1338:2003 elő ír, különösképpen az MSZ EN 1340:2003 szerinti beton szegélykövek esetén – elégtelen;
- a kezdeti rugalmassági modulus fagyasztás-olvasztás hatására 30-40%-ot csökken a kiindulásihoz képest, és az értékek nagyon szórnak;
- a beágyazott acélszálak nem rozsdásodnak, és a hámlást a szabaddá váló, sóoldattal érintkező szálak rozsdanyomása nem fokozza. Az acélszálak a hámlást csökkentik;
- a beton vízzárósága a fagyasztás után is megfelelő volt;
- az acélszáltartalom az egész betonszerkezet korróziós veszélyeztetettségét kissé növeli a szál nélkülihez képest, mert a beton fajlagos villamos ellenállása csökken: legkisebb sóteltett állapotban, nedvesen;
- a kloridion-tartalom a soha nem sózott, nem fagyasztott kontroll mintákban elhanyagolható. A sóoldatban fekvő, fagyasztott mintákban a cementtartalomra vonatkozó becsült kloridion-tartalom 1,5-2 m% közötti: ez kevesebb, mint amennyit tengervízzel fröcskölt betonszerkezetekben mértek. Kimutatható, hogy a Cl/SiO₂ arány a nagyobb zárványossággal növekszik.”

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerinti peremes hámlasztásos fagyasztási vizsgálatot a jövőben a CEN/TS 12390-9:2006 európai műszaki előírás honosításával bevezetett MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban szereplő referencia módszer alkalmazásával kell végezni. Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban egy referencia (*peremes hámlasztás*) és két alternatív (*bemerítéses leválási és kapilláris felszívósos hámlasztási*) fagyasztási vizsgálati módszer található. A módszerek mind ionmentes vízzel, mind nátrium-klorid oldattal alkalmazhatók. A *kapilláris felszívósos alternatív vizsgálat* során a próbatesteket egyirányú kapillárisfelszívásnak teszik ki, és ha a fagyasztóközeg ionmentes víz, *CF-vizsgálatnak* (Capillary suction of water and Freeze thaw test), ha nátrium-klorid oldat, *CDF-vizsgálatnak* (Capillary suction of Deicing solution and Freeze thaw test) nevezik. (A kapilláris felszívósos alternatív CDF-vizsgálat a bemerítéses alternatív vizsgálatnál szigorúbb, mert a kapillárisokba felszívódó sóoldat párolgásával a nátrium-klorid a pórusokban feldúsul és repesztőhatása növekszik.) A fagyasztási-olvasztási ciklusok száma általában 56, kivéve a kapilláris felszívósos alternatív vizsgálatot, ha a fagyasztóközeg nátrium-klorid oldat (CDF-vizsgálat), mely esetben a ciklusszám 28. Megegyezés szerint vagy a referencia módszert, vagy a két alternatív módszer egyikét, kétség esetén mindig a referencia módszert kell alkalmazni. A három vizsgálati módszerrel kapott eredmény között nincs összefüggés. A peremes hámlasztás referencia módszere nagy hasonlóságot mutat az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti hámlasztásos, „B” módszerrel. A szabvány követelmény értéket nem tartalmaz, irodalmi ajánlások alapján (Setzer, 1990) fagy- és olvasztósó-állónak tekintik a betont, ha a CDF-vizsgálat során 28 fagyasztási-olvasztási ciklus után a hámlási veszteség legfeljebb 1500 g/m². Ez a követelmény csak laboratóriumi próbatestek esetén érvényes, kifűrt magminták esetén (a beton kora, igénybevétele stb. miatt) nem alkalmazható (Lang 2003; Bollmann – Lyhs, 2005; Bilgeri et al., 2007).

Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti bemerítéses leválási kockavizsgálat (alternatív-módszer) tartálya az 5. ábrán, a kapilláris felszívósos hámlasztási CF/CDF alternatív vizsgálat alapelrendezése a 6. ábrán látható.

A fagyasztás-olvasztás hatására (modell-folyamat) a beton, ill. cementkő belső szerkezete (struktúrája) sérül, és ennek mértékét a beton „alaptulajdonságaira” (szilárdság, rugalmassági modulus stb.) roncsolásos és roncsolásmentes módszerrel lehet meghatározni. *Roncsolásos módszerként* – mint említettük – elsősorban a nyomószilárdság vizsgálatot alkalmazzák, de ajánlható az annál érzékenyebb hajlító-húzószilárdság vizsgálat is.

Roncsolásmentes módszer az ultrahang terjedési idő és a rezonancia-frekvencia mérés, amelyek eredményei a dinamikai rugalmassági modulus (E_{dyn}) változásáról adnak képet. „A fagyasztás során a mikro-repedések miatt a Poisson-szám megváltozik, ezért az ezt figyelembe vevő rezonancia-frekvenciás módszer megbízhatóbb, mint az ultrahangos eljárás. Amerikai kutatók rezonancia-frekvenciás méréssel mutatták ki, hogy a 350 – 400 kg/m³ cementadagolású, légbuborékképző kísérleti betonjaik kezdeti rugalmassági modulusa 300 fagyasztási ciklusig lényegében nem változott, de a légbuborékképző nélküli betonok nagy részének kezdeti rugalmassági modulusa 150 – 300 fagyasztási ciklus között az eredetinek 60%-a alá esett. Svéd kutatók 40 – 140 N/mm² közötti nyomószilárdságú betonok fagyasztása során azt tapasztalták, hogy míg a légbuborékképző nélküli betonok önrezgésszáma 250 fagyasztási ciklus után kezdett csökkenni, és a megindult repedezés miatt a kezdeti

rugalmassági modulus a kiindulásának 80%-ára csökkent, addig a légbuborékos betonok és az agyagkavics adalékanyagú könnyűbetonok rugalmassági modulusa 10%-nál kevesebbet változott. A megfelelő pórusrendszerű könnyű-adalékanyag légbuborékrendszerként működik” (Erdélyi, 1996).

A beton belső szerkezete (struktúrája) fagyhatásra történő változásának (zavarának, sérülésének, károsodásának) vizsgálatával a CEN/TR 15177:2006 európai műszaki jelentés foglalkozik. A műszaki jelentés *Setzer* (2004) munkáján alapul. A fogalom-meghatározás szerint „belső szerkezeti zavar” vagy „belső szerkezetsérülés” alatt olyan repedések keletkezését kell érteni, amelyek kívülről nem láthatók, mégis a betontulajdonságok változását (pl. a dinamikai rugalmassági modulus csökkenését) okozzák. A műszaki jelentés kidolgozói úgy vélik, hogy a gyakorlatban előforduló fagyási-olvadási feltételeket egyetlen vizsgálati módszerrel modellezni nem lehet, ezért három eljárást tesznek közzé,

amelyek különböző európai országokban beváltak, és mindig megfelelő eredményekre vezettek. Ezek az eljárások arra nem értek meg, hogy valamelyiküket referencia vizsgálatként jelöljék meg, ezért ha két laboratórium azonos betont vizsgál, akkor a vizsgálati módszerben és mérési eljárásban meg kell, hogy állapodjon. Követelmény értékek alkalmazásához módszerenként meg kell határozni a laboratóriumi vizsgálati eredmények és a beton gyakorlati állapota közötti összefüggést, ugyanis a három vizsgálati módszer eredménye között nincs szoros korreláció. A CEN/TR 15177:2006 európai műszaki jelentés a hasáb-vizsgálatot, a lemez-vizsgálatot és a CIF-vizsgálatot (Capillary suction Internal damage and Freeze thaw test) tartalmazza. A CEN/TR 15177:2006 szerinti vizsgálatok alapvetően hasonlítanak az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatokhoz, azzal a különbséggel, hogy ezekkel a vizsgálatokkal nem a fagyasztási ciklusok okozta tömegveszteséget, hanem

6. táblázat: Fagy- és olvasztósó-állóság szabványos vizsgálatának összehasonlítása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004		MSZ 4715-3:1972
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)	
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd 5. ábra)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd 6. ábra)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás	VISSZAVONT
Vizsgálat jellege	Peremes hámlasztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívásos hámlasztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlasztás	Hagyományos fagyasztás
Fagyasztóközeg	3 mm mély réteg: ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	Próbatestet (25±5) mm-rel ellepő ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	10 mm mély réteg: ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	Fagyasztás levegőn, olvasztás vízben	3 mm mély réteg: 3 %-os NaCl oldat (esetleg csapvíz, lásd az „A” esetet)	Fagyasztás levegőn, az olvasztás vízben. Megengedett a víz alatti fagyasztás is
Próbatest mérete	50·150·150 mm- es vizsgálati próbatest, amelyet legalább 20 napos 150 mm-es kocka felezőjéből kell kivágni	100 mm-es kocka	I-alakú PTFE (pl. Teflon) betéttel függőlegesen két részre osztott, 150 mm-es kockasablonban készülő, kb. 140·150 mm vizsgálati felületű, (70±5) mm magas próbatest	Vízzel telített 100 vagy 150 mm-es kocka, vagy Ø150·150 vagy Ø100·100 mm-es henger	Legalább 50·150·150 mm- es, legfeljebb 103·150·150 mm- es vizsgálati próbatest. A 50·150·150 mm-es próbatestet legalább 20 napos 150 mm-es kocka felezőjéből is ki szabad vágni	Legfeljebb 32 mm legnagyobb szeménagságú beton esetén 5-8 dm ³ , 32-63 mm legnagyobb szeménagságú beton esetén 20-30 dm ³ térfogató próbatest
Próbatestek száma	4 db kockából kivágott 1-1 db próbatest	4 db kocka, két tartály, 2-2 db kockával	5 db próbatest	3 db vízzel telített fagyasztott, és 1 db nem fagyasztott referencia próbatest hőmérséklet- mérésre	3 db próbatest	Legalább 28 napos, 2 db próbatest. Az egyiket fagyasztani, a másikat víz alatt kell tárolni az ellenőrző szilárdság- vizsgálatig
Vizsgálati felület	A vizsgálati felület az eredeti próbatest felezősíkjával azonos vágott felület	Mind a hat oldal érintkezik a fagyasztó- közeggel	A sablonban a függőleges PTFE anyagú elválasztó lemezzel érintkezett, kb. 140·150 mm-es felület	Mind a hat oldal érintkezik a fagyasztó- közeggel	7500-25000 mm ² közötti felület	Mind a hat oldalt éri a fagyhatás
Fedővel zárható, rozsdamentes tartály mérete	—	Szélesség: (120±15) mm Hosszúság: (260±15) mm Magasság: (150±15) mm Falvastagság: kb. 1 mm	Alakja speciális. A próbatest és a tartály függőleges fala között (30±20) mm hely legyen. Falvastagság: (0,7±0,01) mm	—	—	—

6. táblázat folytatása.

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004		MSZ 4715-3:1972
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)	
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd 5. ábra)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd 6. ábra)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás	VISSZAVONT
Vizsgálat jellege	Peremes hámlesztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívásos hámlesztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlesztás	Hagyományos fagyasztás
Próbatestek előkészítése	21. nap: 2 db (50±2) mm vastagságú, azaz 50-150-150 mm- es próbatestet kell kivágni minden eredeti próbatestből. (25±1) nap: A (vágott) vizsgálati felület kivételével minden oldalra gumilemezt kell ragasztani. Perem-magasság: (20±1) mm. 28 napos kort követő (72±2) órán: (20±2) °C-os, 3 mm magas (kb. 67 ml) ionmentes vízréteget kell önteni a peremek közé. Vizsgálat megkezdése előtt: A próbatest öt oldalára (20±1) mm vastag polisztirolréteget kell ragasztani. Vizsgálat kezdetén a fagyasztó- kamrába helyezés (31. nap) előtt legalább 15 perccel: Az ionmentes vizet ki kell cserélni (20±2) °C-os, 3 mm magas (kb. 67 ml) fagyasztó- közeggel, és a próbatest polisztirol falát polietilén- lemezzel le kell takarni	27. nap: Próbatest tömegmérés után a tartályba kerül, és rá kell önteni a fagyasztóközeget, úgy, hogy a kockát (25±5) mm-rel ellepje. 28. nap: Meg kell határozni a kocka tömegét, és ki kell számítani a felvett fagyasztóközeg tömegét. Fagyasztó- kamrába helyezés: 28. nap	21-26. nap között: A próbatest 4 oldaláját vagy befedjük alumínium- fóliával és azt gumiragasztóval rögzítjük, vagy oldószer nélküli epoxi-gyántával tömítjük. 28. nap: Ultrahangfűrdőben eltávolítjuk a próbatestről a szennyeződések. A próbatestet a vizsgálótartályba tesszük az (5±0,1) mm magas alátámasztásokra, a vizsgálati felülettel lefelé. Ezután beöntjük a fagyasztóközeget úgy, hogy rétegvastagsága 10 mm legyen. (A szabvány 7.4. szakasz második bekezdésének és a 7.5. feletti része a) pontjának szövege hibás, a 8. ábra helyes.) 29-35. nap: 7 nap a fagyasztóközeg felszívására, majd kezdődik a fagyasztás	28-35. nap: A fagyasztás kezdeté	28-35. nap között, 7 napon át: Klimakamrában kell tárolni. Ez alatt idő alatt a próbatest öt oldalára, – a vizsgált felület körül (20±2) mm magas peremmel – gumi réteget kell ragasztani. A peremek közé (5±2) mm magasan (20±2) °C-os vizet kell önteni, és klímazónák- be kell tenni (72±2) óra hosszára. A fagyasztást 28- 35 nap között kell elkezdeni. A vizsgálat megkezdése előtt a próbatest öt oldalára (20±1) mm vastag polisztirolréteget kell ragasztani. Vizsgálat kezdetén a fagyasztó- kamrába helyezés előtt 15-30 perccel a vizet ki kell cserélni (20±2) °C-os, (5±2) mm magas, 3 %-os NaCl oldattal, és a próbatest polisztirol falát polietilén-fóliával le kell takarni	A fagyállóság vizsgálati próbatesteket 150 bar (1,5 kN/cm ²) nyomás alatt vízzel kell telíteni, az ellenőrző próbatesteket a szilárdság vizsgálatig víz alatt kell tárolni. (A szabvány 4.4.6 szakasza így fogalmazott: „Mind a szabályos, mind a szabálytalan testeket a vizsgálat előtt jelen szabvány szerint nyomás alatt vízzel kell telíteni...” A nyomás mértéke egy másik, a „Vízfelvétel nyomás alatt” c. fejezetben, a 2.6.3 szakaszban szerepelt: 1,5 kN/cm ² . Akkoriban egy adat a szabványban csak egy helyen fordulhatott elő. Ez az áttételes, rejtett megadásmód is hozzájárulhatott ahhoz, hogy számos korabeli laboratórium a próbatesteket nem nyomás alatt, hanem fokozatos víztelítéssel készítette elő, miáltal lazította a feltételeket.)

6. táblázat folytatása.

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004		MSZ 4715-3:1972
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)	
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd 5. ábra)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd 6. ábra)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás	VISSZAVONT
Vizsgálat jellege	Peremes hámlesztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívósos hámlesztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlesztás	Hagyományos fagyasztás
Próbatestek tárolása	0 – (24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt; 7 nap – vizsgálat kezdetétig: Klímakamrában, ahol kiszárad	0 – (24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt; 7 nap – 27 nap: Klímakamrában, ahol kiszárad	0 – (24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt; 7 nap – 28 nap: Klímakamrában, ahol kiszárad	0 – (24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 28 nap: Végig víz alatt tárolt, vízzel telített	0 – (24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 28 nap: Végig víz alatt tárolt	24 órás korrig sablonban, +20±3 °C hőmérsékletű tárolótérben. 24 órás korban ki kell zsárolni, és 7 napos korrig +20±3 °C hőmérsékletű, ivásra alkalmas víz alatt, majd a vizsgálatig szoba- levegőn
Hőmérsékletmérés	Legalább egy próbatest felületén a fagyasztó- közegben	A kocka közepén	A folyadékűtésű kád hűtő- folyadékában, a középső tartály alatt	Próbatest közepén	A próbatest NaCl oldattal elárasztott felületén	Fagyasztó- berendezés légterében
Hőmérséklet	Legnagyobb °C: (+24) – (+16) Legkisebb °C: (-18) – (-22)	Legnagyobb °C: (+22) – (+18) Legkisebb °C: (-13) – (-17)	Legnagyobb °C: (+21) – (+19) Legkisebb °C: (-19,5) – (-20,5)	Legnagyobb °C: (+5) – (+20) Legkisebb °C: (-12)	Legnagyobb °C: (+16) – (+24) Legkisebb °C: (-16) – (-20)	Legnagyobb °C: (+17) – (+23) Legkisebb °C: (-17) – (-23)
Teljes ciklusidő	24 óra	24 óra	12 óra	14 óra	24 óra	Hőntartás (+17) – (+23) °C-on legalább 2 óra, (-17) – (-23) °C- on legalább 4 óra
Ciklusok száma	56	56	CF vizsgálat: 56 CDF vizsgálat: 28	XF1 esetén: 50 XF3 esetén: 100 (XF = környezeti osztály jele)	56	15, 25, 50, 100 vagy 150 a vizsgálat céljától függően
Olvasztás	Fagyasztó- kamrában fagyasztóközeggel a peremek között	A tartályokat a fagyasztó- közegben lévő kockákkal (20±2) °C-os vizes kádba kell helyezni úgy, hogy a víz (20±5) mm-rel legyen a tartályok felső pereme alatt. Az olvasztási fázis ideje: 8 óra	Olvasztás alatt a próbatest a régi fagyasztó- közegben áll, míg azt ki nem cseréljük friss folyadékra	Olvasztás (20±5) °C-os vízben	Fagyasztó- kamrában fagyasztóközeggel a peremek között	Olvasztás a légterében történő fagyasztás esetén külön olvasztó- térben, a vízben történő fagyasztás során a fagyasztótérben. Olvasztásnál borítsa a próbatesteket legalább 100 mm vízréteggel

6. táblázat folytatása.

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004		MSZ 4715-3:1972
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)	
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd 5. ábra)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd 6. ábra)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás	VISSZAVONT
Vizsgálat jellege	Peremes hámlasztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívós hámlasztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlasztás	Hagyományos fagyasztás
Teendők a fagyasztás-olvasztás folyamata alatt. Megjegyzés: Valamennyi NaCl oldatos vizsgálat során tanácsos a leöntött oldatokat elemezni a betonból kioldott alkotók meghatározása céljából	(7±1), (14±1), (28±1) és 56 fagyasztási ciklus után az olvasztási fázisban a lehámlott anyag összegyűjtése, kiszáritása (110±10) °C-on, tömegmérése, és a fagyasztóközeg cseréje	(7±1), (14±1), (28±1) és 56 fagyasztási ciklus után az olvasztási fázisban a levált anyag összegyűjtése, a fagyasztás előtt a tartályok új fagyasztó-közzel való feltöltése. Tartályok cseréje hetente, elforgatásuk 180°-kal és helycseréjük ciklusonként	CF vizsgálat esetén (14±1), (28±1), (42±1) és 56 fagyasztási ciklus után, CDF vizsgálat esetén (4±1), (6±1), (14±1) és 28 fagyasztási ciklus után, mialatt a hőmérséklet 15 °C felett van: A vizsgálat-tartályt 3 percre be kell meríteni az ultrahang-fürdőbe, a lehámlott anyagot össze kell gyűjteni, ki kell szárítani (110±10) °C-on, meg kell mérni a tömegét, és a fagyasztóközeget ki kell cserélni	Legfeljebb 14 ciklusonként el kell forgatni a próbatestet 180°-kal	7 vagy 14 ciklusonként össze kell gyűjteni a lehámlott részeket, és cserélni kell a NaCl oldatot	Külön táblázat intézkedik, hogy a ciklusszámtól függően mely felolvasztási ciklus végén kell tömegmérést végezni, a károsodásokat szemrevételezéssel meg kell állapítani, esetleg roncsolásos vagy roncsolásmentes szilárdság vizsgálatot kell végezni. Ezek a ciklusszámok például 50 ciklusos fagyasztás esetén 25, 35, 50; 100 ciklusos fagyasztás esetén 50, 75, 100
Megjegyzés	A kockából kivágott próbatestet egyikét ionmentes vízzel, a párját NaCl oldattal lehet vizsgálni. Így egy fagyasztó-közeget 3 próbatestet lehet vizsgálni	—	CF: Capillary suction of water and Freeze thaw test (Fagyasztás-olvasztás ionmentes vízben kapilláris felszívás mellett) CDF: Capillary suction of Deicing solution and Freeze thaw test (Fagyasztás-olvasztás NaCl oldatban kapilláris felszívás mellett)	Az olvasztósó hatásának ki nem tett beton fagyállósága a „B” módszerrel is vizsgálható, ha a fagyasztóközeg víz. Ebben az esetben az elfogadási feltétel 56 ciklus után: Tömegveszteség legfeljebb: XF1: átl.: 250, max.: 350 g/m ² XF3: átl.: 125, max.: 175 g/m ²	—	A roncsolásos nyomószilárdság vizsgálatával együtt roncsolásmentes vizsgálat is végezhető. Roncsolásmentes vizsgálat esetén a mért mechanikai és fizikai jellemző (pl. dinamikai rugalmassági modulus) változását és a fagyasztási ciklusszám közötti összefüggést kell megadni

6. táblázat folytatása.

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004		MSZ 4715-3:1972
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)	
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd 5. ábra)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd 6. ábra)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás	VISSZAVONT
Vizsgálat jellege	Peremes hámlesztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívós hámlesztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlesztás	Hagyományos fagyasztás
ALTERNATÍV vizsgálati lehetőség	- Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága mindig 50 mm legyen. - vizsgált felület nem feltétlenül vágott. - NaCl helyett más olvasztószer. - ciklusok száma megválasztható.	- Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága és szélessége mindig 80 – 100 mm között legyen. - Más tárolási feltételek és korok. - NaCl helyett más olvasztószer. - ciklusok száma megválasztható.	- Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága (70±5) mm legyen mindig. - Más lehet az elválasztó lemezek helyzete, de akkor a próbatestet is másképp kell kialakítani. - Más tárolási feltételek és korok. - NaCl helyett más olvasztószer. - ciklusok száma megválasztható.	MSZ EN 12371:2002 szabvány az itt leírt általános „Technologische Prüfung (Verfahren A)” módszer mellett az „Identitätsprüfung (Verfahren B)” módszert is ismeri	—	A szabvány a víz alatti fagyasztást is megengedi
Elfogadási határérték	—	—	CDF: 1500 g/m ² A követelmény csak laboratóriumi próbatestek esetén érvényes	Tömegvesztés max.: 5 tömeg%, nyomószilárdság csökkenés max. 20%	Tömegvesztés max.: XF2: átl.: 500, max.: 700 g/m ² XF4: átl.: 250, max.: 350 g/m ²	Tömegvesztés vízzel telített állapotban max. 5 %, nyomószilárdság csökkenés max. 25 %

a roncsolásmentes vizsgálatok eredményének változását, ill. esetenként a hosszmeret-változást és kiegészítésként a vízfelvételt kell meghatározni. Ezeket a vizsgálatokat a fagyállóság vizsgálat előtt (kezdeti mérési eredmény), majd a (7 ± 1) , (14 ± 1) , (28 ± 1) , (42 ± 1) és 56 olvasztási ciklust követően kell elvégezni.

A roncsolásmentes vizsgálatok relatív eredményének négyzete arányos a relatív dinamikai rugalmassági modulussal (RDM):

A relatív dinamikai rugalmassági modulus a *keresztirányú önrezgésszám* mérése esetén az *n*-edik olvasztási ciklus után:

$$RDM_{FF,n} = (f_n/f_0)^2 \cdot 100 \quad [\%]$$

ahol:

f_n a keresztirányú önrezgésszám az *n*-edik olvasztási ciklus után, [Hz]

f_0 a kezdeti (az első fagyasztási ciklus előtt mért) keresztirányú önrezgésszám, [Hz]

A relatív dinamikai rugalmassági modulus az *ultrahang terjedési idejének* mérése esetén az *n*-edik olvasztási ciklus után:

$$RDM_{UPTT,n} = (t_{s,0}/t_{s,n})^2 \cdot 100 \quad [\%]$$

ahol:

$t_{s,0}$ a kezdeti (az első fagyasztási ciklus előtt mért) ultrahang terjedési idő, [μs]

$t_{s,n}$ az ultrahang terjedési idő az *n*-edik olvasztási ciklus után, [μs].

A CEN/TR 15177:2006 szerinti *hasáb-vizsgálat* során a sablonban készült 400x100x100 mm méretű próbahasábokat

1 napos korban ki kell zsálni, 7 napos korig műanyagfóliába csomagolva levegőn, majd kicsomagolva 7 napos kortól 28 napos korig víz alatt kell tárolni. A „*bemerítéses*” fagyállóság vizsgálatot a vízből való kiemelés után legkésőbb 2 órával el kell kezdeni, és az erre a célra készített próbatest közepén mért hőmérséklettel a fagyasztási diagramot követve kell végezni. A fagyasztóközeg ionmentes víz, a fagyasztási-olvasztási ciklusok száma 56, de több is lehet. A hullámokat elnyelő anyagra (pl. habanyagra) fektetett hasábokon keresztirányban a relatív önrezgésszám és hosszirányban a relatív ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében. A roncsolásmentes vizsgálatokkal egyidőben meg kell mérni a próbatestek vízfelvételét is.

A CEN/TR 15177:2006 szerinti *lemez-vizsgálat* 150x150x50 mm méretű próbatestét 150 mm méretű, 1 napos korban kizsárolt, 7 napos korig víz alatt, azt követően 28 napos korig klímasekrényben tárolt próbakockából, 21 napos korban, a próbakocka lesimított felületére merőlegesen kell kivágni. A vizsgálati felület a kocka felezősíkjának vágott felülete. A kivágott próbatest alsó lapjára és oldalaira – a vizsgált 150x150 mm méretű, vágott lap kivételével – gumilapokat kell ragasztani, amelyek az oldalakon peremet képezve 20 mm-rel túlnyúlnak, és külső hőszigetelést kapnak. A „*peremes*” fagyállóság vizsgálat 28 napos korban, a vizsgált felület ionmentes vízzel, 72 órán át tartó telítésével kezdődik, és a fagyasztósekreányban folytatódik. A peremek közé kerülő fagyasztóközeg ionmentes víz vagy 3%-os nátrium-klorid oldat, amelynek rétegvastagsága 3 mm. A hőmérsékleti diagramot a fagyasztóközegben, a vizsgált felület közepén mért hőmérséklettel kell követni. A fagyasztási-olvasztási ciklusok száma 56, de több is lehet. A hosszmeret-változást (referencia-vizsgálat) hárompontos, mérőórás eszközzel,

két szemben lévő oldallapra erősített mérőpont között kell vizsgálni. A keresztirányú önrezgésszámot (alternatív vizsgálat) a vizsgált 150x150 mm méretű felületen, az ultrahang terjedési időt (alternatív vizsgálat) két szemben lévő oldallap között kell megmérni, miközben a próbalemez habanyagon fekszik. A lemez-vizsgálat során a hosszmeret-változást, a relatív keresztirányú önrezgésszám és a relatív hosszirányú ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében.

A CEN/TR 15177:2006 szerinti CIF-vizsgálat próbatesteinek mérete, tárolása és a fagyállóság vizsgálat lényegében megegyezik az MSZ EN 12390-9:2007 szabvány szerinti „kapillaris felszívós” vizsgálattal. A fagyasztás a 28 napos korban kezdett, 7 napig tartó, (20 ± 2) °C hőmérsékleten végzett folyadék-felszívást követően kezdődik. A fagyasztóközege a vizsgálatartályban lévő 10 mm rétegvastagságú ionmentes víz vagy 3%-os nátrium-klorid oldat. A CIF-vizsgálat során az ultrahang terjedési időt (referencia-vizsgálat) a pl. plexi tartóba helyezett próbatestet két-két szemben lévő oldallapja között, a hosszmeret-változást (alternatív vizsgálat) két szemben lévő oldallap között kell megmérni. A keresztirányú önrezgésszám (alternatív vizsgálat) vizsgálatához a próbatestet a vizsgált 140x150 mm méretű vizsgálati felülettel lefele a hullámmelő habanyagra kell fektetni, és a keresztirányú önrezgésszámot a felső felületen kell vizsgálni. A CIF-vizsgálat során a hosszmeret-változást, a relatív keresztirányú önrezgésszám és a relatív hosszirányú ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében. A roncsolásmentes vizsgálatokkal egyidőben meg kell mérni a próbatestek vízfelvételét is.

Végül a betonok fagy- és olvasztósó-állóságával kapcsolatban megjegyezzük, hogy az – mint ismeretes – a beton áteresztőképességének is függvénye. A beton áteresztőképességéről, ill. a sóoldat kapillaris felszívódásáról a kloridionok behatolásával szembeni ellenállóképesség ASTM C 1207:1997 szabvány szerinti 6 órás gyorsvizsgálata adhat tájékoztatást.

6. A FELÜLETI BEVONAT FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓ-ÁLLÓSÁG VIZSGÁLATA

A betonszerkezetek védelmére és javítására szolgáló cement (CC: Cement-Concrete), műanyag-cement (PCC: Polimer-Cement-Concrete) és műanyag (PC: Polimer-Concrete) kötőanyagú finomhabarcs, habarcs és beton felületi bevonatok és rendszerek fagy-, olvasztósó- és hőállóságának vizsgálatára külön szabványokat dolgoztak ki (MSZ EN 13687 sorozat). A próbatestek előírt módon szilárdított felületi bevonatokkal (feltehetően a vizsgálati felületen) ellátott 300-300-100 mm méretű, MSZ EN 1766:2000 szerinti referencia betonból készített lapok, amelyeket a vizsgálat előtt a hátoldal és az oldallapok folyadékfelvétele ellen a vizsgált 300-300 mm méretű felület kivételével hőre szilárduló gyantával kell bevonni. A próbatestek száma három, ebből egy referencia próbatestet. A vizsgálatok ciklusszáma 10, a ciklusokat az MSZ EN 1504-2:2005, ill. MSZ EN 1504-3:2006 szabványban előírtak szerint egyszer kell megismételni. (Az előírt 20 ciklus a hazai időjárási körülmények között nem feltétlenül elegendő.) A próbatesteknek a vizsgálatot meghibásodás és elválkozás nélkül kell viselniük. A fagyasztási-olvasztási ciklusok után a próbatesteket laboratóriumi körülmények között $[(21 \pm 2)$ °C levegő hőmérséklet és (60 ± 10) % relatív levegő nedvességtartalom] legalább 7 napon át kell tárolni,

majd ezután meg kell vizsgálni a felületi bevonat, ill. rendszer tapadó-húzószilárdságát az MSZ EN 1542:2000 szabvány szerint. Ha a bevonat a gyakorlatban függőleges felületre kerül, akkor a tapadó-húzószilárdság átlaga legalább 0,8 N/mm², legkisebb értéke legalább 0,5 N/mm²; ha terhelés nélküli vízszintes felületre kerül, akkor az átlag legalább 1,0 N/mm², a legkisebb érték legalább 0,7 N/mm²; ha terhelte vízszintes felületre kerül, akkor az átlag legalább 1,5 N/mm², a legkisebb érték legalább 1,0 N/mm² kell legyen.

Az MSZ EN 13687-1:2002 szabvány a felületi bevonattal ellátott beton próbatestek olvasztósó oldatba merítéses fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálatával foglalkozik. A fagyasztás (-15 ± 2) °C hőmérsékletű telített nátrium-klorid oldatban, az olvasztás (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben történik. Mindkét fázis hossza 2 óra, a ciklusidő tehát 4 óra.

Az MSZ EN 13687-3:2002 szabvány a felületi bevonattal ellátott beton próbatestek fagy- és hőállósági vizsgálatát írja le, olvasztósóoldat hatása nélkül. A vizsgálat referencia-eszköztára (-15 ± 2) °C hőmérsékletű fagyasztó légtér, (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízfürdő és (60 ± 2) °C hőmérsékletű melegítő légtér előállítására alkalmas berendezésekből áll, amelyek között a próbatesteket kézzel mozgatják. A vizsgálat programozható fagyasztó-temperáló-fűtő berendezéssel is végezhető. A ciklus kézi mozgatású vizsgálat esetén a következő fázisokból áll: 2 óra (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben, 4 óra fagyasztás (-15 ± 2) °C hőmérsékletű légtérben, 2 óra (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben, 16 óra hevítés (60 ± 2) °C hőmérsékletű légtérben. A ciklusidő tehát 24 óra. Programozható berendezés alkalmazásakor a lehűtés és felmelegítés időigénye miatt a hevítés ideje 10 óra, a fagyasztás és felhevítés között a vízfürdő ideje 75 perc, a hőtartás után 105 perc. A ciklusidő ez esetben is 24 óra.

7. KÖVETKEZTETÉSEK

A betont használati élettartama alatt érő környezeti hatások egyike a fagy-, ill. a fagy- és olvasztósó-hatás, amelynek a tartós beton ellenáll. Várható, hogy a beton fagyálló, ill. fagy- és olvasztósó-álló, ha tulajdonságai megfelelnek a 2. táblázat szerinti fagy- és olvasztósó-állósági környezeti osztályok követelményeinek. Az MSZ 4798-1:2004 szerinti betonok fagy- és olvasztósó-állóságát európai vizsgálati szabványok alapján kell elvégezni. Az európai vizsgálati módszerek kisebb-nagyobb mértékben eltérnek a korábbi hazai eljárásoktól.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány kétféle fagyállóság, ill. fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot ismer: vagy a beton *belső*, szerkezeti sérülését („A” eset), vagy a beton *külső*, felületi hámítását („B” eset) vizsgálja:

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint a vízszintes felületű beton fagyállóságát, ha a beton olvasztósó hatásának nincs kitéve, (azaz környezeti osztálya XF3) legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített próbatesteken kell vizsgálni az MSZ EN 12371:2002 szabvány szerint. Ezt az eljárást idővel fel fogja váltani a belső szerkezeti fagykárosodásokat vizsgáló európai módszer, amely jelenleg még csak európai műszaki jelentés (CEN/TR 15177:2006) formájában érhető el.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint (az MSZ 1338:2003 szabványt követve), ha a beton fagnak és olvasztósó hatásának is ki van téve (azaz környezeti osztálya XF2 vagy XF4), akkor a megszilárdult beton fagy- és olvasztósó-állóságát ugyancsak legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített, öt oldalán gumiréteggel körülragasztott, a vizsgált felületen túlnyúló peremmel körülhatárolt, a peremen belül 3 százalékos, 3 mm mélységű nátrium-klorid oldattal feltöltött próbatesteken

kell, ún. peremes hámlasztásos eljárással vizsgálni az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány referencia módszere szerint. Ebben a szabványban a referencia módszeren kívül két alternatív hámlasztásos fagyasztási vizsgálati módszer található. A módszerek mind ionmentes vízzel, mind nátrium-klorid oldattal alkalmazhatók. Az alternatív hámlasztásos vizsgálatot, ha a fagyasztóközeg ionmentes víz, *CF-vizsgálatnak*, ha nátrium-klorid oldat, *CDF-vizsgálatnak* nevezik. Irodalmi ajánlások alapján fagy- és olvasztósó-állónak tekintik a betont, ha a laboratóriumi próbatesten végzett CDF-vizsgálat során, 28 fagyasztási-olvasztási ciklus után a hámlási veszteség legfeljebb 1500 g/m².

A CEN/TR 15177:2006 műszaki jelentés hasáb-vizsgálatot, a lemez-vizsgálatot és a *CIF*-vizsgálatot tartalmazza. Ezek a vizsgálatok alapvetően hasonlítanak az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatokhoz, azzal a különbséggel, hogy ezekkel a vizsgálatokkal nem a fagyasztási ciklusok okozta tömegvesztést, hanem a roncsolásmentes vizsgálatok eredményének változását kell meghatározni.

A betonszerkezetek védelmére és javítására szolgáló cement (CC), műanyag-cement (PCC) és műanyag (PC) kötőanyagú finomhabarcs, habarcs és beton felületi bevonatok és rendszerek fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálatát az MSZ EN 13687-1:2002 szabvány szerint, fagy- és hőállóság vizsgálatát az MSZ EN 13687-3:2002 szabvány szerint kell elvégezni. A fagy és a hő hatását a tapadó-húzószilárdságra gyakorolt hatással fejezik ki.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak a *Duna-Dráva Cement Kft*-nek a jelen tanulmány elkészítéséhez (kutatás-fejlesztési projekt száma: 34488-003) nyújtott anyagi támogatásért.

9. HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK, MŰSZAKI ELŐÍRÁS

MNOSZ 934:1949 „Beton és alapanyagainak vizsgálata” Módosította, ill. hatálytalanította az MNOSZ 934:1951 szabvány
MSZ 4715:1955 „Megszilárdult beton vizsgálata”
MSZ 4715:1961 „Megszilárdult beton vizsgálata”
MSZ 4715-3:1972 „Megszilárdult beton vizsgálata. Hidrotechnikai tulajdonságok”
MSZ 4719:1958 „A betonok fajtái és jelölésük”
MSZ 4798-1:2004 „Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon”
MSZ 18289-1:1978 „Építési kőanyagok időállóság-vizsgálata. Értékelés”
MSZ 18289-3:1985 „Építési kőanyagok időállóság-vizsgálata. Szulfátos kristályosítás”
MSZ 18291:1978 „Zúzottkő”
MSZ 18293:1979 „Homok, homokos kavics és kavics”
MSZ EN 206-1:2002 „Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés”
MSZ EN 480-11:2006 „Adalékszerkezet betonhoz, habarcsához és injektálóhabarcsához. Vizsgálati módszerek. 11. rész: A megszilárdult beton légbuborék-jellemzőinek meghatározása”
MSZ EN 934-2:2002 „Adalékszerkezet betonhoz, habarcsához és injektálóhabarcsához. 2. rész: Betonadalékszerkezet. Meghatározások, követelmények, megfelelés, jelölés és címkézés”
MSZ EN 1097-6:2001 „Kőanyag-halmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 6. rész: A testsűrűség és a vízfelvétel meghatározása”
MSZ EN 1338:2003 „Beton útburkoló elemek. Követelmények és vizsgálati módszerek”
MSZ EN 1340:2003 „Beton útszegélyelemek. Követelmények és vizsgálati módszerek”
MSZ EN 1367-1:2007 „Kőanyag-halmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálata. 1. rész: A fagyállóság meghatározása”
MSZ EN 1367-2:1999 „Kőanyag-halmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás”

prEN 1367-6:2006 „Tests for thermal and weathering properties of aggregates – Part 6: Resistance to freezing and thawing in the presence of salt”, ill. „Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen – Teil 6: Beständigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel in der Gegenwart von Salz”
DIN EN 1367-6:2008 „Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen – Teil 6: Beständigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel in der Gegenwart von Salz (NaCl); Deutsche Fassung EN 1367-6:2008”
MSZ EN 1504-2:2005 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalom meghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 2. rész: A beton felületvédelmi rendszerei”
MSZ EN 1504-3:2006 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalom meghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 3. rész: Szerkezeti és nem szerkezeti javítás”
MSZ EN 1542:2000 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A tapadószilárdság meghatározása leszakítással”
MSZ EN 1766:2000 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. Referenciabetonok vizsgálathoz”
MSZ EN 12350-7:2000 „A friss beton vizsgálata. 7. rész: Légtartalom. Nyomásmódszerek”
MSZ EN 12371:2002 „Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A fagyállóság meghatározása”
prEN 12390-9:2002 „Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling”, ill. „Prüfung von Festbeton, Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, Abwitterung”
MSZ EN 12390-9:2007 „A megszilárdult beton vizsgálata. 9. rész: Fagyállóság. Lehámlás”, Műszaki előírás, amely a prEN 12390-9:2002 szabványtervezetét felváltotta.
MSZ EN 12620:2003 „Kőanyag-halmazok (adalékanyagok) betonhoz”. A 2006 évi kiadás tartalmazza az EN 12620:2002/AC:2004 számú módosítást is.
MSZ EN 13242:2003 „Kőanyag-halmazok műtárgyakban és útpépítésben használt kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú anyagokhoz”
MSZ EN 13687-3:2002 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A hőmérséklet-változással kapcsolatos tűrőképesség (összeférhetőség) meghatározása. 1. rész: Fagyasztási-olvasztási ciklusok olvasztósó oldatba merítéssel”
MSZ EN 13687-3:2002 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A hőmérséklet-változással kapcsolatos tűrőképesség (összeférhetőség) meghatározása. 3. rész: Hőmérséklet-változási ciklusok olvasztósó oldat hatása nélkül”
CEN/TR 15177:2006 „Testing the freeze-thaw resistance of concrete – Internal structural damage”, ill. „Prüfung des Frost-Tauwiderstandes von Beton – Innere Gefügestörung”, Műszaki jelentés
MSZ-07-3114:1991 „Útépítési zúzott kőanyag”, Közlekedési ágazati szabvány
ÚT 2-3.601:1998 „Útépítési zúzott kőanyagok”, Ütgyi műszaki előírás
ÚT 2-3.601:2006 „Útépítési zúzottkővek és zúzottkavicsok”, Ütgyi műszaki előírás
ÚT 2-3.601-1:2009 „Útépítési zúzottkővek és zúzottkavicsok. 1. rész: Kőanyag-halmazok utak, repülőterek és más közforgalmi területek aszfaltkeverékeihez és felületi bevonataihoz”, Ütgyi műszaki előírás
ÚT 2-3.601-2:2009 „Útépítési zúzottkővek és zúzottkavicsok. 2. rész: Kőanyag-halmazok út-, pálya- és hidbetonokhoz”, Ütgyi műszaki előírás tervezet
BV-MI 01:2005 „Betonkészítés bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék újrahasznosításával”, Beton- és vasbetonépítési műszaki irányelv. *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozata
EN 206-1:2000 „Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity”, ill. „Béton. Partie 1: Spécification, performances, production et conformité” vagy „Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität”
ASTM C 457:1998 „Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete”
ASTM C 1202:1997 „Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration”
DIN 1045-2:2001 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1”, a DIN EN 206-1 európai szabvány nemzeti alkalmazási dokumentuma
DIN 52104 „Prüfung von Naturstein. Frostbeständigkeit” 1976 előtti kiadás
ÖNORM B 4710-1:2007 „Beton – Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis”, az ÖNORM EN 206-1 európai szabvány nemzeti alkalmazási dokumentuma
SS 137003:2002 „Betong – Användning av EN 206-1 i Sverige”, az SS-EN 206-1 európai szabvány nemzeti alkalmazási dokumentuma

10. HIVATKOZÁSOK

Balázs Gy. (1997), „A beton károsodásának okai fagy és légköri szennyeződések hatására”, fejezet a „Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I.

- Általános diagnosztikai vizsgálatok” c. könyvben (szerk. Balázs Gy. és Tóth E.), *Műegyetemi Kiadó*, Budapest
- Bilgeri, P. – Eickschen, E. – Felsch, K. – Klaus, I. – Vogel, P. – Rendchen, K. (2007), „Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton”, *Beton-Informationen*, No. 2., pp. 15-31.
- Bollmann, K. – Lyhs, P. (2005), „Hüttensandhaltiger Zement für Betonfahrbahndecken – CEM II/B-S 42,5 N (st)”, *Beton-Informationen*, No. 5., pp. 91-100.
- Erdélyi A. (1983), „Beton- és habarcskiegészítő anyagok”, fejezet az „Építőanyag praktikum” c. könyvben (szerk.: Balázs Gy.), pp. 181-210., *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Erdélyi A. (1996), „Légpórusrendszer és betontartósság”, fejezet a „Betonszerkezetek tartóssága” c. konferencia kiadványban (szerk.: Balázs Gy. és Balázs L. Gy.), pp. 129-138., *Műegyetemi Kiadó*, Budapest
- Erdélyi A. – Zimonyi Gy. (1997), „A megszilárdult beton légbuborék-szerkezetének vizsgálata”, fejezet a „Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Általános diagnosztikai vizsgálatok” c. könyvben (szerk. Balázs Gy. és Tóth E.), pp. 164-179., *Műegyetemi Kiadó*, Budapest
- Erdélyi A. – Csányi E. – Kopecskó K. – Borosnyói A. – Fenyvesi O. (2007), „Acélszálás betonok tönkremenetele: Fagyasztás – olvasztás és sózás 1. rész: Tudományos háttér, módszerek összehasonlítása”, *Vasbetonépítés*, IX. évfolyam, 2. szám, pp. 45-55., 2. rész: „Állapotromlás, az eredmények értékelése, következtetések”, *Vasbetonépítés*, IX. évfolyam, 3. szám, pp. 72-83.
- Erdélyi A. – Csányi E. – Kopecskó K. – Borosnyói A. – Fenyvesi O. (2008), „Fagyasztás és sózás hatása acélszálás betonokra”, fejezet a „Betonszerkezetek tartóssága” c. konferencia kiadványban (szerk.: Balázs Gy. és Balázs L. Gy.), pp. 85-102., *Műegyetemi Kiadó*, Budapest
- Graf, O. (1950), „Die Eigenschaften des Betons”, *Springer-Verlag*, Berlin-Göttingen-Heidelberg
- Hummel, A. (1959), „Das Beton-ABC”, *Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn*, Berlin
- Kausay T. (2004), „Beton adalékanyagok szemmegoszlási jellemzőinek számítása grafoanalitikus módon”, *Vasbetonépítés*, VI. évfolyam, 1. szám, pp. 3-11.
- Lang, E. (2003), „Einfluss unterschiedlicher Karbonatphasen auf den Frost-Tausalz-widerstand – Labor- und Praxisverhalten”, *Beton-Informationen*, No. 3., pp. 39-57.
- Lohaus, L. (2007), „Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken im Wasserbau”, 2. Krefelder Planertag am 31. Oktober 2007, *Gütegemeinschaft Planung der Instandhaltung von Betonbauwerken e. V.*, Krefeld
- Pade, C., Jakobsen, U. H., Elsen, J. (2002), „A New Automatic Analysis System for Analyzing the Air Void System in Hardened Concrete”, *Proceedings of the International Cement Microscopy Association*, pp. 204-213., *ed. Jany, L. and Nisperos, A.*, San Diego,
- Palotás L. (1952), „Minőségi beton”, *Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat*, Budapest
- Setzer, M. J. (1990), „Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Betonwaren”, *Universität GH Essen*, Forschungsberichte aus dem Fachbereich Bauwesen Nr. 49.
- Setzer, M. J. (2000), „Die Mikroslinspumpen – Eine neue Sicht bei Frostangriff und Frostprüfung”, fejezet a *14. Ibautil Konferencia* kiadványában, 1. kötet., Weimar
- Setzer, M. J. (2002), „Frostschaden – Grundlagen und Prüfung”, *Beton und Stahlbeton*, 97. kötet, pp. 350-359.
- Setzer, M. J. (2004), „CIF Test – Testmethode zur Bestimmung des Frostwiderstands von Beton (CIF) – RILEM Recommendation TC 117-FDC: CIF-Test: Capillary suction, internal damage and freeze thaw test – Reference method and alternative methods A and B”, *Materials and Structures*, Vol. 37., pp. 743-753.
- Szabó J. (2006), „Az európai és a nemzetközi szabványosítás folyamatai”, *Anyagvizsgálók Lapja*, 1. szám, pp. 1-3.
- Ujhelyi J. (2005), „Beton-ismeretek”, *Műegyetemi Kiadó*, Budapest
- „Zement Taschenbuch” (2002), *Verein Deutscher Zementwerke e. V.*, Düsseldorf
- Dr. Balázs L. György** (1958) okl. építőmérnök, okleveles mérnök matematikai szakmérnök, PhD, Dr. habil, egyetemi tanár, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék vezetője. Fő érdeklődési területei: beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek (anyagai, laboratóriumi vizsgálata és modellezése), szálereősítésű betonok (FRC), nem acélanyagú (FRP) betétek, megerősítések anyagai és módjai, erőátadódás betonban, vasbeton tartó repedezettségi állapota, vasbetonszerkezetek tartóssága. *A fib TG 4.1* „Használhatósági határállapotok” munkabizottság elnöke, további *fib*, *ACI* és *RILEM* bizottságok tagja. *A fib* Magyar Tagozat elnöke.
- 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 Mérnökgeológia Tanszéken (2003). *A fib* Magyar Tagozat tagja (2000). Az MTA Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Testületének gróf Lónyay Menyhért emlékérmes tiszteletbeli tagja (2003). Tevékenysége a betontechnológiai és a kő- és kavicsipari kutatásra, fejlesztésre, szakértésre, oktatásra, szabványosításra terjed ki. Publikációinak száma mintegy 170.

REQUIREMENTS AND TESTING OF FREEZE-THAW RESISTANCE OF CONCRETE

György L. Balázs – Tibor Kausay

Freeze-thaw resistance of concrete can be very important for outdoor structural elements. Influence of frost can be even combined with the influence of de-icing salts especially for bridges. Consideration of freeze-thaw resistance of concrete has been recently modified by adopting the new European Standards. Intention of present paper is to compare the requirements as well as the related test methods according to the previous Hungarian Standards MSZ 4715:1972 to EN 206-1:2002 (Hungarian Application Document: MSZ 4798-1:2004), CEN/TS 12390-9:2007, EN 12371:2002 and EN 1338:2003.

DR. ZVONIMIR MARIĆ 65 ÉVES



2009. április 1-jén szálltak Zágrábba születésnapj jókívánságaink Zvonimir Marić professzorhoz, a kiváló szakemberhez, jó barátunkhoz.

Zvonko – így szólítja őt Magyarországon is mindenki, aki közelebből ismeri – egy kis hercegovinai településen született. Onnan indult el tehetségével és szorgalmával azon az úton, amely a Zágrábban szerzett építőmérnöki diplomáját követően hazájában, Horvátországban a legkiválóbb szakemberek sorába vezette, s ismertté tette nevét a nemzetközi szakmai világban is.

A mostani ünnepi alkalommal talán nincs szükség arra, hogy munkája eddigi eredményeit ismertessük. Magasan ívelő pályáról beszámoltunk akkor, amikor felvételét kérte a fib Magyar Tagozatába, majd amikor öt éve köszöntöttük 60. születésnapja alkalmából. Azóta sok víz folyt le a Dunán, a Száván is. Zvonko tovább folytatta sokszínű munkáját. Továbbadta tanítványainak azokat a gazdag ismereteket, amelyeket több tucat vasbeton hid tervezése során szerzett. Tervezési munkáin kívül a gyakorlati építés és a szakértői munka is gyarapította tapasztalatait. A tervezési, építési munkával párhuzamosan végzett oktatás és kutatás jó példája annak, hogy e tevékenységek mily nagy mértékben és milyen kedvezően hatnak egymásra. Zvonko munkája kiegészült szakmai közéleti aktivitásával, könyvek, cikkek írásával, szakfolyóiratok szerkesztésével, szakmai szervezetekben betöltött vezető funkciókkal.

Jelenlegi ünneplése alkalmából csodálattal kell adoznunk mindannak, amit Zvonko hazájában végzett kimagasló munkája mellett a nemzetközi kapcsolatok fejlesztéséért és nem utolsósorban a magyar mérnökökért tett. Számtalan konferencián, tanulmányúton egyengette magyar mérnökök lépteit,

nyújtott publikációs lehetőséget, közreműködött határainkon épült hidak megvalósításában, elhozta hozzánk hazája eredményeit, s még folytathatnánk érdemei felsorolását. Zvonko azzal is bizonyította sokoldalúságát, hogy két cikluson át Horvátország pécsi főkonzulja volt, ennek során is erősítette műszaki kapcsolatainkat, fejlesztette a kulturális és társadalmi együttműködést.

Zvonimir Marić 35 éve kopogtatott a BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke laboratóriuma ajtaján. Bizalommal fogadtuk a tiszta tekintetű, rokonszenves fiatalembert. A laboratórium történetének egyik legértékesebb kutató munkáját végezte el, amelynek eredményeként megszerezte a műszaki doktori címet, ezt hazájában újabb tudományos fokozattal erősítette meg.

Az amúgy is poliglott beállítottságú fiatal mérnök páratlan energiával és tehetséggel sajátította el a magyar nyelvet. Ebben segítségére volt azóta hű társa, három magyarul is beszélő gyermekük édesanyja. A meghitt családi élet érzésünk szerint szép jutalma annak, amit Zvonko a mi mérnökeink és a magyar-horvát kapcsolatok érdekében tett.

A zágrábi majd eszéki egyetem professzora elsősorban kimagasló mérnöki teljesítményével érdemelte ki 2006-ban a Palotás László-díjat. Bizonyos, hogy ebben a magas elismerésben szerepet játszott a két szomszédos ország jó kapcsolataiért végzett sok munka is.

Zvonko születésnapja alkalmából további értékes alkotó és pedagógiai munkát kívánunk. Bízunk abban, hogy az ünnepelt sokáig, jó egészségben ápolja a hazánkkal kiépített kapcsolatait, s sok örömben lesz része családjá körében az élet minden területén.

T. G.

DR. DALMY DÉNES 70 ÉVES



Dalmy Dénes 1939. március 22-én született Debrecenben. Édesapja, bátyja mérnök, így aztán nem okozott gondot számára a szakmaválasztás.

1962-ben végzett a Műegyetem, akkori elnevezéssel Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Mérnök Karán. 1962-1964 között a Közlekedési Építő Vállalat vidéki, majd budapesti munkahelyein beosztott mérnök, építésvezető. Itt szerezte szakmai kiegészítő ismereteit, amelyek későbbi pályáján megalapozták és kiemelkedővé tették gyakorlati, elméleti tudását.

1964-ben Bölcskei Elemér professzor tanszékén a Vasbetonszerkezetek Tanszéken tanársegéd lett, a vasbeton szilárdságtan, majd szaktárgyak - mélyépítési szerkezetek, hidak - oktatásában, gyakorlatvezetőként, előadóként dolgozott, szakmérnökképzésben vett részt. Menyhárd István Héjszerkezetek című könyvének szerkesztője volt. 1971-től egyetemi adjunktus, 1973-ban műszaki doktori címet szerez, mintegy igazolva tudományos felkészültségét a gyakorlati, kísérleti és elméleti problémák megoldására. Ezt a kiváló készségét a további pályafutása során nap, mint nap bizonyította és mai napig is a szakmában elismert jellemzője.

Sokoldalúságára a gyakorlatban eddig eltöltött 47 év

eredményessége a bizonyíték. Ipari munkáiban főként híd és mélyépítési műtárgyak tervezését, szakértését végezte.

1978-1980 között Irakban egy tervezőirodában dolgozott, ahol többek között egy 60.000 néző befogadására alkalmas stadion és egy 600 ágyas kórház statikus terveit készítette el.

1990-ben több barátjával és egy francia céggel megalapította a Pannon Freyssinet Kft-t, amelynek ügyvezető igazgatója volt 2005-ig, majd műszaki igazgatója lett és a mai napig is az. Dolgozik!

A cégalapítás alig korlátozta egyetemi munkáját. A 2005. évi nyugdíjazása óta is több tárgy előadója a Budapesti Műszaki Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszéken.

A Kft. munkájában a műegyetemi tapasztalatait, idegen nyelvek tudását, olvasottságát jól kihasználva új eljárásokat, megoldásokat vezetett be, amellyel a Kft. ismertségét, talpon maradását megteremtette.

Vezetésével mutatták be Magyarországon először a külsőkábeles feszítést hidak és más szerkezetek erősítésére, amellyel több, mint 50 műtárgyat, objektumot erősítettek meg. A szénszálas erősítést először alkalmazta hidaknál. Sikerral vezette be az öntömörödő betont hidak oszlopainak erősítésénél. Újra visszahozta az eredeti talajtámfal szerkezetet és annak új formáját a hegesztett hálós homloklappal.

Az utófeszítési eljárások elterjesztésére nagysikerű előadássorozatot szervezett az ország nagyvárosaiban, többek

között ennek tudható be, hogy Magyarországon kezd elterjedni az utófesztített födémek építése.

Tevékenyen vett részt Magyarország nagy hídjainak építésében, így a Pentele-híd függesztő kábeleit, a Köröshegyi-völgyhid külső kábeleit, a Megyeri-híd ferde kábeleit tervezte, kivitelezte rátermett csapatával. A Metró 4. vonal szerkezeti terveinek ellenőre.

Az igen gazdag szakmai életmű mellett, adottságainak megfelelően, kiemelkedő a társadalmi, közéleti szerepe: A **fib** Magyar Tagozatának Palotás László díj kuratóriumának tagja. Hosszú oktatói pályája során talán nincs olyan statikus, akit ne oktatott volna és ne látott volna el szakmai tanácsokkal, ne terelt volna a leghelyesebb kollégialítás irányába. Szakmai működése során az oktatás mellett tervezett, kivitelezett, szakértett. A hatalmas felhalmozott ismeretanyag mellett széles ismertsége is nagy segítségére volt, hogy mint a Mérnöki Kamara Tartószerkezeti Tagozat elnöke hasznos vezetője legyen a statikus társadalomnak. Programjának megfelelően a Tartószerkezeti Tagozat honlapot indított. Az MSZ szabványok 2010. márc. 31-i megszűntével az Eurocodok bevezetésének megkönnyítésére példatársorozat megjelentetését kezdte

meg. Szívügyének tekintette a fiatal kezdő mérnök mielőbbi bekapcsolódását a közösségi munkába, így a fiatal statikusok Mérnöki Kamarába való beilleszkedésére, közreműködött egy Fiatal Statikus Szakosztály megalapításában.

Úgy érezzük, hogy a 70. születésnap alkalom a sommásabb megállapításokra. Ilyen hosszú és eredményes pályafutás áttekintése megenged némi elfogultságot és semmissé tesz esetleges hibákat, amelyek mindnyájunkat jellemeznek. Nagyon tömören összefoglalva Dalmy Dénes számtalan igen pozitív vonással jellemezhető: kiváló nevelő (jó kiválasztás, tehetségek támogatása, méltányos számonkérés, szakmai előrehaladás biztosítása), kiváló mérnök (alapos ismeretek, nagy tájékozottság, szakmai sokoldalúság, irányítókészség, vállalkozói hajlam), kiváló egyéniség (korrekt emberi és szakmai hozzáállás, csapatszellem-formálás, munkabírák, emberi és szakmai szolidaritás).

70 éves születésnapja alkalmából barátai, tanítványai, kollégái és közvetlen munkatársai szívből kívánunk Dalmy Dénesnek még sok-sok munkában eltöltött sikeres esztendőt és jó egészséget!

Dr. Loykó Miklós

KISS LAJOS EMLÉKÉRE (1926–2009)



Gyászol a hidász szakma. Elment a nagy generáció egyik halk szavú, mégis meghatározó alakja.

Az előregyártott hídgerendák tervezésében, a tartócsaládok kifejlesztésében végzett munkássága kapcsán a tervezők, a kivitelezők és az előregyártó üzemek szakemberei egyaránt, mindig tisztelettel és szeretettel említették a nevét. Ugyancsak nélkülözhetetlen tagja volt a nagy

műtárgyak tervező gárdájának. A folyami- és völgyhidak, az autópálya alul- és felüljárók alapozásának és alépitményeinek tervezése az ő munkájával vált megnyugtatóan teljessé.

Pályáját az 1944-ben a budapesti Lónyai utcai református gimnáziumban tett érettségi után a háború azonnal megtöri, és a frontra sodorja, ahonnan másfél éves szibériai fogolytábor után kerül haza.

Munka mellett végzi az egyetemet, 1949-től az ÁMTI, a Mélyépterv, 1953-tól az Uvaterv dolgozója. 1959-ben szerzi meg diplomáját az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Mérnöki Karán, a Híd- és szerkezetépítő szakon. 45 éven át dolgozik az Uvaterv Hídirodáján, majd 1998-tól a Pont-TERV Zrt. műszaki tanácsadója, ahonnan 2008-ban megy végleg nyugdíjba.

A részvételével készült jelentősebb hazai tervezési munkák: a tokaji és a kisari Tisza-híd, a szolnoki Tisza-híd feljárói, az Erzsébet-híd budai feljárója, a Hárosi Duna-híd meder és ártéri pillérei, a lágymányosi Duna-híd meder és parti pillérei, a tiszauji Tisza-híd, az M3-as, M7-es autópálya és számos más főút közötti hidjainak jelentős része.

A BVM Épelem Kft. által gyártott előfeszített hídgerendák (EHGE, EHGT, EHGTM, UB és EHGT/F) és a FERROBETON Zrt. által gyártott FCI jelű hídgerendák statikai számítása és kiviteli tervezése mind az ő nevéhez kötődik.

Szakmaszeretettel, kiváló gyakorlati érzékével és kedves, meleg humorával egyaránt kiérdemelte a tapasztalt és a fiatal munkatársak tiszteletét és szeretetét.

Valóban őt idézi – a fájdalmas hírt tudtul adó gyászjelentés mottója –

*„Ama nemes harcot megharcoltam,
Futásomat elvégeztem,
A hitemet megtartottam”*

Pál II. levele Timóteushoz 4:7

Munkatársainak most már mindig hiányozni fog az a sok értékes tanács, a bőkezűen osztott tapasztalat és a maga körül mindig békét teremtő egyénisége.

Jó ember volt. Nyugodjék békében.

Földváry Kálmán

fib BULLETIN 45: PRACTITIONERS' GUIDE TO FINITE ELEMENT MO- DELLING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

The latest *fib* Bulletin, number 45, "Practitioners' guide to finite element modelling of reinforced concrete structures" is now available for purchase from the *fib* secretariat.

Non-linear computer analysis methods have seen remarkable advancement in the last half-century. The state-of-the-art in non-linear finite element analysis of reinforced concrete has progressed to the point where such procedures are close to being practical, every-day tools for design office engineers. Non-linear computer analysis procedures can be used to provide reliable assessments of the strength and integrity of damaged or deteriorated structures, structures built to previous codes, and of standards or practices deemed to be deficient today. They can serve as valuable tools in evaluating the expected behaviour from retrofitted structures, or in investigating and rationally selecting amongst various repair alternatives.

fib Bulletin 45 provides an overview of current concepts and techniques relating to computer-based finite element modelling of structural concrete. It summarises the basic knowledge required for use of nonlinear analysis methods as applied to practical design, construction and maintenance of concrete structures, and attempts to provide a diverse and balanced portrayal of the current technical knowledge, recognising

that there are often competing and conflicting viewpoints. This report does not give advice on picking one model over another, but rather provides guidance to designers on how to use existing and future models as tools in design practice, in benchmarking of their models against established and reliable test data and in selecting an appropriate safety factor as well as recognising various pitfalls.

fib Bulletin 45 is intended for practicing engineers, and therefore focuses more on practical application and less on the subtleties of constitutive modelling.

Pages: 344

Price: CHF 180 (non-member price), including surface mail
ISBN 978-2-88394-085-7

To order this Bulletin, use the order form at www.fib-international.org/publications/order/.

fédération internationale du béton (*fib*)
International federation for structural concrete
Case Postale 88, 1015 Lausanne, Switzerland
Phone +41 21 693 2747 * Fax +41 21 693 6245
fib@epfl.ch * www.fib-international.org

