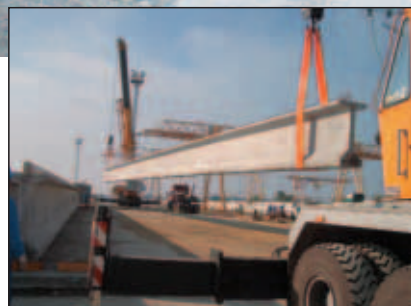
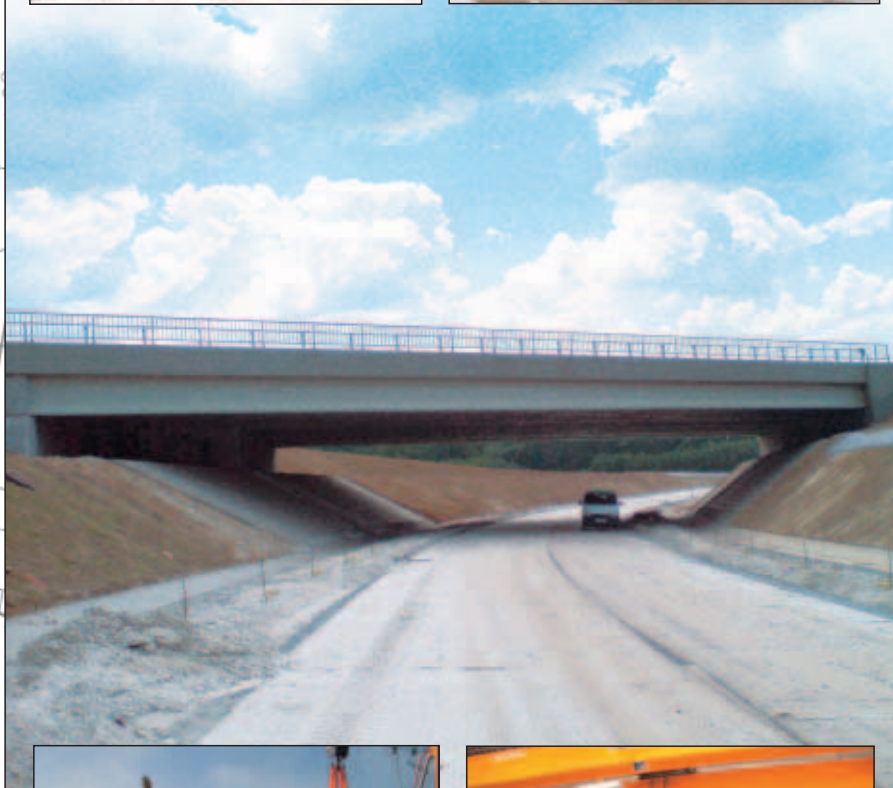


A **fib** MAGYAR TAGOZAT LAPJA

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF **fib**



Bedics Antal – Dubróvszky

Gábor – Kovács Tamás

Az FI-150 hídgerenda-család kifejlesztése – tervezés, gyártás és alkalmazás

34

Mihalek Tamás

A kőröshegyi völgyhíd építésének története

4. A völgyhíd feszítése

43

Szilágyi Katalin –

Dr. Borosnyói Adorján

A Schmidt-kalapács 50 éve: múlt, jelen, jövő

2. Az európai szabványosítás és annak hazai jelentősége

48

Dr. Kopecskó Katalin –

Dr. Balázs György

Kloridkötés betonban

2. A cementkő kloridion megkötő képessége

55

Dr. Tassi Géza

ÉPKO konferencia Erdélyben

65

SZEMÉLYI HÍREK

Dr. Dalmy Tibor emlékezetére

67

2008/2

X. évfolyam, 2. szám

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

Lektorai testület:

Dr. Deák György

Dr. Dulácska Endre

Dr. Jancsó 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, Műgyetem 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: 190 000 Ft+áfa

belső borító: 150 000 Ft+áfa

A hirdetések felvétele:

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

Címlap:

Az új fejlesztésű FI-150 jelű hídgerenda
ami közbúlsó alátámasztás nélkül
áthidalhatja autópályáinkat

TARTALOMJEGYZÉK

- 34** Bedics Antal – Dubróvszky Gábor – Kovács Tamás
Az FI-150 hídgerenda-család kifejlesztése – tervezés, gyártás és alkalmazás
- 42** *fib* bulletin 40:
FRP reinforcement in RC structures
- 43** Mihalek Tamás
A kőröshegyi völgyhíd építésének története
4. A völgyhíd feszítése
- 47** *fib* bulletin 41:
Treatment of imperfections in precast structural elements
- 48** Szilágyi Katalin – Dr. Borosnyói Adorján
A Schmidt-kalapács 50 éve: múlt, jelen, jövő
2. Az európai szabványosítás és annak hazai jelentősége
- 55** Dr. Kopecskó Katalin – Dr. Balázs György
Kloridkötés betonban
2. A cementkő kloridion megkötő képessége
- 65** Dr. Tassi Géza
ÉPKO 2008 konferencia Erdélyben
- 67** **Személyi hírek**
Dr. Dalmy Tibor emlékezetére

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., Uvater Zrt.,
Mélyépterv Komplex Mérnöki Zrt., Hídtechnika 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

AZ FI-150 HÍDGERENDA-CSALÁD KIFEJLESZTÉSE – TERVEZÉS, GYÁRTÁS ÉS ALKALMAZÁS



Bedics Antal – Dubróvsky Gábor – Kovács Tamás

A magyarországi autópálya-hálózat 2003-tól kezdődő gyors ütemű fejlesztése szolgáltatta a műszaki igényt és teremtette meg egyben az üzleti lehetőséget egy új, előfeszített, üzemen előregyártott, hazai hídgerenda-család kifejlesztésére. Az FI-150 hídgerenda-család kifejlesztését a szükséges műszaki követelményeken túlmenően funkcionális, geometriai és gazdaságossági szempontok határozták meg. A hídgerendák erőtanai és tartóssági szempontból mind a hazai ütügyi műszaki előírások, mind a vonatkozó Eurocode követelményeit kielégítik. Az FI hídgerenda-család C60/75 szilárdsági jelű betonból, 1,50 m tartómagassággal készül; a család leghosszabb eleme 44,80 m hosszúságú, mely 44,20 m támaszköz áthidalására alkalmas két- vagy folytatódó többsíkú kialakításban egyaránt. Magyarországon az első, 42,80 m hosszúságú FI-150 jelű hídgerendából készült hídfelszerkezet az M7 autópályán épült meg 2007 decemberében.

Kulcsszavak: autópálya, feszített beton, előregyártott hídgerenda, tartósság, nagyszilárdságú beton, kísérleti program, erőtanai tervezés, Eurocode

1. BEVEZETÉS

1.1. Előzmények

A magyarországi autópálya-hálózat gyors ütemű fejlesztésének ambiciózus koncepciója 2003-tól kezdődően a hazai építőipari szektorban konjunktúrát eredményezett. Jelentős számú újonnan tervezett híd épült mind az M0, M7, M6, M5 és M3 autópályák új szakaszain (felül- vagy aluljáróként), mind ezen új autópálya-szakaszok meglévő közúthálózattal való közvetlen vagy közvetett összeköttetésein, illetve a nagyobb települések elkerülő útjain. 2003-tól kezdve napjainkig az Állami Autópálya Zrt. és a Magyar Közút Kht. kezelésében lévő autópálya és egyéb közúti hidak száma hozzávetőlegesen 10%-kal növekedett és ezen új hidak döntő többségének támaszköze nagyobb, mint 10 m.

Ez, az építőipari szempontból kedvező gazdasági helyzet a résztvevők számára intenzív termékfejlesztésre nyújtott lehetőséget azokon a területeken, ahol az újonnan kidolgozott tartószerkezeti megoldások funkcionális vagy gazdaságossági szempontból kedvezőbb eredményre vezettek, mint a korábban alkalmazott megoldások. A Ferrobeton Zrt. évek óta az előregyártott hídgerendák legnagyobb hazai gyártója, ezen belül kizárólagosan rendelkezik a Magyarországon leggyakrabban alkalmazott hídgerenda-családok (FP, FCI, FPT, ITG) gyártásához szükséges műszaki felszereltséggel (zsálatatok és feszítési kapacitás) és e termékek forgalmazásához szükséges építőipari műszaki engedélyekkel. A 2002-2003 években épült új hazai autópálya-szakaszok megépítésében szerzett tapasztalatok birtokában a társaság felismerte egy 44 m körüli hosszúságú, előregyártott hídgerenda-család célszerű alkalmazhatóságában rejlő piaci lehetőségeket.

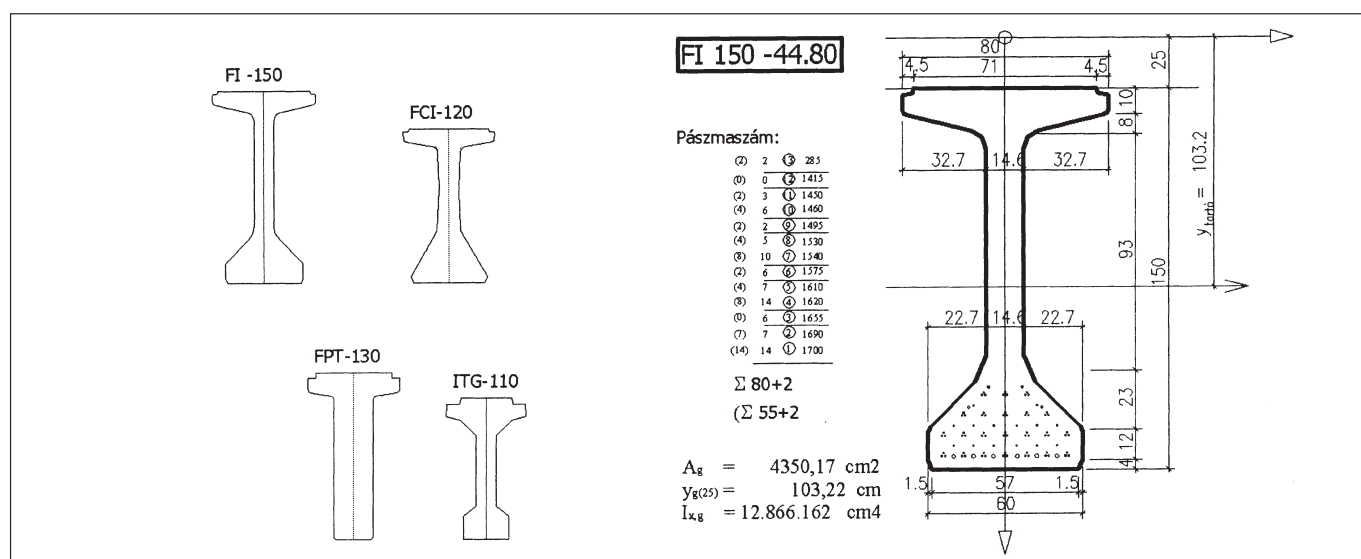
1.2. Funkcionális igények és azok következményei

A közelmúltban végrehajtott magyarországi autópálya hidak tervezése során funkcionális, geometriai és szerkezeti kialakításból adódó gazdaságossági nehézségek merültek

fel. Nem volt reális alternatíva a 15-20 m mély völgyeken áthaladó, 200-250 m hosszúságú viaduktok addig alkalmazott beton-felszerkezeteivel szemben. Versenyképes, alternatív tartószerkezeti megoldás, mint például ferdekábeles vagy „extradosed” felszerkezetek hiányában leggyakrabban szakaszosan előretolt szekrénytartókat alkalmaztak. Ez esetekben nem csupán a tartószerkezet típusa és az építési költség a kérdés, hanem a szükséges építési idő is fontos szemponttá lép elő.

Autópályák relatív kis szögben történő áthidalása nagy ferdeségű áthidaló szerkezetet (aluljáró) eredményez. Ez esetekben sem a hídfők, sem az áthidaló szerkezet közbelső alátámasztásának síkja, mely az autópálya két forgalmi irányát elválasztó sávba kerül, helyhiány miatt nem lehet merőleges a felszerkezet hossz tengelyére, ami erőtanai szempontból is kedvezőtlen. Előregyártott felszerkezetek esetén további nehézséget jelent, hogy a nagy ferdeség miatt a hídgerendák szükséges alátámasztási hosszának biztosítása érdekében széles közbelső fejgerendára van szükség, mely geometriai szempontból korlátozza az autópálya szükséges űrszelvényét.

Autópályák esetén új követelményként merült fel olyan, közbelső alátámasztást nem igénylő autópálya aluljárók kialakítása, melyek eredményeként a híd alatt az autópálya beláthatósága megnövekszik, ami forgalombiztonsági szempontjából rendkívül kedvező. Ez a követelmény tovább fokozódott 2006 után, amikor Magyarországon a szabványos autópálya koronaszélességet gazdasági indokok eredményeként csökkentették. Ezzel együtt 2006 előtt a meglévő hazai előregyártott hídgerenda-családok (az összehasonlítást lásd az 1.3. pontban) alkalmazásával elérhető legnagyobb gerendahossz 34,80 m volt, így e gerendákkal Magyarországon közbelső alátámasztás nélküli, előregyártott felszerkezetű autópálya aluljáró megépítésére geometriai okokból nem volt lehetőség.



1. ábra: A Ferrobeton Zrt. által gyártott hídgerendák összehasonlítása

1.3. A meglévő hazai előregyártott hídgerendák összehasonlítása

A Ferrobeton Zrt. által, hagyományos Hoyer-rendszerben gyártott, 30 m-nél hosszabb támaszközök áthidalására alkalmas, I és T keresztmetszetű, előregyártott beton hídgerenda-családok rövid összehasonlítása látható az 1. ábrán. Ezek fő adatait, azaz a gerendamagasságot, a gerendacsaládok legnagyobb elemhosszát, a fajlagos súlyt és a gerendacsaládonkénti legnagyobb gerendasúlyt az 1. táblázat tartalmazza.

Az FP típusú hídgerendákat az összehasonlítás nem tartalmazza, mivel azok csak kis támaszközű ($\leq 15,0 \text{ m}$) áthidalására alkalmasak. Mind az 1. ábra, mind az 1. táblázat tartalmazza az újonnan kifejlesztett FI gerendacsalád adatait is, de ennek részletes tárgyalására a 2. fejezetben kerül sor.

Az FPT hídgerenda C50/60 szil. jelű betonból, míg az ITG és FCI hídgerendák C40/50 szil. jelű betonból készülnek. Az új gerendatípus fejlesztését egyértelmű döntés előzte meg, miszerint az új terméket az FCI hídgerenda kedvező tulajdonságaira (teljes magasság és a hozzá tartozó fajlagos súly) kell alapozni. Az FCI gerenda keresztmetszeti alakja a legkedvezőbb mind gyárthatósági, mind pedig fenntartási szempontból, továbbá ez esetben számottevő előrelépésre van lehetőség a betonszilárdság szempontjából is.

1.4. A fejlesztés irányai

2005-ben, amikor a gyártó felismerte, hogy az autópálya hidakkal kapcsolatban az 1.2. pontban leírt funkcionális igények a korábbinál hosszabb hídgerendák alkalmazásával, hagyományos módon kialakított felszerkezetekkel kielégíthetők, majd ennek eredményeként elhatározta, hogy megragadja az ebben rejlő kedvező piaci lehetőséget, pontosan ki kellett jelölnie a termékfejlesztés műszaki és stratégiai irányait.

A fejlesztés műszaki oldalát tekintve a vonatkozó tervezési előírásokban szereplő, hidszerkezeti elemekre vonatkozó, egyre

szigorúbb tartóssági követelmények jelentették a legfontosabb szempontot. A korábbiakban a téli jégtelenítéshez használt jégolvasztó sók tartalmazó vízpermet és a gerendafelület közvetlen érintkezésének megakadályozása érdekében az előregyártott hídgerendákat rendszeresen többretegű sóvédelmi bevonati rendszerrel látták el. Az újabb kutatási eredmények szerint a beton kloridion-behatolással szembeni ellenállása jelentős mértékben megnövekszik pusztán attól, ha magasabb szilárdságú betont alkalmaznak. E magasabb kloridionnal szembeni ellenállásban nem önmagában a szilárdság játszik fő szerepet, hanem a magasabb szilárdság elérése érdekében alkalmazott tömörebb, kisebb porozitású beton. A magasabb szilárdság következményeként azonban nagyobb feszítőerő alkalmazására nyílik lehetőség, mely a legfőbb erőtani feltétele a gerendahossz számottevő megnövelésének.

Hosszútávú stratégiai szempontként merült fel és került egyhangú elfogadásra az az igény, hogy a tervezés során az új gerendacsalád erőtani megfelelősége az Eurocode alapján is igazolva legyen. A jelenlegi jogi helyzet szerint 2010 után – a hazai előírásoktól függetlenül – az Eurocode-ok alkalmazása nem kerülhető meg Magyarországon. Különösen igaz ez a részben vagy egészben államilag finanszírozott beruházás keretében épülő tartószerkezetekre.

A fenti megfontolások alapján a gyártó az új gerendacsalád esetében a korábbi hídgerendákhoz alkalmazott betonokhoz képest magasabb szilárdságú beton alkalmazását határozta el. Ezen elhatározást másodlagos indokként az arra való törekvés is elősegítette, hogy nagyszilárdságú beton alkalmazása esetén a beton kloridion-behatolással szembeni megfelelő ellenállását a beton önmagában biztosítani tudja, így ennek eredményeként a sóvédelmi bevonat elhagyható lesz, ennek költsége pedig a termék versenyképességét javítja. Ugyancsak a fenti megfontolások alapján a gyártó az új gerendacsalád megtervezését – a jövőbeli és esetleges külföldi alkalmazás reményében – mind az Eurocode alapján, - a jelenlegi hazai alkalmazás feltételeként pedig – mind a hazai útügyi műszaki

1. táblázat: A Ferrobeton Zrt. által gyártott hídgerenda-családok fő adatai

Hídgerenda típusa	Teljes magasság [cm]	Max. hossz [m]	Fajlagos súly [kN/m]	A leghosszabb gerenda tömege [t]
FPT	130	34,80	11,278	39,2
ITG	110	32,80	8,323	27,3
FCI	120	32,80	8,875	29,1
FI	150	44,80	12,617	56,5



2. ábra: A C90/105 jelű betonból készült kísérleti FPT gerenda hajlítási tönkremenetele

előírások alapján megrendelte. Az új termék fejlesztésének előkészítésével párhuzamosan - az előre látható jövőbeli megrendelések kielégítésére való felkészülés részeként - a gyártó jelentős mértékű gyárbővítésbe kezdett. Ennek keretében az új gyárápület kialakítása és méretezése, valamint a beépített felszerelések ezen új termék gyártásához szükséges kapacitások figyelembevételével történt (lásd a 3. fejezetet).

1.5. Laborkísérletek

2005-ig a Magyarországon gyártott hídgerendákhoz alkalmazott legnagyobb betonszilárdság C50/60 volt. 2005-ben a Ferrobeton Zrt. (a Magyar Betonelemgyártók Szövetségének (MABESZ) tagja) a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszékével együttműködve és az Állami Közúti Műszaki és Információs Kht. (ÁKMI Kht.) agyagi támogatásával egy hosszú kísérleti programot hajtott végre, melynek témája a nagyszilárdságú betonok előfeszített hídgerendákban való alkalmazása volt. A program keretében előírányzott betonszilárdság C70/85 volt. E program az előírányzott szilárdságú beton legyártása helyett, mely üzemi körülmények között már abban az időben sem volt nagy kihívás, elsősorban a beton zsaluzatba való megfelelő bedolgozására és tömörítésére összpontosított. Jelentős számú laborkísérlet készült, a legtöbb beton-összetevő esetén legalább két alternatíva, mint például CEM I 52,5 és 42,5 jelű cementek, természetes folyami kavics és zúzottkő adalékanyagok, továbbá szilikapor és mészkölszt kiegészítő anyagok felhasználásával. A próbakocka-vizsgálatok során az üzemi körülmények között elért legnagyobb betonszilárdság C90/105 volt.

A kísérleti program 8,8 m hosszú, kéttámaszú FPT gerendák 1:1 léptékű törési vizsgálatával zárult (2. ábra). E vizsgálatok célja az azonos geometriai méretekkel és megtámasztási viszonyokkal rendelkező, de C50/60 és C90/105 szilárdságú betonból készült gerendák erőtanai viselkedésének összehasonlítása volt. Az eredmények igazolták a várt erőtanai viselkedést és az ezek alapján készült előzetes számításokat, a magasabb betonszilárdság alkalmazásából adódóan pedig semmilyen erőtanai hátrány nem volt megfigyelhető az elemek törésig tartó terhelése folyamán. A C90/105 jelű betonból készült gerenda duktilitása jelentős mértékű maradt; a szimmetrikus elhelyezkedésű, koncentrált terhelés hatására létrejövő legnagyobb mezőközépi lehajlás a tönkremenetelt megelőzően minden esetben nagyobb volt, mint a támaszköz 1/30-ad része.

A kísérleti program eredményeként 2006-ra a gyár képessé vált C60/75 jelű betonból készülő előregyártott hídgerendák folyamatos gyártására. Az alkalmazott betontechnológiai folyamatok és a gyáron belüli betonüzem szintén fejlesztésen esett át, melynek eredményeként a fenti gyártás kiszolgálására teljes mértékben alkalmassá váltak.

2. ERŐTANI TERVEZÉS

Az 1.4. pontban szereplő indokok miatt az új hídgerenda-család erőtanai tervezése egyidejűleg a hazai útügyi műszaki előírások és az Eurocode alapján egyaránt megtörtént. Az útügyi műszaki előírások szerinti tervezést és a gyártmányterveket az Uvaterv Zrt. készítette el, míg az Eurocode alapú tervezést egy független cég végezte. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszéke az erőtanai tervezés független ellenőrzését végezte.

A teljes tervezési folyamat során általában az Eurocode alapú tervezés volt a meghatározó, a tervezési változók értékeit az Eurocode szerinti erőtanai megfelelés feltétele határozta meg.

2.1. Tervezési szabványok

A hazai útügyi műszaki előírások szerinti erőtanai tervezésre jogi szempontból volt szükség. A jelenlegi előírások szerint ezen útügyi műszaki előírások alkalmazása minden állami kezelésben lévő közúti műtárgy tervezésekor kötelező. Az útügyi műszaki előírások szerinti tervezés jogi szempontból a hídgerendák hazai alkalmazásának lehetőségét biztosítja.

Az Eurocode szerinti tervezésre stratégiai okokból, valamint a hídgerendák esetleges Magyarországon kívüli alkalmazhatóságának a feltételeként volt szükség. 2002-től kezdődően Magyarországon az Eurocode szabványok párhuzamosan alkalmazhatók a meglévő nemzeti szabványokkal. A hazai hidak esetében ez a párhuzamos alkalmazás lényegében nem valósul meg az útügyi műszaki előírások kötelező jellege miatt. Az európai szabványharmonizáció időbeli menetrendje szerint az Eurocode szabványok legkésőbb 2010-ben hatályba lépnek és ebben az időpontban minden azokkal ellentétes nemzeti szabványt vissza kell vonni. 2010 után az Eurocode-ok alkalmazása – főleg az államilag finanszírozott projektek esetében – jogi szempontból nem lesz megkerülhető.

2.2. A beton nyomószilárdsága

A tervezési számítások szerint a termék erőtanai okokból jelentős mértékű feszítést igényel, melyhez mind a feszítőerő ráengedésének időpontjában, mind a végleges beépítési helyzetben viszonylag nagy betonszilárdságra van szükség.

Megengedett feszültség	Betonoszilárdsági osztály									Formula	C60/75
	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67		
tiszta nyomás σ_{beN}	9,6	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0	33,0	$0,6R_{bk}$	36,0
hajlításból származó nyomás, σ_{beM}	11,5	14,4	18,0	21,6	25,2	28,8	32,4	36,0	39,6	$1,2\sigma_{beN}$	43,2
hajlításból származó húzás, σ_{beH}	1,16	1,42	1,58	1,75	1,92	2,0	2,16	2,33	2,50	$\sigma_{hH}/1,2$	2,60
húzó főfeszültség, σ_{beF}	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0	σ_{hH}	3,1

Az előírányozott nagyobb tartósság és az említett jelentős mértékű feszítőerő együttesen vezettek a C60/75 szil. jelű beton alkalmazásához. A tervezési folyamat első nehézsége e szokásosnál nagyobb betonszilárdság és következményeinek figyelembevétele az erőtani számításokban.

A vonatkozó útügyi műszaki előírás nem tartalmaz C55/67-nél nagyobb betonszilárdsági osztályokat. Tartalmazza azonban az összes származtatott szilárdsági paraméter és az összes nyomófeszültségi korlát számítási összefüggését. Annak érdekében, hogy a C60/75 szilárdsági osztály az útügyi műszaki előírások szerinti erőtani számításokban figyelembe vehető legyen, a szilárdsági paramétereket és a megengedett feszültségeket tartalmazó táblázatok a meglévő összefüggések felhasználásával kiegészítésre kerültek a C60/75 szilárdsági osztályhoz tartozó extrapolált értékekkel. E folyamat eredményeként a beton megengedett feszültségeit tartalmazó kiegészített táblázatot mutatja a 2. táblázat.

Hasonló, de a fentivel nem azonos probléma merült fel az Eurocode szerinti tervezéskor. A tervezés időszakában a vonatkozó honosított Eurocode szabványhoz tartozó nemzeti melléklet még nem készült el, ezért a nemzetileg meghatározott paraméterek hazai alkalmazáshoz tartozó értékei még nem kerültek meghatározásra, azokat a tervezőnek kellett felvenni. Másrészt a gyártónak hasonló jellegű előregyártott, előfeszített termékek gyártása során szerzett jelentős mennyiségű tapasztalatára hivatkozva tényként megállapítható volt, hogy a feszítőerő ráengedésekor fellépő nyomófeszültség ($0,6-0,9f_{ck}(t)$) jelentősen magasabb, mint a vonatkozó nyomófeszültségi korlát Eurocode szerinti javasolt értéke ($0,7f_{ck}(t)$). Ezért, hivatkozva a meglévő gyártási tapasztalatokra, az e termék teljes gyártási folyamatához előzetesen meghatározott minőségellenőrzési intézkedésekre, valamint a termék átvételi feltételeit tartalmazó előírásban lefektetett szigorú követelményekre, a feszítőerő ráengedésének időpontjában fellépő beton nyomófeszültség megengedett értékét $0,9f_{ck}(t)$ értékben határoztuk meg, majd

a továbbiakban ezt alkalmaztuk a tervezési számításokban. Már az elsőként legyártott termékek is igazolták, hogy a fenti módon és mértékben megemelt megengedett nyomófeszültség ellenére semmilyen ezzel kapcsolatos kedvezőtlen jel (pl. lokális morzsolódás, hosszirányú repedések, stb.) nem volt megfigyelhető a feszítőerő ráengedésének az időpontjában és azt követően sem.

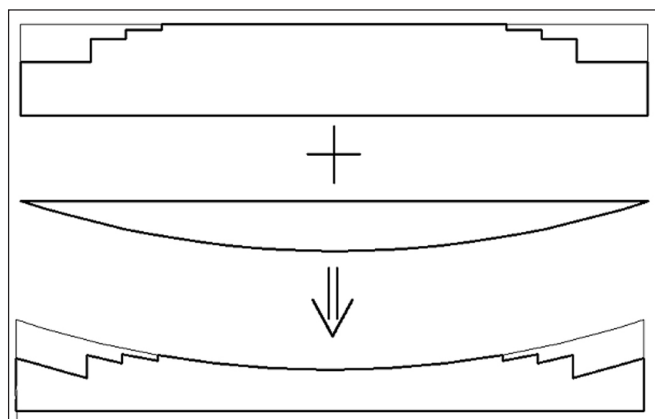
A nagy feszítőerő másik fontos következménye a feszítópásmák lehorgonyzásainak a gerendavégek max. 10 m hosszúságú szakaszán történő szétszórása volt. A legfeljebb 80 darab, alsó övben elhelyezett feszítópásmák által bevitt feszítőerőt a tartóvég az alkalmazott betonszilárdság mellett sem lett volna képes elviselni, ha az összes feszítőbetét-lehorgonyzás a szokásos módon, a tartóvégen történik. Ezért a pásmákat összesen négy csoportra osztottuk, és az egyes csoportok lehorgonyzásait a gerenda végeinek 10 m hosszú szakaszain négy különböző keresztmetszetben helyeztük el. A 3. ábra a gerenda alsó szélső szálában a feszítőerő és az önsúly együttes hatására fellépő nyomófeszültséget szemlélteti a gerenda teljes hossza mentén. Az első ábrarész önmagában csak a feszítés hatását mutatja. A normál(nyomó)feszültségi diagramban látható lépcsők az említett lehorgonyzási keresztmetszetekben vannak. A tartó zsaluzatból való kiemelése és a teljes önsúly (második ábrarész) működése után a jellegzetes fűrészfog alakú beton-nyomófeszültségi diagram alakul ki a gerenda alsó övében (harmadik ábrarész).

Ez a fokozatos feszítőerő ráengedés technológiailag a szükséges számú pásmák (vagy pásmaköteg) meghatározott hosszban történő tapadásmentesítésével volt megoldható, melynek keretében a tartóvégen tapadásmentesítendő pásmákra a betonozást megelőzően műanyag (PVC) csövet húznak (lásd a 4. ábrát). Bár a feszítőerő ráengedést követően az érintett pásmák tapadásmentesített szakaszait eltávolítani nem lehet, ugyanakkor a híd végleges állapotában e pásmák végei a helyszíni lemezzel egy időben készülő monolit keresztartó által teljes mértékben bebetonozásra, így a környezeti hatásoktól elszigetelt helyzetbe kerülnek, ami tartóssági szempontból megfelelő megoldást eredményez.

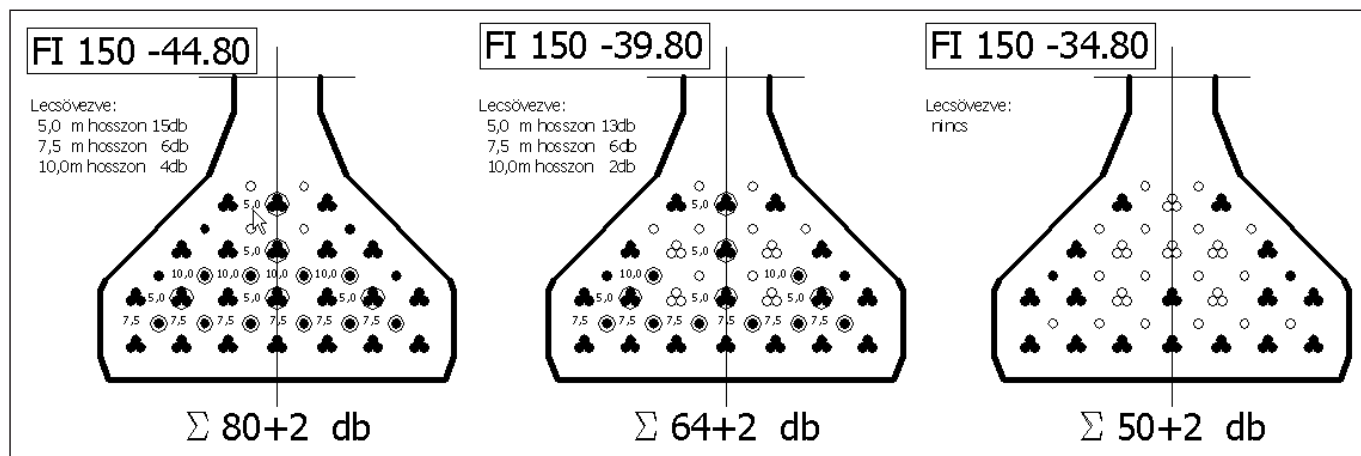
2.3. Geometriai tervezés

Az új FI hídgerenda-család geometriai méretei egyrészt az 1.2. pontban felsorolt funkcionális igények, másrészt az üzemi gyártóberendezések és a meglévő szállítási lehetőségek (pl. közúti és vasúti pálya legkisebb görbületi sugara, megengedett legnagyobb tengely- és keréksúlyok közötti szállítás esetén, vasúti úrszelvény-szélesség, stb.) által megszabott geometriai és súlykorlátok figyelembevételével kerültek meghatározásra.

Ennek eredményeként a gerendacsalád leghosszabb elemének hossza 44,80 m-re adódott, a két végen $2 \times 0,6$ m felfekvési hossz figyelembevételével. Következésképpen



3. ábra: A részleges tapadásmentesítés hatása a beton-nyomófeszültségekre az alsó övben



4. ábra: Az alkalmazott három pászmakép és az ezekhez tartozó maximális pászmaszám

e leghosszabb gerenda – szokásos közúti híd részeként beépítve – legfeljebb 44,20 m támaszközü, kéttámaszú vagy folytatólagos töbtámaszú nyílás közbenső alátámasztás nélküli áthidalására alkalmas. E legnagyobb gerendahosszhoz tartozó legkisebb tartómagasság – közúti hídba történő beépítést feltételezve – 1,50 m-re adódott az Eurocode szerinti tervezés eredményeként.

A gerendacsalád keresztmetszetének alakja az 1.3. pontban szereplő megfontolások, továbbá a gyárban, a szállítási útvonalon és az építési helyszínen rendelkezésre álló legnagyobb emelőkapacitás figyelembevételével került meghatározásra. Az alak az FCI gerendák keresztmetszeti alakján alapul, mivel a beton bedolgozhatósága és tömöríthetősége szempontjából a korábbiakban ez bizonyult a legkedvezőbbnek. Az előirányzott betonszilárdság biztosítása szempontjából, különösen az alsó öv tekintetében, a tömörítést követően a frissbeton tömörségének, és ezzel szoros összefüggésben a frissbetonban visszamaradó levegőmennyiségnek kiemelt jelentősége van. Emiatt minél nagyobb az ellenzsaluzatot igénylő oldalfelület vízszintessel bezárt szöge, a tömörítés során annál könnyebb a levegő zsálvibrátorokkal történő kihajtása a frissbetonból. E feltétel eredményeként az alsó öv felső síkjának a vízszintessel bezárt hajlásszögét $\sim 45^\circ$ -ra vettük fel (1. ábra). A jelentős számú feszítőpászma alsó övben történő elhelyezése, valamint a gerenda emelése és mozgatása során a kifordulással szembeni szükséges ellenállás biztosítása (ld. a 2.5.1. pontot) miatt relatívan széles övekre volt szükség, ami végeredményben egy jellegzetes I alakú keresztmetszet eredményezett.

2.4. A tervezési változók optimalizálása

Egy szokásos, részben előregyártott hídfelszerkezet részeként beépített hidgerenda tervezése során a következő tervezési változókat kell rögzíteni (e változók értékei elméleti értelemben esetenként változtathatók, de gyártási és kivitelezési szempontból ez nem célszerű):

- a gerendák tengelytávolsága (párhuzamos elhelyezést feltételezve)
- a gerendák szükséges pászmaszáma, ami a feszítés maximális értékét határozza meg,
- a részben tapadásmentesített pászmák esetén a tapadásmentesített szakaszok hosszát (a gerenda azon keresztmetszeteit, melyekben a részben tapadásmentesített pászmák lehorgonyozása megkezdődik)

A végleges helyzetbe beépített gerendák tengelytávolságát fenntartási okokból alulról korlátozni kellett. A gerendák oldalfelületeinek megközelíthetőségére a fenntartást végző

szervek igényt tartanak, ami fizikailag akkor lehetséges, ha a gerendák tengelytávolsága legalább 1,0 m. Ez esetben a gerendák alsó övei közötti tiszta távolság 0,4 m-re adódik.

Általános esetben a feszítés minimális mértékét erőtani szempontból a mezőben előírt dekompressziós feltétel határozza meg (ld. a 2.5.2. pontot). Az alsó övben erőtanilag szükséges minimális, de geometriailag még lehetséges és egyben maximális pászmaszám a jelen esetben a fenti dekompressziós feltételnek a gerendacsalád leghosszabb elemére történő alkalmazásából adódott. Ez a pászmaszám (80), az előirányzott betonszilárdság és a gyárban lévő lehorgonyzó tömbök geometriai méreteinek figyelembevételével geometriailag meghatározta az alsó öv méreteit.

A részben tapadásmentesített pászmák számát és ezeken a tapadásmentesített szakaszok hosszát általában a beton feszítőerő ráengedésének pillanatában meglévő szilárdsága határozza meg. Ezért erőtani és gyárthatósági szempontból további gyakorlati megfontolások eredményeként három tapadásmentesített pászmacsoportot alkalmaztunk. A tapadásmentesített szakaszok hossza a gerenda véglapjától mérve a három pászmacsoport esetén 5,0 m, 7,5 m és 10,0 m, az ezekhez tartozó keresztmetszetekben lehorgonyzott pászmák maximális száma sorrendben 15, 6 és 4 darab, a 4. ábrának megfelelően.

A fenti három tervezési változó különböző értékei kezelhetetlen számú különböző esetet eredményeznének, ami elsősorban gyártás, de tervezési szempontból is elfogadhatatlan. Ugyanakkor nyilvánvaló, hogy e tervezési változók optimalizálásra nyújtanak lehetőséget, melynek célja a különböző gerendatípusok számának minimalizálása gyártási és tervezési szempontból, egy hatékonyan használható tervezési segédlet kidolgozása, továbbá egy hatékony és letisztult tartószerkezeti megoldás kidolgozása. Mindezek eredményeként végül a 4. ábra szerinti három különböző pászmakép került meghatározásra. Eszerint az alkalmazott pászmaszám 34,80 m gerendahosszig 50+2 (50 az alsó övben és 2 a felső övben) teljes hosszban tapadásos kivitelben. A 34,80 m és 39,80 m közötti gerendahosszak esetén alkalmazott pászmaszám 64+2, a 39,80 m feletti gerendahosszak esetén 80+2, melyekben három, részben tapadásmentesített pászmacsoport található. Természetesen lehetőség van az ajánlott pászmaképeken belül egyedi feszítőpászma-darabszámú pászmaképek kialakítására is. További útmutatóként ajánlott gerendatengely-távolságok kerültek meghatározásra 1,1 m-től 1,7 m-ig, melyek szintén bekerültek a termék építőipari műszaki engedélyébe (ÉME).

2.5. Az erőtani megfelelőség igazolása

Az erőtani tervezés keretében a gyártási, a szállítási, a helyszíni beépítési fázisokban és a végleges beépítési helyzetben mértékadó, következő ideiglenes és tartós tervezési állapotokat vizsgáltuk a szükséges határállapotokban az ütügyi műszaki előírások és az Eurocode alapján.

- ideiglenes tervezési állapotok
 - a feszítőerő ráengedésének időpontja (t_0)
 - a gerenda kiemelése a zsaluzatból (t_{01})
 - a gerenda kiszállítása a gyártelepről
 - helyszíni beépítés (t_1)
- tartós tervezési állapot
 - végleges beépítési helyzet (t_∞)

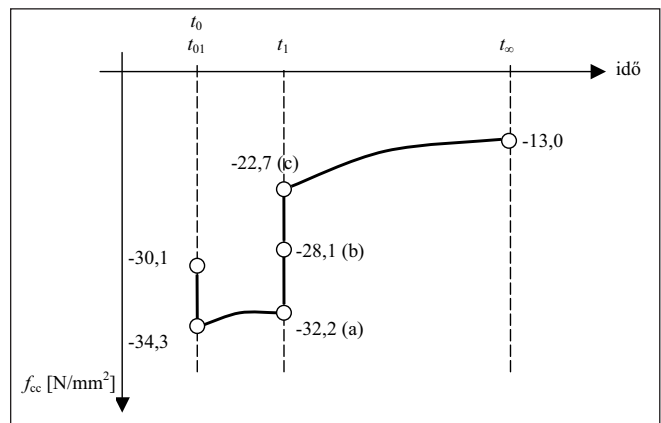
Az Eurocode alapú tervezés során a végleges beépítési helyzetben működő gerendák esetén XD3 és XF2 környezeti osztályt feltételeztünk.

A használhatósági határállapotok Eurocode szerinti igazolását megfelelő minőség-ellenőrzés és körülmények gyártás feltételezésével végeztük, melyre alapozva a vizsgált ideiglenes tervezési állapotokban a feszítőerő karakterisztikus értékét (P_k) a várható értékkel vettük azonosnak ($P_k = P_m$). Azonban tartós tervezési állapotokban a feszítőerő alsó ($P_{k,inf} = r_{k,inf} P_m$) és felső ($P_{k,sup} = r_{k,sup} P_m$) karakterisztikus értékét határoztuk meg, melynek során az $r_{k,inf}$ és az $r_{k,sup}$ értéket sorrendben 0,95 és 1,05 értékekre vettük fel.

2.5.1. Ideiglenes tervezési állapotok

A feszítőerő ráengedésének időpontját (t_0) a $150 \times 150 \times 150$ mm élhosszúságú próbatesteken mért betonszilárdság határozta meg. Az átlagos szilárdságnak legfeljebb 34,80 m gerendahosszig 50 N/mm^2 -t, 34,80 m és 39,80 m közötti gerendahosszak esetén 55 N/mm^2 -t, 39,80 m feletti gerendahosszak esetén pedig 67 N/mm^2 -t kell elérnie. A gerenda zsaluzatból való kiemelésének időpontját azonosnak tekintettük a feszítőerő ráengedésének időpontjával ($t_{01} = t_0$). A gerendák korának feltételezett értékét a gyártelepről történő kiszállításkor 7 napra vettük fel, továbbá a helyszíni beépítés t_1 időpontjában feltételeztük, hogy a gerenda betonja a végszilárdságát már elérte. A gerenda mozgatása és szállítása közben fellépő dinamikus hatásokra való tekintettel egy maximális, 1,5 értékű és egy minimális, 1,0 értékű dinamikus tényezőt alkalmaztunk a gerenda önsúlyára.

Az ideiglenes tervezési állapotok igazolása során beton-nyomófeszültség ellenőrzést végeztünk a részben tapadásmentesített szakaszon az alsó övben, valamint a középső keresztmetszetben, továbbá feszítőacél-húzófeszültség ellenőrzést végeztünk a részben tapadásmentesített szakaszon a felső övben. Az 5. ábra a legnagyobb beton-nyomófeszültségeket mutatja az első lehorgonyzási keresztmetszet (az első keresztmetszet a gerenda véglapjától mérve, ahol már a teljes feszítőerő aktív) alsó szélső szálában a 44,80 m hosszúságú gerenda Eurocode szerinti tervezése esetén. Az megadott értékek a feszítőerő ráengedésének időpontjához (t_1), a gerenda zsaluzatból való kiemelésének időpontjához (t_{01}), a helyszíni beépítés időpontjához (t_1 ; a gerenda végleges helyzetbe helyezése előtt (a) és után (b), rögtön a helyszíni lemez betonozását követően (c)) és a gerenda végleges beépítési helyzetéhez (t_∞ ; az összes feszültségvesztés és az időtől függő folyamatok lejátszódását követően) tartoznak. Az 5. ábra világosan megmutatja, hogy a legnagyobb beton-nyomófeszültségek a gyártás korai fázisaiban lépnek fel, és hogy ezek a feszültségek fokozatosan és jelentős mértékben



5. ábra: Legnagyobb beton-nyomófeszültségek az alsó szélső szálban különböző időpontokban

csökkennek, amikor a gerenda a végleges beépítési helyzetébe kerül és az üzemszerű működése elkezdődik.

A vonatkozó ideiglenes tervezési állapotokban megtörtént még a gerenda mozgatás során létrejövő kifordulással, a tartóvegek feszítőerő hatására történő felhasadásával, valamint az emelőkampók és azok környezete a túlzott repedezettséggel szembeni megfelelő ellenállásának az igazolása.

A leghosszabb gerenda kifordulással szembeni ellenállásának az igazolása a felső öv $L/300$ mértékű, oldalirányú geometriai méreteltérésének a figyelembevételével készült, ahol L a gerendahosszat jelenti.

A leghosszabb gerenda súlya 56,5 t, melynek mozgatása mind a gyár területén, mind azon kívül autódarukkal megoldható. Általános esetben a gerendák emelése egyidejűleg a két végen, függőleges emelőkötelek alkalmazásával, független daruk közreműködésével történik, ennek ellenére a gerendák méretezve lettek az egy pontból, a vízszintes síkkal minimum 60° -os szöget bezáró ferdeségű kötelek felhasználásával történő emelésre is. A 34,80 m-nél hosszabb gerendák esetén gerendavégeként két emelőkampó (gerendánként négy darab) kerül alkalmazásra. Ezekben az esetekben egy teherelosztó gerenda osztja szét az emelési terhet az egy végen lévő két emelőkampó között. A legfeljebb 34,80 m hosszúságú gerendák esetén gerendavégeként egy emelőkampó (gerendánként két darab) kerül felhasználásra.

2.5.2. Tartós tervezési állapotok

Tartós tervezési állapotban a végleges felszerkezet részének tekintett hídgerenda erőtani megfelelőségének igazolására került sor a vonatkozó teherbírási és használhatósági határállapotokban. Teherbírási határállapotban a gerenda hajlítási és nyírási teherbírását, az előregyártott hídgerenda és a helyszíni lemez közötti együtdolgoztató kapcsolat teherbírását és az együtdolgozó szerkezet ridegtöréssel szembeni megfelelő ellenállását igazoltuk. Használhatósági határállapotban az Eurocode szerint a következő feltételek kielégülését vizsgáltuk:

- beton-nyomófeszültségek korlátozása ($\sigma_c \leq 0,45 f_{ck}$) a kvázi-állandó igénybevétel-szinten a lineáris kúszásmodell alkalmazhatóságának igazolásához,
- a normál-feszültség korlátozása a betonban ($\sigma_c \leq 0,6 f_{ck}$) és a feszítőacélban ($\sigma_p \leq 0,75 f_{pk}$) a karakterisztikus igénybevétel-szinten, a betonban fellépő túlzott mértékű hosszirányú repedezettség és a feszítőacélban fellépő képlékeny alakváltozások megelőzése érdekében,
- repedéskorlátozás a gyakori igénybevétel-szinten a dekompressziós állapot igazolásával,
- lehajlás-korlátozás a szerkezet kedvezőtlen megjelenésének

megelőzése és a használok komfortérzetének a biztosítása érdekében.

A nyírási teherbírás vizsgálata az Eurocode szerint a változó dőlésű rácsrúd módszerének az alkalmazásával történt. A nyomott zónáknak a tartó hossz tengelyével bezárt szögét $35,5^\circ$ -ra ($\cot\theta=1,4$) vettük fel a V_{Ed}/V_{Rd} és a $V_{Ed,max}/V_{Rd,max}$ arányok azonossági feltétele érdekében, amely erőtanilag a nyírási vasalás és a nyomott zónák tönkremenetelével szembeni ellenállásokban azonos teherbírási tartalék képzését jelenti.

A feszítés szükséges mennyiségének meghatározása mindegyik gerenda esetében a fenti dekompressziós feltétel alapján történt.

A lehajlások ellenőrzése során a szerkezet megjelenésével kapcsolatos, kvázi-állandó igénybevétel szinten meghatározott legnagyobb lehajlás értékét $L/500$ -ban, az utasok komfortérzetével kapcsolatos, forgalmi terhek hatására kialakuló lehajlás értékét $L/400$ -ban korlátoztuk, ahol L a támaszközt jelenti. A 44,80 m hosszúságú gerendákból kialakított kéttámaszú nyílások esetén az elsőként említett (megjelenéssel kapcsolatos) lehajlás-korlátozás mértékadónak bizonyult.

Az azonos pászmaképpel készülő gerendacsoportok (lásd a 2.4. pontot) leghosszabb elemeinek erőtanilag megfelelőségét mind kéttámaszú, mind folytatólagos többtámaszú kialakításban igazoltuk. A folytatólagos többtámaszú kialakítás esetén a közbelső támasz(ok) felett a helyszíni lemezben szükséges hosszvasalást a gerendavégek közötti monolit szakaszon határoztuk meg. A közbelső támaszra felfekvő gerendavégekben a többtámaszúsítás miatt fellépő többlet-nyomófeszültséget szintén ellenőriztük. A tervezés és a gyártás esetleges egyszerűsítési lehetőségére számítva, az azonos támaszközi kéttámaszú és folytatólagos többtámaszú szerkezet részeként működő gerendák erőtanilag megfelelőségét azonos feszítőtöbét-mennyiség figyelembevételével igazoltuk annak ellenére, hogy az említett dekompressziós feltétel miatt a többtámaszú gerenda esetén szükséges feszítőtöbét-mennyiség kisebb, mint az azonos támaszközi kéttámaszú gerendában. Ez az erőtanilag tartóképes a többtámaszú kialakításban alkalmazott gerendák egyedi tervezése során kihasználható.

3. GYÁRTÁS

A Ferrobeton Zrt. – mely 2008.04.01.-től a CRH cégcsoport tagja - 1994 óta a legnagyobb volumenű hídgerenda beszállítóként vesz részt a magyarországi autópályák (M1, M15, M0/II/A, M5, M3, M7, M6, M60) hídépítési munkáiban. A gyártó cég és tervező partnerei közötti hatékony együttműködésnek köszönhetően az említett időszakban több hídgerenda-család (2,0-34,0 m támaszköztartományban) került kifejlesztésre és hatósági engedélyeztetésre. E különböző típusú hídgerendák (FP, FCI, FPT, ITG), melyek gyártóbázisa a Ferrobeton Zrt. dunaújvárosi gyára, több mint 600 hídfelszerkezethél (többségében autópálya hidaknál) kerültek alkalmazásra.

3.1. A gyárral és a gyártási kapacitással kapcsolatos adatok

A dunaújvárosi gyár lényegében minden szempontból kiváló adottságokkal rendelkezik jelentős mennyiségű hídépítési projekt lebonyolításához, melynek következtében alkalmas a gyártási feladatokon túl a szükséges szállítási és szervezési munkafolyamatok teljes körű elvégzésére is.

A gyár 25 hektáros területen helyezkedik el, nagyméretű, daruzható tárolóterületekkel. A gyártási munkafolyamatok kizárólag gyártócsarnokokban zajlanak.



6. ábra: Az FI-150 gerenda betonacél váza végén lévő két emelőkampóval



7. ábra: Az FI-150 gerenda kiszállítása a gyártócsarnokból

Az egyedi acélbetétekből és hegesztett hálóból kialakított betonacél-váz előkészítését, így az acélbetétek meghajlítását és a hegesztett hálók hegesztéseit speciális célgépek végzik. A gerendákba kerülő, részben hegesztett hálóból kialakított betonacél-váz (6. ábra) teljes mértékben a gyárban, a gyár saját kapacitásának a felhasználásával készül.

2004-ig összesen 8, egyenként 100 m hosszúságú gyártópad volt alkalmas legfeljebb 34,80 m hosszúságú, nagytejesítményű hídgerenda gyártására. A 2004-től kezdődően jelentkező többletkapacitás-igényre (lásd az 1.1. pontot) és az ennek következtében elhatározott új, legfeljebb 44,80 m hosszúságú FI hídgerenda-család gyártásának szándékára tekintettel, a cég egy új, ~3000 m² területű gyártócsarnok felépítésével bővítette gyártói kapacitását. Ez az új gyártócsarnok, mely beszállító pályán keresztül közvetlen kiszolgálást kap a betongyártól, hat 100 m hosszúságú és két 110 m hosszúságú gyártópadddal rendelkezik. Az új gyártópadokhoz tartozó feszítőbakok 10000 kN mértékű feszítőerő lehorgonyzására alkalmasak. Az új gyártócsarnokba két, rádió-távvezérlésű, egyenként 300 kN teherbírású hídaru is felszerelésre került, melyek segítségével a gyár 2004-től kezdődően legfeljebb 600 kN önsúlyú hídgerendák gyártására vált alkalmassá (7. ábra).

A gyár területén lévő összes gyártócsarnok alkalmas a fiatal korú beton szilárdulásának gyorsítása érdekében alkalmazott hőérlelésre. A folyamat során a gerendát körülvevő levegő fólia alatti temperálására kerül sor, melyhez kiépített gőzfejlesztő és -szállító rendszer áll rendelkezésre.

3.2. Betongyár

A gyár területén lévő számítógép-vezérelt betongyár technológiai szempontból egymás mellé telepített, de

egymástól független két betonüzemből áll. Mindkét betonüzem 1-1 darab 2 m³ kapacitású működő és 1-1 darab 1,1 m³ kapacitású tartalék keverővel működik, teljes mértékben téliesített kivitelben. Az adalékanyag tárolását 18 betonbunker biztosítja, melyek összesen kb. 2000 t zárt adalékanyag-tárolói kapacitást jelentenek.

Az FI-150 gerendák gyártása során technológiai szempontból tökéletesen megoldható volt a szokásos homok és folyami kavics adalékanyag mellett a speciális bazaltzúzalék adalékanyag kezelése.

4. ALKALMAZÁS

Az első, FI-150 hidgerendák felhasználásával készült, előregyártott autópálya hid-felszerkezet az M7 autópálya Balatoneresztúr-Nagykanizsa szakaszán készült el 2007 decemberében. A Ferrobeton Zrt. e projektben a Lavinamix Kft. alvállalkozójaként vett részt. Ezen autópálya-szakasz generálkivitelezője a Porr Építési Kft. volt. A hidgerendákkal kapcsolatos helyszíni szállítási és daruzási munkákat a Ferrobeton Zrt. megbízásából a Tamás és Zsolt Kft. végezte.

Ez a kéttámaszú autópálya hid két, egymástól szerkezetiileg független felszerkezetet tartalmaz, melyeket geometriai okokból független alépítmények támasztanak alá (8. ábra). Mindkét felszerkezet 12 darab, 42,80 m hosszúságú FI-150 hidgerendát tartalmaz.

A Z15 j. hídhoz (tervező: Pontterv Zrt; mérnök: Metrober Kft.-Óbudaújlak Zrt. Konzorcium) legyártott 42,80 m hosszúságú FI-150 gerendák esetén a feszítőerő ráengedés időpontjában előírt 67 N/mm² beton-nyomószilárdságot (ld. a 2.5.1. pontot) a betonozást követő körülbelül 36-40 óra múlva sikerült elérni.

A legyártott hidgerendákkal kapcsolatos összes előírt műszaki paraméter, azaz a betonszilárdság, a felületi jellemzők, a kiszaluzást követően a függőleges síkban

kialakuló felhajlás és a vízszintes síkú élgörbesség (kardosság) mért értékei megfeleltek a vonatkozó építőipari műszaki engedély szerinti követelményeknek. E gerendák esetén a gyártó az előírt minőségi követelményeket a gyár saját minőségellenőrző részlege által végzett vizsgálatok, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszéke mint független minőségellenőrző vizsgálatai és a Magyarországon hídépítési témakörben építőipari műszaki engedélyeket kiadó hatóság minőségellenőrző szervezete, a Magyar Közút Kht. Győri Minőségvizsgáló Laboratóriuma által végzett szűrőpróbaszerű vizsgálatokra alapozva tanúsította.

A zsaluzat eltávolítása után a gerendákat nagyteljesítményű trélerekkel szállították ki a gyártócsarnokból (7. ábra), majd helyezték el a gyár területén lévő tárolótéren. A gerendák gyár területén történő mozgatása, valamint a gyár saját iparvágányára beálló vasúti vagonokra történő felrakása során nagy teljesítményű autódarukat használtak. A vasúti szállítás speciális forgózsámolyokkal felszerelt vasúti vagonokkal történt a szokásos vasúti forgalom bármilyen korlátozása nélkül.

Az építési helyszín közelében lévő vasúti célállomáson a gerendák fogadása és kirakodása, a vasúti célállomás és az építési helyszín közötti közúti szállítás, valamint az építés helyszínén történő beemelés szintén nagy teljesítményű trélerek felhasználásával történt. Az építési munkaterületen megfelelő függőleges és vízszintes vonalvezetésű (függőleges lekerekítések és vízszintes görbületi sugarak) ideiglenes út készült. A gerendák végleges helyzetbe történő beemelése egy 140 t és egy 400 t emelési teherbírású autódaru egyidejű alkalmazásával történt.

A szokásoshoz képest hosszabb és nehezebb FI-150 hidgerendák szállítása és mozgatása során esetlegesen fellépő váratlan nehézségek megelőzése érdekében a Ferrobeton Zrt. előzetesen kidolgozott, részletes organizációs terv készítését tartja szükségesnek, kiemelt tekintettel az építési helyszínen történő szállításra, a vasúti célállomás geometriai méreteire, továbbá a vasúti célállomás és az építési helyszín közötti közúti útvonal geometriai méreteire és terhelhetőségére. Ezért még a hid tervezésének korai fázisában a Ferrobeton Zrt kifejezetten ajánlja egy előzetes építéshelyszíni bejárás lebonyolítását azon hidak esetén, melyeknél 32,80 m-nél hosszabb hidgerendák alkalmazására van szükség. A cég felajánlja ezen előzetes helyszíni bejárás lebonyolítását, melynek során – a tervezett hidgerenda adatainak figyelembevételével – körültekintően megvizsgálja a beépíteni tervezett gerendák szállíthatóságának és mozgathatóságának a lehetőségét és a feltételeit.

5. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A Ferrobeton Zrt., együttműködve az Uvater Zrt.-vel (mint tervezővel) és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszékével (mint független szakértővel), 2006-ban egy teljesen új, előfeszített hidgerenda-családot dobott a piacra, mely alkalmas a megelőző időszakban a magyarországi autópálya hidak tervezése során felmerült funkcionális igények kielégítésére. Ez az FI hidgerenda-család C60/75 szilárdsági jelű betonból készül 1,50 m tartómagassággal. A család leghosszabb eleme 44,80 m hosszú, tömege 56,5 t és 44,20 m támaszok között kéttámaszú vagy folytatatólagos többtámaszú nyílások áthidalására alkalmas. A gerendák szállítása vasúton mindenfajta forgalmi korlátozás nélkül megoldható, közúton nagyteljesítményű trélerek alkalmazásával a forgalom rövid idejű, ideiglenes korlátozásával bonyolítható le. A hidgerenda-család a



8. ábra: A Z15 j. híd felszerkezete építés közben



9. ábra: A hídő és a gerendák véglapjai

párhuzamos tervezésből adódóan teljes körűen kielégíti mind a hazai útiügyi műszaki előírások, mind az Eurocode vonatkozó erőtan követelményeit, ezért a termék építőipari műszaki engedélye mindkét előírás szerinti alkalmazást lehetővé teszi. Az első, 42,80 m hosszúságú FI-150 hídgerendák felhasználásával készülő előregyártott autópálya híd-felszerkezet (Z15 j. híd) 2007 decemberében készült el az M7 autópálya Balatonkeresztúr-Nagykanizsa szakaszán.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az 1.5. pontban említett kísérleti programot anyagilag az Állami Közúti Műszaki és Információs Kht. (ÁKMI) finanszírozta, ami jelentős mértékben hozzájárult a termék kifejlesztésének sikeréhez. Az szerzők köszönetüket fejezik ki e támogatásért.

Bedics Antal (1959) okl. híd- és szerkezetépítő mérnök. 1983 és 1998 között statikus tervező. 1998-tól a mai napig az Uvaterv Zrt. hídiroda-vezető helyettese és a Zrt. igazgatósági tagja. Az Uvaterv Zrt-nél 1988 óta foglalkozik az előfeszített, előregyártott hídgerendák és az abból készülő hidak tervezésével. A Magyar Mérnöki Kamara, Tartószerkezeti Tagozat, Hidász Szakosztály elnökségének a tagja.

Dubrószy Gábor (1958) építőmérnök, 1982 és 1986 között statikus tervező. 1987-től vasbeton előre gyártó vállalatoknál vezető beosztásban dolgozik.

1994-től a Ferrobeton Zrt. egyik igazgatója, jelenleg vezérigazgató-helyettes. 1994-től irányítja a Ferrobeton Zrt. hídgerenda-fejlesztési, vállalkozási tevékenységét.

Kovács Tamás (1974), okl. építőmérnök, egyetemi adjunktus. 1997-ben szerzett építőmérnöki diplomát a BME Építőmérnöki Karán. Fő érdeklődési területe: vasbeton szerkezetek károsodásbecslése a dinamikai jellemzők alapján, vasbeton hidak megerősítése, nagyszilárdságú-nagy teljesítőképességű betonok, szabványosítás. A **fib** Magyar Tagozat titkára, a Magyar Útiügyi Társaság tagja.

DEVELOPMENT OF THE FI-150 PRECAST CONCRETE BRIDGE GIRDER FAMILY - DESIGN, PRODUCTION AND APPLICATION

Antal Bedics - Gábor Dubrószy - Tamás Kovács

In 2006 the Ferrobeton Co. collaborating with the Uvaterv Co. (designer) and the Budapest University of Technology and Economics (supervisor) put a completely new prestressed bridge girder family on the market that was able to fulfil the functional demands arisen in motorway bridge design in the near past in Hungary. This FI beam family is made of C60/75 grade concrete and has a total depth of 1,50 m. The longest element is 44,80 m long, which has a total mass of 56,5 t and is able to bridge max. 44,20 m simply supported or continuous span as part of a highway bridge. The transportability is possible by railway without restrictions and by high capacity trailers with temporary traffic disturbance. The design requirements have been verified on the basis of both the Hungarian Standard and the Eurocode. The first precast motorway bridge superstructure made of 42,80 m long FI beams has been built on the M7 motorway (Balatonkeresztúr-Nagykanizsa section) in December 2007.

fib BULLETIN 40: **FRP REINFORCEMENT IN RC STRUCTURES**

The latest **fib** Bulletin, number 40, "FRP reinforcement in RC structures", is now available for purchase from the fib secretariat.

The bulletin deals mainly with the use of FRP bars as internal reinforcement for concrete structures. The background of the main physical and mechanical properties of FRP reinforcing bars is presented, with special emphasis on durability aspects. For each of the typical ultimate and serviceability limit states, the basic mechanical model is given, followed by different design models according to existing codes or design guidelines.

Composite FRP materials are still relatively new in construction and most engineers are unfamiliar with their properties and characteristics. The second chapter of this bulletin therefore aims to provide practising engineers with the necessary background knowledge in this field, and also presents typical products currently available in the international market.

The third chapter deals with the issue of durability and identifies the parameters that can lead to deterioration, which is necessary information when addressing design issues. A series of parameters is used to identify the allowable stress in the FRP after exposure for a specified period of time in a specific environment.

The bulletin covers the issues of Ultimate Limit States (primarily dealing with flexural design), Serviceability Limit States (dealing with deflections and cracking), Shear and Punching Shear and Bond and Tension Stiffening. It provides not only the state-of-the-art but also in many cases ideas for the next generation of design guidelines.

The final chapter deals with the fundamental issue of design philosophy. The use of these new materials as concrete reinforcement has forced researchers to re-think many of the

fundamental principles used until now in RC design. The bulletin ends with a discussion of a possible new framework for developing partial safety factors to ensure specific safety levels that will be flexible enough to cope with new materials.

Pages: 160

Price: CHF 120 (non-member price), including surface mail
ISBN 978-2-88394-080-2

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.



4. A VÖLGYHÍD FESZÍTÉSE



Mihalek Tamás

A hidak felszerkezetének fő feladata – az esztétikai gyönyörködtetésen túlmenően – valamely akadály áthidalása. Ez a feladat a pillérek közötti távolság növekedése esetén egyre több segítséget igényel. Vagy felülről, függesztő szerkezetek (kábelek) szükségessé, vagy pedig alulról támasztják alá (például ívtartóval) a felszerkezetet, hogy képes legyen elviselni az egyre növekvő önsúly mellett a közlekedés terheit is. Ha egyik megoldást sem alkalmazzuk, akkor egy jelentős nyílásméretű völgyhíd esetén, a szerkezeten belül kell teherhordó, ill. feszültségmódosító elemeket használni. A hasznos terhek viselése előtt a felszerkezetet feszítő elemek beépítésével olyan sajátfeszültség állapotba hozzuk, hogy a további terhek és hatások fellépése után is megfelelő legyen a híd teherbírása. Ebben az ismertetésben összefoglaljuk a Köröshegyi völgyhídnál alkalmazott feszítési rendszereket, ezek feladatait és bemutatjuk az egyes jellegzetes feszítési anyagokat, beépítési módjaikat és a feszítés eszközeit is.

Kulcsszavak: szabad betonozás, szabad szerelés, feszítőrúd, szabadon vezetett kábel, záró kábel, lehorgonyzó fej, kezdeti feszítőerő

1. FESZÍTÉSI RENDSZEREK

A völgyhíd felszerkezetének teherbírását alapvetően a betonban nyomófeszültség létrehozásával, vagyis feszítéssel hoztuk létre. A feszített vasbeton hídszerkezetekben szükséges és általánosan alkalmazott kábeltípusokon túl a Köröshegyi völgyhídnál speciális feladatokat is ellátó feszítőelemeket is beépítettünk.

Funkciójuk szerint az alábbi feszítési rendszereket alkalmaztuk:

- az indítózömök lekötése a pillérfejekhez
- szerelési kábelek az épülő mérleg-ágakon
- az épülő félhídreszek kikötése a hídfőkhöz
- alsó és felső zárókábelek a hídnylások közepén
- szabadon vezetett kábelek a hídszekrény belsejében

2. A FESZÍTŐ ELEMÉK TÍPUSAI

A felsorolt feladatokhoz különböző anyagú, rögzítésű, eltérő védelmű feszítőelemeket használtunk.

2.1. Feszítő rudak

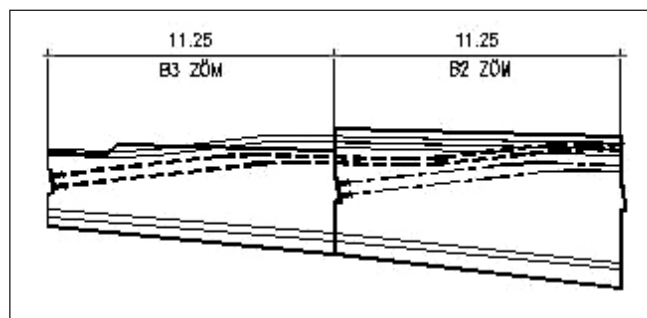
Az indítózömöket a pillérfejekre – a beépített sarukra betonozva – állványon, zsaluzatban a helyszínen betonozták. A kizsaluzás után az indítózöm alá kétoldalt elhelyezett oldható acéldúcokra támasztva és feszítő rudakkal lefeszítve biztosítottuk az épülő mérlegág stabilitását az első zöm párra elhelyezettig. Húzó-nyomó kapcsolatot alakítottunk ki a lebillenés elkerülése céljából. A lefeszítést Ø36 mm Dywidag feszítőrudakkal oldottuk meg.

2.2. Injektált „csupasz” kábelek

A felszerkezet építés közbeni teherbírását a betonszerkezetbe a gyártás során elhelyezett burkolócsövekbe fűzött kábelek megfeszítésével oldottuk meg. Ezeket, a kábeleket pászmák-ból állítottuk össze, melyeket egyenként fűztünk be burkoló-

csőbe. Egy pászmát egy középső vezérhuzal köré csavarvonalban rendezett további hat darab elemi huzal alkot. A hét huzal – így a belőlük alkotott egység: a pászma – felülete 150 mm², névleges átmérője 0,6” (157 mm) (1. ábra).

A kábelek megfeszítése után a burkolócsőben a fennmaradó üreget cementhabarcs injektálásával töltöttük ki. Ennek megszilárdulása után a nyíróerő átadás a pászmák felületén létrejött tapadás útján a teljes kábelhossz mentén történik.



1. ábra: Injektált kábelek a bordában

2.3. Szabadon vezetett kábelek

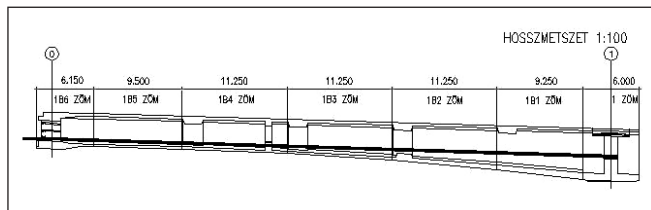
Az elkészült felszerkezet teherbírásának második részét a szekrény belső üregében, a levegőben, szabadon vezetett kábelekkel biztosítottuk. Az egyenes vonalon haladó kábelekkel egyenletes nyomófeszültség hozható létre, ha a kábeleket a híd hossza mentén külpontosan tudjuk vezetni, akkor – a külső terhekből keletkező nyomatékok burkolóábrájának megfelelően – ezekkel ellentétes előjelű hajlító nyomatékok is keletkeznek. Vagyis a támaszhelyeken a keresztmetszet súlypontja felett, a nyílás közepén pedig az alsó szál közelében haladjanak a kábelek.

A vonalvezetés ilyen kialakításához bizonyos helyeken (általában a nyílások harmadában ill. negyedében) egy-egy irányváltoztatási helyet kell képezni (a támaszok felett a támasz-keresztartó maga az irányváltoztatási hely). A szabadon vezetett kábelek pászmái műanyag burkolattal vannak ellátva; a pászmákat grafitos-zsírozás veszi körül ebben a mű-

anyag „védőcsőben”. Ezek az egyszer védett pászmák közös védőcsőbe kerülnek (második védelem). Ez Ø125-6 méretű műanyag cső, mely az irányváltozási helyeken is átvezetve halad a két lehorgonyzó fej között. A pászmák befűzése után a külső, közös műanyag védőcső belsejét cementhabarccsal kiinjektálják. Ennek megszilárdulása után az irányváltozási helyeken egyenletesebb erőátadás, erőelosztás alakul ki a pászmák megfeszítésekor. A fenti szabad kábel kialakítás a Freyssinet feszítési és lehorgonyzási rendszer része.

2.4. Ideiglenes „csupasz” kábelek

Az épülő hídrészek rögzítésére ideiglenes kikötéseket készítettünk, melyekkel a felszerkezetet feszítőkábelekkel hozzákötöttük a hídfőkhöz. Ezek az ideiglenes kábelek a hídfő homlokfalazatától az első támaszhelyek (pillérek) felett lévő indítózöm támasz-keresztartójáig vezettek, és ott lettek lehorgonyozva. A hídrészenként 2-2 db 19 pászmás kábelt a szekrény belsejében, korcolt burkolócsövekben helyeztük el, de ezeket nem injektáltuk ki a bonthatóság elősegítésének érdekében. E kábeleket a két hídfél középső összezárása előtt elbontottuk (2. ábra).



2. ábra: Ideiglenes kikötő kábel

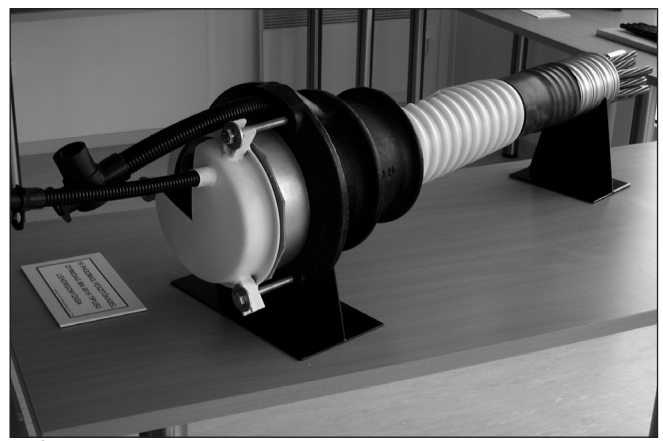
3. A LEHORGONYZÓ ELEMÉK TÍPUSAI

3.1. Feszítő rudak lehorgonyzása

A Ø36 Dywidag feszítőrudakat a betonszerkezeteken keresztül Ø54 mm védőcsövekben vezettük át. A rudak lehorgonyzásához az indítózömök alsó lemezébe és a pillérfej szerkezeti lemezébe 180x180x45 mm méretű acéllemezeket betonoztunk be. A menetes feszítőrudak feszítés utáni rögzítése gömbsüveg felfekvési felülettel rendelkező, hatlapú lehorgonyzó anyá segítségével történt.

3.2. A betonban vezetett, injektált és az ideiglenes kikötés kábeleinek lehorgonyzása

A szerelési és az ideiglenes rögzítés kábeleinek lehorgonyzásához a Dywidag cég MA (Multiplane Anchorage System) „több felületű erőátadás” lehorgonyzási rendszerét alkalmaztuk. Ennél a rendszernél a megfeszített kábel rögzítése a kábelvégeken (pászma végeken) lehorgonyzó fejben, ékeléssel történik. Ez a lehorgonyzófej rátámaszkodik a lehorgonyzó testre, melyet a szerkezetbe helyeztünk el betonozás előtt. A lehorgonyzó testre támaszkodó fejről a kábel ereje a bebetonozott acélöntvény-testre jut, melynek „háromgalléros” kialakítása lehetővé teszi, hogy az erő három felületen, mélységben több szintre szétosztva adódjon át a betonra. A völgyhíd felszerkezetének építésénél a 19 db 0,6” pászmás kábelhez MA6819, a 15 db 0,6” pászmás kábelhez pedig MA6815 típusú lehorgonyzó elemeket alkalmaztunk (3. ábra).



3. ábra: Dywidag MA6819 lehorgonyzó rendszer

3.3. Szabadon vezetett kábelek lehorgonyzó elemei

A szabadon vezetett kábeleket 19 db 0,6” pászmából alakítottuk ki. A kábelek lehorgonyzása a Freyssinet A'D 19C15 lehorgonyzási rendszerrel történt, mely szintén egy ékes lehorgonyzó fejből és egy „háromgalléros” erőátadású, bebetonozott acél-öntvény lehorgonyzó testből áll.

4. AZ ALKALMAZOTT PÁSZMÁK TÍPUSAI

4.1. A betonban vezetett kábelek pászmái

- szerelési kábelek
- alsó és felső zárókábelek

Ezek a kábelek Fp 150/1770 minőségű normál, „csupasz” pászmákból állnak.

4.2. A szabadon vezetett kábelek pászmái

A kábelek Fp 150/1860 minőségű, egyszeres műanyag burkolattal (védelemmel – zsírozott belső kenéssel) ellátott pászmákból állnak.

4.3. Az alkalmazott kezdeti feszítőerők

A felsorolt feszítő elemekben az alábbi kezdeti feszítőerőket alkalmaztuk:

1. táblázat Alkalmazott kezdeti feszítőerők

Feszítőrúd	Rúdszám	Feszítőerő (kN)
Dywidag Ø36 mm	1	600

Kábelek típusa	Pászmaszám	Feszítőerő (kN)
Kikötő kábel	19	2900
Szerelő kábel – borda	19	3530
Szerelő kábel – pályalemez	19	3280
Szerelő kábel – konzollemmez	15	2590
Záró kábel – alsó	19	3530
Záró kábel – felső	19	3280
Szabadon vezetett kábel	19	3710

4.4. A szerelési kábelek

A völgyhíd felszerkezetének építése pillérenként, a pillérfejen elkészített indító (bázis) zömtől kiindulva, kétirányban, mérlegszerűen haladt. A szakaszokban épített szerkezeten az egyre növekvő hosszúságú konzolokon egyre nagyobb negatív nyomatékok keletkeznek. Ezek felvételére a szerkezet felső övének közelében helyeztük el a kábeleket. Az elhelyezkedésük és a lehorgonyzások szerint három csoportba oszthatók a kábelek:

- konzol kábelek
- lemez kábelek
- borda kábelek

4.4.1. A konzolban vezetett kábelek

A konzol kábeleket a külső bordák mellett helyeztük el. A kábelek 15 pászmából állnak, két sorban elhelyezve. Vonalvezetésük egyenes, a lehorgonyzások előtt kismértékű elhúzást alkalmaztunk, mivel a lehorgonyzó fejek minden zömvégen azonos kiosztásban vannak. A jobb és baloldali konzol-lemezekben zömként 3-3 (az utolsó, ötödik zömben csak 2-2) kábelt horgonyoztunk le (4. ábra).

4.4.2. A pályalemezben vezetett kábelek

A kábeleket általában egymástól 23 cm távolságra és egy sorban osztottuk ki, ahol a szerkezet vastagsága ezt lehetővé tette (pl. a kétoldali konzollemezben, ill. a pályalemeznek bordák melletti felvastagított szakaszán, a kiékelésben) ott egymás alatt két sorban helyeztük el azokat.

A lemezkábelek 19 pászmából állnak, a zömtengellyel és egymással is párhuzamosan haladtak. A lehorgonyzó fejeket a zömvég vastagított végében, ún. lehorgonyzó bordában helyeztük el, helyzetük állandó volt. A lehorgonyzandó kábelt a fejnek megfelelő irányba elhúztuk, hogy a merőleges beérkezést biztosítsuk. Zömként 5+5 (az utolsó zömben csak 4+4) aktív kábelt horgonyoztunk le, ezen felül a 2-3-4 zömbben 2-2 tartalék kábel-helyet (lehorgonyzó fejeket és az azokat összekötő burkoló csövet) is biztosítottunk.

4.4.3. A bordákban vezetett kábelek

A helyszínen betonozott zömkö gyártása során már a szekrény alsó lemezéből és a három bordából álló szerkezet-rész (trog) teherbírását is biztosítani kellett. Ehhez a bordákban 2+2+2 darab 19 pászmás kábelt alkalmaztunk. A kábeleket az egyes bordák felső nyakrészében a pályalemez szintjén vezettük. Az aktuálisan lehorgonyzandó kábeleket a készülő borda-nyak alatti szinten kellett a zömbe beléptetni, ehhez a kábeleket megfelelő magasságra kellett lehozni, majd a készülő zömben a lehorgonyzó helyre továbbvezetni (5. és 6. ábra).

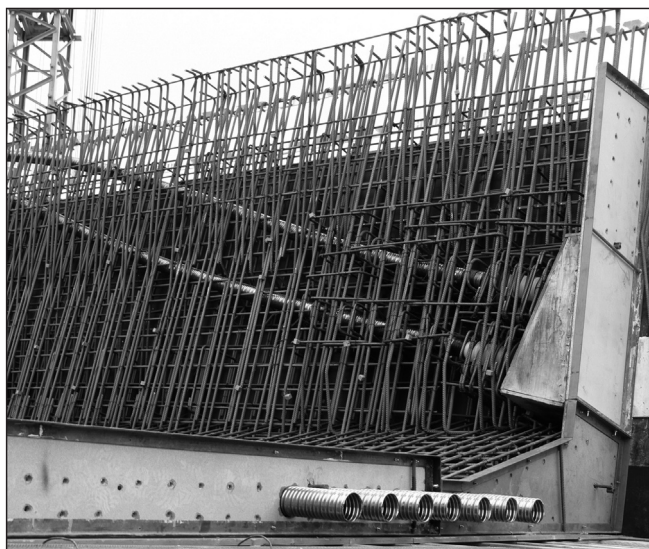
A kábeleket a borda belső oldalához közel vezettük, ezzel biztosítva a 3,5-6,5 m magas, ferde helyzetű bordák megbízható kibetonozását. A lehorgonyzáshoz a zömvégen 2 méter



4. ábra: Szerelési kábelek lehorgonyzásai lehorgonyzó gerendában és konzollemezben



5. ábra: Kábelek a középső bordában

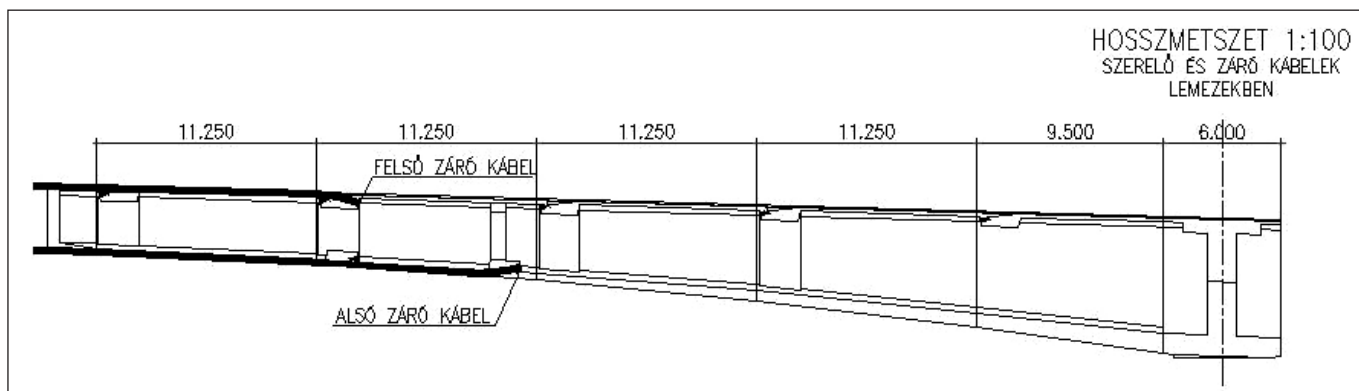


6. ábra: Kábelek a szélső bordában

hosszúságban vastagítottuk a bordát. A lehorgonyzó fejeket egymás alatt, kb. 15 fokos ferdeséggel helyeztük el, a fejek lehorgonyzási síkjai fűrészfogas alakzatot hoztak létre. Azért, hogy a zömhatárok egyöntetű függőleges fuga-képet mutassanak, a lehorgonyzásokat 12 cm vastag falrész mögé rejtettük el (2. táblázat).

2. táblázat: Alkalmazott kábelek egy hídágban

Zöm	Konzol kábel(15*0,6")		Trog kábel (19*0,6")		Lemez kábel (19*0,6")		
1	3+3	6	2+2+2	6	5+5	10	
2	3+3	6	2+2+2	6	5+5+2	10	2T
3	3+3	6	2+2+2	6	5+5+2	10	2T
4	3+3	6	2+2+2	6	5+5+2	10	2T
5	2+2	4	2+2+2	6	4+4	8	
Összes		28		30		48	6T
Teljes	106 +6 tartalék						



7. ábra: Alsó és felső záró kábelek

5. A ZÁRÓ KÁBELEK

A megépült híd-mérlegágat a már elkészült hídrészhez kellett kapcsolni. A csatlakozáshoz a hídrészek közötti rész (zárózöm) kibetonozása után ún. zárókábeleket alkalmaztunk (7. ábra). Ezek az alsó és felső lemezben találhatók (8. ábra), lehorgonyzásuk a szomszédos pillérekről épült hidágak 4 jelű zömeiben, a zöm elején és a végén lévő lehorgonyzó gerendákban vannak. A zömvégen kialakított felső lehorgonyzó gerendában 6+6 darab 19 pászmás felső zárókábel található, az alsó záró kábelek közül 6+6 darabot a zöm elején, a szabadkábelek irányváltoztató keresztfalának alján kialakított lehorgonyzó gerendában, míg 4+4 kábelt a zömvégen, alsó lehorgonyzó gerendában horgonyoztunk le (9. ábra).



8. ábra: Záró kábelek az alsó lemezben

6. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A köröshegyi völgyhíd felszerkezetének teherbírását feszítőelemek beépítésével és megfeszítésével biztosítottuk. Az elemek az építés közbeni feladatuk szerint csoportokba oszthatók. Vannak, melyek az épülő mérlegágakat stabilizálják,



9. ábra: Alsó záró kábelek lehorgonyzásai

s vannak olyanok, melyek a teherbírás kialakításához szükségesek. Külön csoportba sorolhatók azok a feszítőkábelek, melyek a két irányból épített, egyre hosszabb hídrészeket rögzítették a hídfőkhöz, illetve azok, melyek a mérlegágakat csatlakoztatták, összezárták az elkészült hídrészekhez.

A feszítéshez felhasznált kábelek lehorgonyzásainál olyan bordázott, több teherátadó felületet tartalmazó lehorgonyzó testeket alkalmaztunk, melyek a koncentrált erőátadást egyenletesebbé teszik. A lehorgonyzó elemek mögött és körül a megfelelő körítő vasalás biztosítja a betonban fellépő húzások felvételét. Ez a rendszer lehetővé teszi, hogy a szükséges számú lehorgonyzást a bordák közelében, kellő sűrűségben el lehessen helyezni.

A szekrény belsejében, szabadon vezetett kábeleket műanyag burkolócsőben vezetjük, a pászmák műanyag burkolattal vannak ellátva, így kerülnek ebbe a csőbe, melyet cementhabarccsal kiinjektálunk. A völgyhídnál minden kábel-típusnál átlátható, egyszerű geometriájú vonalvezetést alakítottunk ki, hogy az éjjel-nappal végzett építési munka során minden szerkezeti rész hibátlanul kerüljön a helyére.

7. HIVATKOZÁSOK

- DSI-Dywidag System International: Dywidag bonded Post Tensioning Systems – Multiplane Anchorage (MA) (1998)
- Mihalek, T. Wellner, P. (2007), „A köröshegyi völgyhíd építésének története – 2. Áttekintés a völgyhíd statikai rendszeréről és fő tervezési megfontolásairól”, VASBETONÉPÍTÉS 2007/4 pp.98-105.
- Wellner, P. Mihalek, T. (2000), „A magyar–szlovén vasútvonal völgyhídjai-3. A völgyhidak tervezése”, VASBETONÉPÍTÉS 2000/2, pp.53-61.
- Wellner, P., Mátyássy, L., Mihalek, T., Becze, J., Barta, J. (2007), „Viaduct of Köröshegy, the largest prestressed concrete viaduct in Hungary – design and construction”, CONCRETE STRUCTURES 2007, pp.7-18.

Mihalek Tamás (1950) okl. szerkezetépítő mérnök. Tervezési pályáját a Hidépítő Vállalatnál kezdte, monolit és előregyártott gerendás hidak tervezése mellett technológiai tervezésben is részt vett. 1988-ban részt vett a Magyarországon először Berettyóújfaluban szakaszos előretolós technológiával épített híd tervezésében. 1996 óta irányításával tervezi a Hidépítő Zrt. Műszaki Osztálya a cég által épített betölt hidakat. Vezető tervezője

volt Magyarország legnagyobb feszített vasbeton vasúti hídjának, az 1400 m hosszú nagyrákosi völgyhídnak és az M7 autópályán épült 1870 m hosszú kőröshegyi völgyhídnak is. Jelenleg a Hidépítő Zrt. tervezési főmérnöke. Fő érdeklődési területei: a feszített vasbeton hidak tervezése, a szerkezeti anyagok lehetőségeinek és az alkalmazott építés-technológia hatása a szerkezetek működésére, ezek figyelembevétele az erőtani számítások során. A *fib* Magyar Tagozatának tagja.

KŐRÖSHEGY VIADUCT ON M7 MOTORWAY IN HUNGARY

4. Prestressing systems at the viaduct

Tamás Mihalek

This article describes the prestressing systems applied at the Kőröshegy Viaduct. The following groups could be composed by the function of the prestressing elements:

- prestressing bars for the stabilization of the starting segments of the su-

perstructure when the construction of the balanced cantilevers started

- bare tendons for anchoring the constructed parts of the superstructure to the abutments

- internal tendons – led into corrugated sheaths concreted into the top and bottom slabs of the box girder. These tendons were grouted with cement mortar after prestressing. The tendons consisted of 19 or 15 pieces of strands with dia 0.6" and anchored with Dywidag type multiplane anchoring bodies, named MA6819 and MA6815.

- external tendons were led inside the box, through the deviator-walls and the diaphragm walls over the piers. The tendons consisted of 19 pieces of strands with dia 0.6" and anchored with Freyssinet type multiplane anchoring bodies, named A'D 19C15. The strands were threaded into HDPE tubes and the tubes were grouted with cement mortar before the prestressing.

These prestressing methods ensure the appropriate bearing capacity of the superstructure of the viaduct.

fib BULLETIN 41: TREATMENT OF IMPERFECTIONS IN PRECAST STRUCTURAL ELEMENTS

The latest *fib* Bulletin, number 41, „Treatment of imperfections in precast structural elements”, is now available for purchase from the *fib* secretariat.

The bulletin addresses the most common types of imperfections encountered during the manufacture, stacking, transport and erection of precast concrete structural elements, and suggests a number of possible remedial actions. The remedial actions depend on the severity of the imperfection, the feasibility of repair and the consequences on the intended use of the concrete member.

Imperfections in concrete structures are impossible to avoid and can range from minor surface blemishes to major structural defects. Because many imperfections are at the limits of specified quality deviations, or are not included in the acceptance criteria, the problem is more complex than a decision between rejection or acceptance.

This document deals with precast concrete elements that do not meet the quality as intended in the design. It compares imperfections in quality to the specified requirements so that the effect of the imperfection can be evaluated. Recommendations are provided on methods to prevent such imperfections, the effect they can have and any necessary actions for rectification.

The bulletin applies to prefabricated concrete members made of reinforced or prestressed normal weight concrete. Products include beams and columns, concrete walls, hollow core slabs, double tees, planks and beams for beam and block floors. Water retaining structures are outside the scope of this document.

Pages: 74

Price: CHF 80 (non-member price), including surface mail
ISBN 978-2-88394-081-9

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

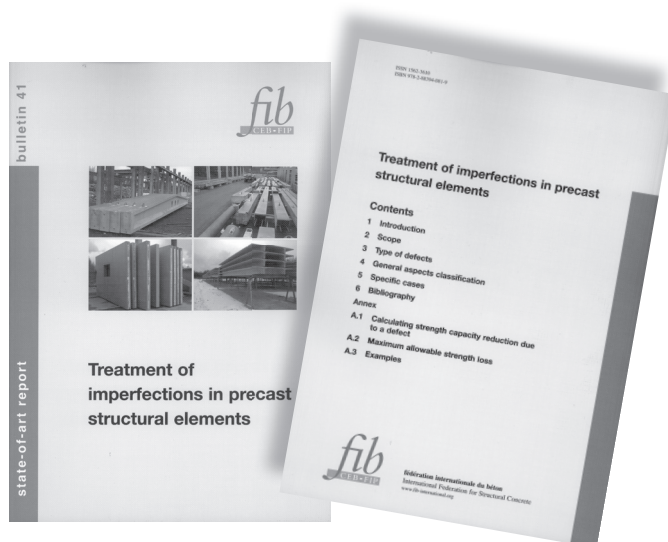
federation internationale du beton (*fib*)

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



A SCHMIDT-KALAPÁCS 50 ÉVE: MÚLT, JELEN, JÖVŐ

2. RÉSZ: AZ EURÓPAI SZABVÁNYOSÍTÁS ÉS ANNAK HAZAI JELENTŐSÉGE



Szilágyi Katalin – Dr. Borosnyói Adorján

A beton nyomószilárdságának becslése a Schmidt-kalapácsos visszapatantási értékek önmagukban történő értékelésével jelentős bizonytalanságot hordoz magában. A mérési eredmények értékelésére vonatkozó MSZ EN 13791:2007 szabvány ezért mindig kifűrt magminták egyidejű vizsgálatát is előírja. A hazánkban jelenleg szintén hatályos ÚT 2-2.204:1999 Útügyi Műszaki Előírás azonban olyan értékelési módszert javasol, amely lényegében eltér az európai szabvány alap gondolatától azon túl, hogy javasolt módszerének használata még visszaélésekre is lehetőséget nyújt. A módszer továbbfejlesztése indokolt, célszerűen olyan irányba, hogy az európai szabvány alap gondolatával is összhangba kerüljön.

Kulcsszavak: Schmidt-kalapács, európai szabványosítás, szilárdságbecslés megbízhatósága

1. BEVEZETÉS

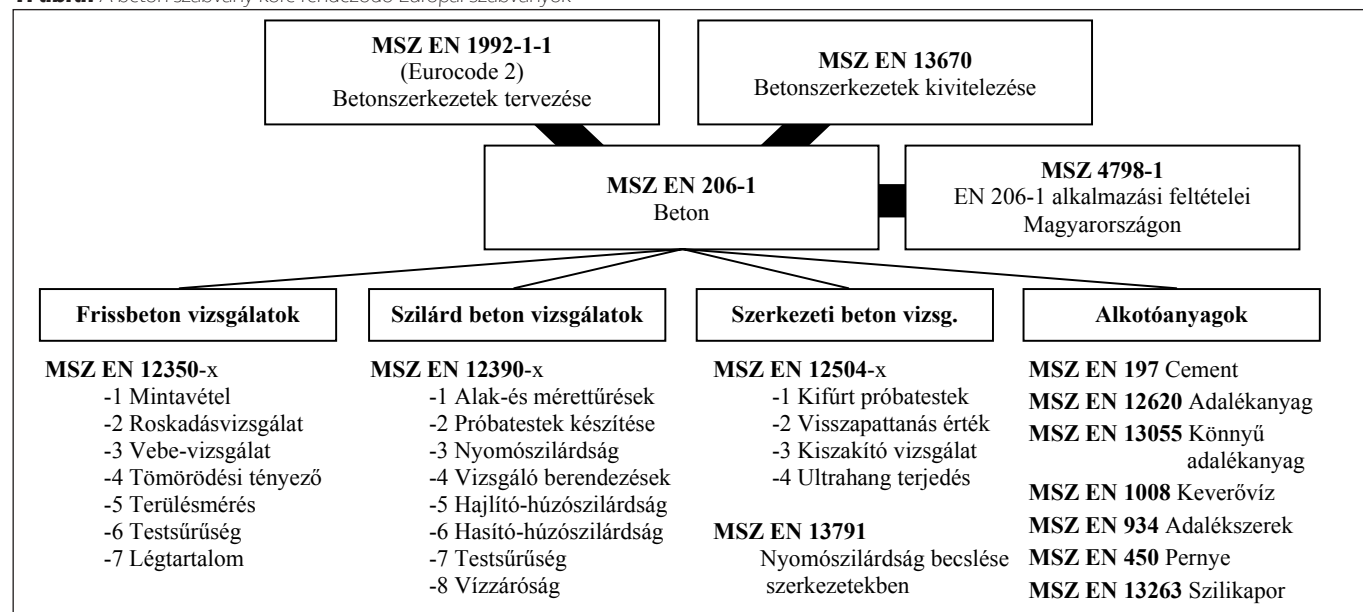
A beton felületi keménységmérésének és ezáltal szilárdságbecslésének legelterjedtebb eszköze napjainkban a Schmidt-kalapács. Cikksorozatunk első részében áttekintést adtunk az elmúlt 50 év szakirodalmi adatairól. Jelen cikkünkben az európai szabványosítással összefüggésben fölmerülő, hazai vonatkozású kérdéseket elemezzük.

Magyarországon mint az Európai Unió egyik tagállamában, az elmúlt években a korábbi Magyar Szabványok (MSZ) többségét felváltották az Európai Szabványok (EN). A folyamat révén lehetőségünk nyílik a korábbi szabályozástól gyakran eltérő megközelítésmódok megismerésére és használatára is. A nemzeti szabványosításról szóló 1995. évi XXVIII. törvény 6. § (1) bekezdése értelmében a nemzeti szabvány alkalmazása önkéntes. Az Európai Szabványok között a betonnal foglalkozó előírások az EN 206-1 szabvány köré rendeződnek az 1. ábra szerint. A bemutatott szabványok közül az MSZ

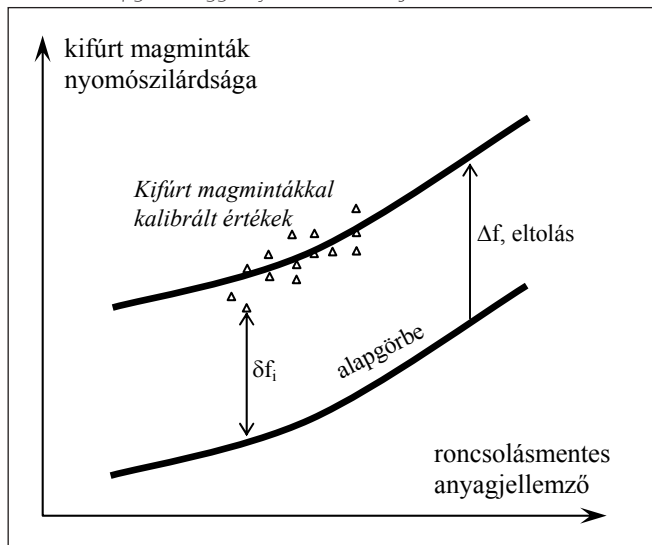
EN 13791:2007 jelzetű, „Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components” című szabvány foglalkozik a beton nyomószilárdságának helyszíni vizsgálatokon alapuló meghatározásával. E szabványt a Magyar Szabványügyi Testület (MSZT) 2007. június 15-én jóváhagyó közleménnyel magyar nemzeti szabványként jelentette meg, ezzel a betonnal foglalkozó előírások köre még teljesebbé vált. Az Európai Szabványok sok esetben nemzeti hatáskörbe utalnak egyes kérdéseket, ami maga után vonja az adott szabvány Nemzeti Alkalmazási Dokumentumának (NAD) elkészítését. Így történt ez pl. az EN 206-1 szabvánnyal is, amelynek hazai alkalmazási dokumentumát MSZ 4798 jelzettel tették közzé.

Az MSZ EN 13791:2007 szabványt tanulmányozva észrevehetjük, hogy annak *alkalmazási területe csak azokra a vizsgálati módszerekre terjed ki, amelyek során a roncsolásmentes módszerekkel kapott közvetett szilárdságjellemzők és a szerke-*

1. ábra: A beton szabvány köré rendeződő Európai Szabványok



2. ábra: Alapgörbe függvény-transzformációja az MSZ EN 13791:2007



zetből kifűrt magminták nyomószilárdsága közötti korrelációt meghatározzuk. Ezzel tehát az előírás kizárja a roncsolásmentes eszközök önmagukban való, vagy többük együttesen, de kifűrt magminták vizsgálata nélküli használatát; pontosabban fogalmazva nemzeti hatáskörbe utalja az erről való állásfoglalást. Kialakulhat tehát egy olyan helyzet, hogy a korábbi magyar (vagy külföldi) javaslatok közül kell az MSZT egy szakértői munkabizottságának kiválasztania egy Nemzeti Alkalmazási Dokumentum számára azokat a módszereket, amelyek a roncsolásmentes eszközök önmagukban való, vagy többük együttesen, de kifűrt magminták vizsgálata nélküli használatát tartalmazzák; feltéve, hogy a magyar szakmai közvélemény igényt tart erre.

2. AZ MSZ EN 13791:2007 SZABVÁNY ALAPGONDOLATA

Az MSZ EN 13791:2007 szabvány a helyszíni, roncsolásmentes szilárdságvizsgálatok értékeléséhez több módszert is javasol. Egyike ezeknek, amelyben a szilárdságbecsléshez ún. alapgörbék vezet be. Ezzel oly módon teremthető függvénykapcsolat a szerkezeti beton nyomószilárdsága és a roncsolásmentes módszerrel kapható közvetett szilárdságjellemzők között, hogy az alapgörbék a szerkezetből kifűrt, minimálisan kilenc darab magminta nyomószilárdság-vizsgálata segítségével kalibráljuk, azaz függvény-transzformációval az alapgörbék az adott szerkezetre érvényesnek tekinthető helyzetbe eltoljuk. Az MSZ EN 13791:2007 a kifűrandó magminták átmérőjét 50-150 mm közé javasolja felvenni, 50 mm-nél kisebb átmérőjű kifűrt magminták használatára az MSZ EN 13791:2007 nem vonatkozik. Az előírás azt is javasolja, hogy a kifűrt magmintákat a szilárdságvizsgálatot megelőzően legalább három napig laborlevegőn tároljuk (a kifűrt magminták nyomószilárdságának vizsgálati szabványa, az MSZ EN 12504-1:2000, ezen túlmenően azt is megengedi, hogy igény esetén víztelített állapotú mintákat vizsgáljunk). Ezzel kapcsolatosan megemlíti, hogy a magminta töréskori nedvességtartalmát, mint a vizsgálati eredményt befolyásoló egyik körülményt az EN szabványok javaslatainál körültekintőbben célszerű kezelni. A magminták vizsgálatával kapcsolatos, észak-amerikai szakirodalom különösen gazdag, ezért jelen dolgozatban ennek részleteire nem térünk ki (lásd pl. Bartlett, MacGregor, 1994a; 1994b; 1994c; 1995; 1996; Neville, 2001).

Az alapgörbe MSZ EN 13791:2007 szerinti függvény-

transzformációját sematikusán a 2. ábrán mutatjuk be.

A szabvány alap gondolatát alapvetően helyesnek tartjuk, mert – amint arra cikksorozatunk első részében is utaltunk, illetve amelyet cikksorozatunk harmadik részében részletesen elemzünk – a roncsolásmentes módszerrel (pl. Schmidt-kalapáccsal) meghatározható közvetett szilárdságjellemzők értékét nagyszámú paraméter befolyásolja. A szerkezet betonjának nyomószilárdsága a kifűrt magminták segítségével becsülhető legnagyobb biztonsággal. Megjegyezzük, hogy ezzel viszont kizártuk azon szerkezetek vizsgálatának a lehetőségét, amelyekből a legalább kilenc darab kívánt méretű magmintát nem lehet kifűrti. Az MSZ EN 13791:2007 alapgörbéi ugyanis függvény-transzformáció nélkül nem használhatók: azok a kifűrt magminták nyomószilárdsága és a roncsolásmentes anyagjellemzők között fennálló függvénykapcsolatok alakját adják meg. A függvények pontos pozícióját nem adják meg.

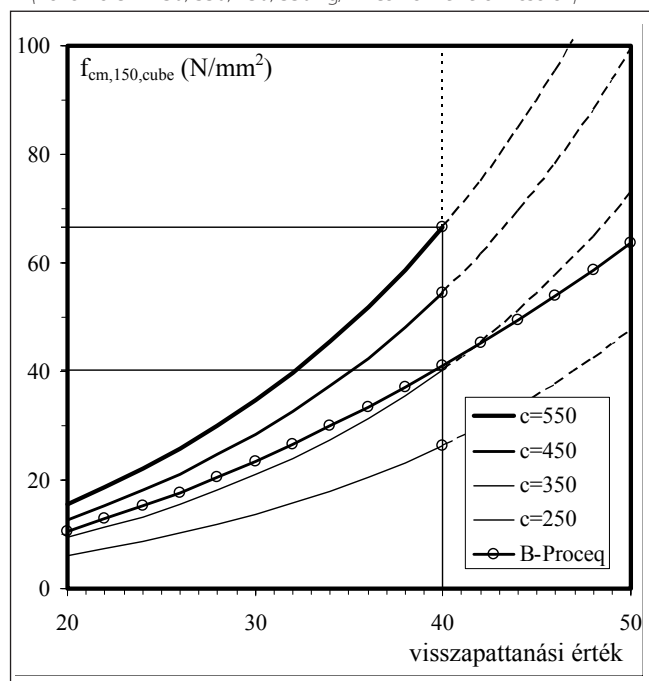
Az MSZ EN 13791:2007 kijelenti, hogy az alapgörbék olyan, a biztonság javára tett közelítést definiálnak, amelyből a függvény-transzformáció, azaz az alapgörbe eltolása mindig pozitív értelmű (fölfelé történik). Az MSZ EN 13791:2007 a javasolt alapgörbék helyett azt is megengedi, hogy más alakú, de igazoltan használható függvényeket alkalmazzunk alapgörbéként.

Az MSZ EN 13791:2007 azt is lehetővé teszi, hogy akár minden vizsgálat esetén új, az adott műtárgyra érvényes értékelő függvényt vezessünk be. Ennek feltétele, hogy legalább 18 darab kifűrt magminta alapján alkossák meg a függvénykapcsolatot.

3. A SZILÁRDSÁGBECSLÉS MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK JAVÍTÁSA

Cikksorozatunk első részében áttekintettük, hogy a szakirodalom milyen javaslatokat, tapasztalati összefüggéseket adott az elmúlt 50 évben, a Schmidt-kalapácsos visszapattanási értékek és a szerkezeti beton nyomószilárdsága között feltelezhető függvénykapcsolatra. Bemutattuk, hogy egyes esetekben a műtárgy betonjának valóságos nyomószilárdsága jóval kisebb, vagy jóval nagyobb is lehet, mint a becsült érték. Tehát a Schmidt-kalapácsos roncsolásmentes vizsgálatot

3. ábra: Szilárdságbecslő függvények Roknich (1968) alapján (növekvő $c = 250, 350, 450, 550 \text{ kg/m}^3$ cementtartalom esetén)



csak *durva becslésre* tudjuk felhasználni, ha a vizsgált beton semmilyen egyéb tulajdonságát nem ismerjük, vagy ha egyéb roncsolásmentes, vagy roncsolásos vizsgálatnál nem egészítjük ki a Schmidt-kalapácsos vizsgálatunkat.

Ha egy műtárgy betonjának nyomószilárdságát a becslés megbízhatóságának és a gazdaságos használatnak az optima mellett szeretnénk becsülni, akkor a Schmidt-kalapácsos vizsgálatot célszerű kiegészítenünk:

- 1) kifűrt magminták egyidejű nyomószilárdság vizsgálatával, vagy
- 2) a műtárgy betonjából, a kivitelezéssel párhuzamosan beto-
nozott próbatestek nyomószilárdság vizsgálatával, vagy
- 3) egyéb roncsolásmentes szilárdságbecslő eljárások egyidejű alkalmazásával, vagy
- 4) a Schmidt-kalapácsos vizsgálat kiértékelő eljárásában empirikus paraméterek bevezetésével, amelyekkel a mű-
tárgy betonjának összetételét, tulajdonságait igyekszünk figyelembe venni.

A fenti lehetőségeket abban a sorrendben soroltuk föl, amelyben bizonytalanságuk nő, megbízhatóságuk ez által csökken.

A mérési eredményeket befolyásoló tényezők nagy száma miatt a Schmidt-kalapácsos vizsgálat kiegészítésére szerzők véleménye szerint leginkább tanácsolható módszer a *kifűrt magminták egyidejű vizsgálata*, amely egybevág az MSZ EN 13791:2007 szabvány alapelveivel.

A műtárggyal egy időben készített próbatestek vizsgálata esetén már jóval körültekintőbben kell eljárni, hiszen a bedolgozás és tárolás módja jelentősen eltérhet a műtárgyétól. Ennek jelentőségére már a legkorábbi szakkikkek is fokozottan felhívták a figyelmet (pl. Skramtajew, 1938).

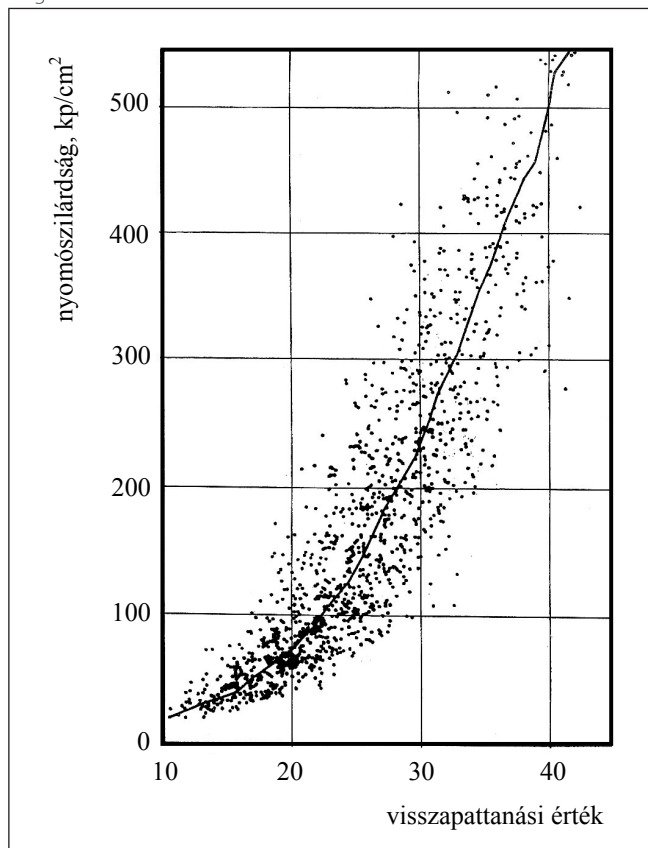
Más roncsolásmentes és kis roncsolással járó szilárdságbecslő eljárások (ultrahangos módszerek, szonda-behatolás vizsgálata, kiszakító vizsgálatok, leszakító vizsgálatok stb.) egyidejű alkalmazásával szintén növelhető a becslés megbízhatósága, azonban ez esetekben a vizsgálatot és értékelést végzők magas szintű szakmai felkészültsége és nagy gyakorlata elengedhetetlen követelmény. Több roncsolásmentes szilárdságbecslő eljárás együttes alkalmazásának szakirodalmi jelen cikksorozat hivatkozásai terjedelmét is jelentősen meghaladja, ezért (és specialitása miatt is) szerzők nem tűzték ki célul ezek ismertetését.

Végül említést teszünk a kiértékelő eljárás során bevezetett tapasztalati paraméterek használatáról. Egy (sok esetben laikus) felhasználó számára ez utóbbi módszerek tűnhetnek a legegyszerűbbnek, emellett ez a leginkább költségkímélő lehetőség is. Mindazonáltal a módszerek olyan mértékű bizonytalanságot hordoznak magukban, amelynek figyelmen kívül hagyása, vagy a nem kellően körültekintő használat akár a műtárgy teherbírását is veszélyeztető mértékű, a *biztonság kárára* tett súlyos elhanyagolást eredményezhet. Mivel egy, jelenleg hatályos hazai műszaki előírásunk megengedi ilyen módszer használatát, ezért a kérdést a következőkben részletesen megvizsgáljuk.

4. TAPASZTALATI PARAMÉTEREK HASZNÁLATA AZ ÉRTÉKELÉS SORÁN

Hazánkban régóta, igen széles körben folynak vizsgálatok a Schmidt-kalapácsos roncsolásmentes betonvizsgálatok területén. Számos szakkikk, tudományos értekezés és műszaki előírás, illetve szabvány szintű javaslat és szabvány látott

4. ábra: Talabér, Borján, Józsa, 1979 összes mérési eredménye közös diagramban



napvilágot az elmúlt évtizedekben. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén a mai napig kiemelt fontosságú kutatási terület a roncsolásmentes betonvizsgálat. Az igen értékes kutatási eredmények közül jelen cikksorozatunk keretein belül kettőt vizsgálunk meg:

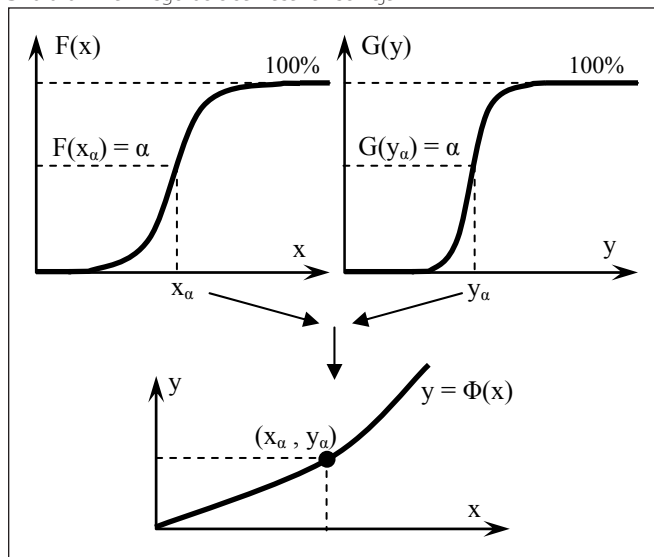
- *Roknich* György javaslatát (Roknich, 1966; 1967; 1968), amely később az egykori Magyar Szabványügyi Hivatal „Szabványosítási szakkönyvtár” könyvsorozatában is megjelent ajánlasként (Szalai, 1982), illetve Közlekedési Ágazati Szabvány is adaptálta (MSZ-07-3318-1991), valamint
- *Borján* József javaslatát (Borján, 1981; Talabér, Borján, Józsa, 1979), amely a jelenleg is hatályos ÚT 2-2.204:1999 Útügyi Műszaki Előírás javasolt módszerei között szerepel.

Az 1960-as években az Útügyi Kutató Intézetben kiterjedt laboratóriumi vizsgálatok folytak többek között a Schmidt-kalapácsos roncsolásmentes vizsgálatok területén, amely alapján háziszabvány-tervezet is készült (Roknich, 1966). A kutatások eredményeként az N-típusú Schmidt-kalapáccsal kapható visszapattanási értékek és a beton nyomószilárdsága között olyan függvénykapcsolatot alakítottak ki, amely magában foglalt egyes betontechnológiai paramétereket (cementtartalom, cement típusa és az adalékanyag összetétele), illetve egy a beton korát figyelembe vevő paramétert. A függvénykapcsolat általános alakja (amelyben a jobb oldali törtben szereplő összefüggést Gaede és Schmidt (1964) vezette le elméleti megfontolások alapján):

$$f_{cm,200,cube} = \frac{9099,18}{\left(2^{(5-10c)} + 3,178 - 0,65\alpha\right) \cdot i} \cdot \frac{R^2 + 0,067 \cdot R}{0,773 - (R^2 + 0,067 \cdot R)} \quad (\text{kp/cm}^2) \quad (1)$$

A módszer javaslatot adott a vízszintestől tetszőleges szögben eltérő ütési irány figyelembe vételére is. A 3. ábrán bemutatjuk, hogy a javaslatot követve hogyan változik a visszapattanási érték-nyomószilárdság kapcsolat, változat-

5. ábra: Kvantilisgörbe előállításának sémája



lan adalékanyag-összetételű és változatlan korú (28 napos) betonkeverékre vonatkozóan, vízszintes ütésirány esetén, ha a cementtartalmat rendre 250, 350, 450, 550 kg/m³ értékűnek tételezzük fel. Az összehasonlítás kedvéért az ábrán feltüntettük a „B-Proceq” görbét is (amelyet cikksorozatunk első részében mutattunk be; Proceq, 2003; 2004). Megfigyelhető, hogy felépítése következtében a javasolt függvény igen érzékenyen reagál a cementtartalom változtatására. A legkisebb és a legnagyobb cementtartalomhoz tartozó becült nyomószilárdságok különbsége 9 N/mm² és 73 N/mm² között változik. E különbség a nagyobb visszapattnási értékek tartományában már indokolatlanul nagy. Ennek egyik oka, hogy ebben a tartományban a kísérleti háttér nyújtotta peremfeltételeken kívüli az extrapoláció. Az is megfigyelhető, hogy a 350 kg/m³ cementtartalomhoz tartozó görbe viszonylag jól követi a „B-Proceq” görbét, így ez tulajdonképpen elfogadható a módszer középgörbéjeként. A két görbe metszéspontja $R=40$ visszapattnási érték közelében van. E metszetben a legkisebb és a legnagyobb cementtartalomhoz tartozó becült nyomószilárdságok különbsége 40,2 N/mm², és ez több mint hat betonostálynyi különbséget adna egy minősítés alkalmával. Ilyen mértékű különbséget azonban a cementtartalom változtatása önmagában nem eredményezhet. Mivel a módszer az 1960-as években használt cementeken alapult, így azt napjaink betonjaira adaptálni laboratóriumi vizsgálatok nélkül nem lehetséges. Érdekességgé megemlítjük, hogy Roknich az 1970-es években módszerét tovább finomította, és javaslatokat dolgozott ki a szilárdságbecslés megbízhatóságának fokozására a vizsgált beton egyes technológiai adatainak felhasználásával (KTI, 1978). A figyelembe vehető paraméterek a következők voltak: a szerkezetből kivágott kockák nyomószilárdsága, a beton adalékanyag-tartalmának és cementtartalmának hányadosa, a beton testsűrűsége, a beton szabadvíz tartalma, a cementadagolás vagy a víz-cement tényező.

Az 1970-es években a Budapesti Műszaki Egyetem Építőanyagok Tanszékén folytak kiterjedt laboratóriumi vizsgálatok a roncsolásmentes szilárdságbecslő módszerek területén (Talabér, Borján, Józsa, 1979). A vizsgálatok egyik különlegessége volt, hogy - a területen úttörő módon - kilenc faktoros, ún. teljes kísérletet végeztek. A vizsgált kísérleti paraméterek (faktorok) a következők voltak: a cement fajtája, az adalékanyag legnagyobb szemnagysága, az adalékanyag finomsági modulusa, a víz-cement tényező, a péptartalom, a bedolgozás módja, az utókezelés módja, a beton kora vizsgálatkor és a beton nedvességtartalma vizsgálatkor. A kísérleti terv 48 különböző betonkeverék és 24 eltérő kezelésfajta kombináci-

ójának eredményeként 1152 próbatestből álló kísérletsorozatot eredményezett. A kísérletsorozat *ismétlés nélküli kísérlet* volt: a megvizsgált 1152 próbatest mindegyike más-más faktor-kombinációval készült, azaz a *próbatestek között nem volt két tökéletesen egyforma*. Tekintve, hogy a kísérletsorozat a személyi számítógépek elterjedését megelőző időszakban folyt, így is igen figyelemre méltó, hogy a kutatók egyáltalán vállalkoztak akár csak egy ismétlés nélküli kísérlet értékelésére is, hiszen a kilenc faktoros kísérletben a lehetséges faktor-kombinációk száma megközelíti az ötszázat (több faktor együttes kölcsönhatásának vizsgálatakor), ami sok ezer eset elemzését kívánja, és több száz különböző kapcsolati függvényt eredményez. Összes mérési eredményük ábrázolását egy közös diagramban a 4. ábrán mutatjuk be (Talabér, Borján, Józsa, 1979).

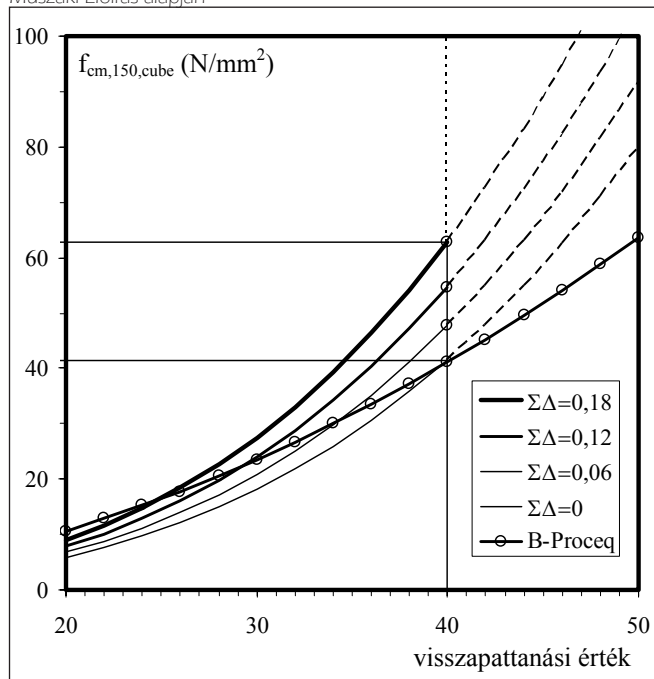
Az említett kísérletsorozat további különlegessége volt, hogy a kiértékelések során *nem* a megszokott módon, a *valóságosan is összetartozó* visszapattnási érték-nyomószilárdság adatpárokat vizsgálták, hanem a mérési eredményekből képzett rendezett minták azonos sorszámú elemeinek egymás mellé rendezésével előállított adatpárokat tanulmányozták. Mivel az így nyerhető adatpárok fölfoghatók a *Reimann-féle kvantilisgörbe* egyfajta egyszerűsített formában megadott tapasztalati közeli-teként, ezért a kutatók ezekre mint ún. kvantilispontokra hivatkoztak tanulmányaikban (a kvantilisgörbét a hidrológiában árhullámok vizsgálatára is használják; lásd pl. Reimann, V. Nagy, 1984 könyvét). A *kvantilisgörbék*, sztochasztikus kapcsolatban lévő mennyiségek közötti függvénykapcsolat jellegéről adnak közelítő képet (Reimann, 1975). Két valószínűségi változó kapcsolatát sztochasztikusnak nevezzük, ha egymástól nem függetlenek, azaz egyik befolyásolja a másikat, de azt teljesen egyértelműen nem határozza meg (Koris, 1993). A *beton nyomószilárdsága és a visszapattnási érték sztochasztikus kapcsolatban állnak egymással*. Kvantilisgörbék pontjait viszonylag egyszerűen előállíthatjuk, ha az ismert $F(x)$ és $G(y)$ eloszlásfüggvényű, sztochasztikus kapcsolatban lévő X és Y valószínűségi változók azonos $F(x_\alpha) = G(y_\alpha) = \alpha$ előfordulási valószínűségekhez tartozó kvantiliseinek függvényértékeit (x_α, y_α) egymás mellé rendljük (Reimann, 1975). Kvantilisgörbe előállításának sémáját az 5. ábrán adjuk meg. A kvantilispontok, ill. kvantilisgörbék bevezetése két okból lehet célszerű a roncsolásmentes vizsgálatok értékelésekor. Az egyik ok, hogy egy kvantilisgörbe a két, sztochasztikus kapcsolatban lévő valószínűségi változó közötti függvénykapcsolatot oly módon fejezi ki, hogy a reziduális eltérést mindkét változó szerint egyidejűleg minimalizálja (Talabér, Borján, Józsa, 1979). Ezáltal olyan függvény keletkezik, amely mentes a regressziós elemzés alkalmazásának hibáitól (Borján, 1981). A másik ok pedig az, hogy a kvantilisgörbe előállításával észlelhetővé válnak olyan faktorhatások is, amelyek a valóságosan összetartozó visszapattnási érték-nyomószilárdság adatpárok ábrázolása során nem észlelhetők. A kutatók által bevezetett módszerrel - bár tulajdonképpen *fiktív* adatpárokat, ill. függvényeket hozunk létre - a regressziós elemzés hibája csökkenthető és a faktorhatások is könnyebben elemezhetővé válnak.

A vizsgálatok eredményeként a kutatók a kettős logaritmikus hálózatban ábrázolt kvantilispontokra másodfokú polinomfüggvényt illesztettek (Talabér, Borján, Józsa, 1979). A szilárdságbecslő függvénykapcsolat középgörbéje:

$$\lg f_{\text{cm},200,\text{cube}} = -1,055 + 1,805 \times \lg R + 0,345 \times [\lg R]^2 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2)$$

A szilárdságbecslés megbízhatóságának fokozása céljából a kutatók bevezettek empirikus paramétereket, amelyek a beton összetételét, ill. tulajdonságait veszik figyelembe. Az empirikus paraméterek additív jellegűknél fogva a kettős logaritmikus há-

6. ábra: Szilárdságbecslő függvények az ÚT 2-2.204 (1999) Útügyi Műszaki Előírás alapján



lázatban ábrázolt középgörbét önmagával párhuzamosan fölfelé, a nagyobb nyomószilárdságok irányában tolják el. Így tehát a szilárdságbecslés megbízhatóságának növelésével mindenkor nagyobb nyomószilárdságot kapunk, mint amit a középgörbe használata eredményezne. A kutatók megállapították, hogy „a vizsgált paraméterek kölcsönhatásai esetenként erősek és halmozódhatnak”. Éppen ezért nyomatékosan hangsúlyozták, hogy a paraméterek hatását ilyen típusú korrekcióval figyelembe venni csak korlátozott mértékben szabad. Ennek elsődleges oka, hogy egy konkrét műtárgy esetén (ellentétben a gondosan megtervezett laboratóriumi kísérletsorozattal) a befolyásoló paramétereket, illetve ezek egymásra hatását általában nem, vagy csak hiányosan ismerjük.

Az ÚT 2-2.204:1999 Útügyi Műszaki Előírás a fent ismertetett szilárdságbecslő módszert minimális változtatással a következő alakban, illetve kiegészítésekkel adaptálta:

$$\lg f_{cm,200,cube} [N/mm^2] = -2,159 + \Sigma\Delta + 1,805 \times \lg R + 0,345 \times [\lg R]^2 \quad (3)$$

- a függvénykapcsolat alakja változatlan; kettős logaritmus hálózatban képzett másodfokú polinomfüggvény,
- a középgörbe helyett 5%-os alulmaradási valószínűséghez tartozó függvényt javasol, ezzel a görbe pozícióját meghatározó empirikus paraméter értéke -1,055 helyett -2,159,
- a függvénykapcsolat értelmezési tartománya $R = 15 \dots 40$ visszapattanási értékekre vonatkozik,
- a beton összetételét, ill. tulajdonságait figyelembe vevő empirikus additív segédváltozó ($\Sigma\Delta$) legfeljebb három, egyidejűleg figyelembe vehető, Δ segédváltozó összegeként állítandó elő, amelyek értéke általában $\Delta = 0 \dots 0,07$ tartományban mozoghat, így az additív segédváltozó $\Sigma\Delta = 0 \dots 0,19$ értéket vehet föl,
- a beton karbonátosodásának figyelembe vételére a beton korától függő, $\alpha_t = 1,0 \dots 0,6$ értékű szorzótényező szolgál,
- a beton szilárdulási ütemének figyelembe vételére a beton korától és a cement típusától függő, γ_t szorzótényező szolgál.

A 6. ábrán bemutatjuk, hogy a javaslatot követve hogyan változik a visszapattanási érték-nyomószilárdság kapcsolat, amennyiben (28 napos korú betont feltételezve) a $\Sigma\Delta$ segédváltozót rendre 0-0,06-0,12-0,18 értékűnek vesszük föl. Az

összehasonlítás kedvéért az ábrán feltüntetettük a „B-Proceq” görbét is. Megfigyelhető, hogy a javasolt függvény érzékenyen reagál a $\Sigma\Delta$ segédváltozó értékének változtatására. A legkisebb és a legnagyobb becsült nyomószilárdságok különbsége a függvény értelmezési tartományán belül 3 N/mm² és 21 N/mm² között változik. Egyszerű extrapolációval kiterjesztve a függvény értelmezési tartományát az 50-es visszapattanási értékig (a „B-Proceq” görbe értelmezési tartományáig), a különbség már 41 N/mm² értékre adódik; itt már indokolatlanul nagy. E különbségek is figyelmeztetnek arra, hogy egy módszer háttérül szolgáló laboratóriumi kísérletek nyújtotta *peremfeltételek kiterjesztése* egyéb esetekre (más betonokra), veszélyt is hordozhat magában. Az is megfigyelhető, hogy különösen a nagyobb visszapattanási értékek tartományában a görbék már jelentős mértékben, a biztonság kárára térnek el a „B-Proceq” görbétől, így a (3) függvény alakját nem tekinthetjük optimálisnak. A segédváltozó $\Sigma\Delta = 0$ értékéhez tartozó görbe, illetve a „B-Proceq” görbe metszéspontja éppen az $R=40$ visszapattanási érték közelében van. E metszetben a segédváltozó $\Sigma\Delta = 0,18$ értékéhez tartozó becsült nyomószilárdság 21,3 N/mm²-rel magasabban helyezkedik el, ami *több mint négy betonosztálynyi különbséget* eredményezne egy minősítés alkalmával.

Az eddig elmondottak, és a 6. ábra tapasztalatai alapján összefoglalhatjuk az ÚT 2-2.204:1999 Útügyi Műszaki Előírás szilárdságbecslő módszerének korlátait:

- 1) A javasolt szilárdságbecslő függvénykapcsolat és a hozzá tartozó segédváltozók egyes értékei az 1970-es években használt cementeken és adalékszer nélküli betonokon alapulnak, így változatlan alkalmazásuk napjaink (esetenként jelentős mennyiségű, különböző adalékszeret tartalmazó) betonjaira, óvatosságra int.
- 2) A $\Sigma\Delta$ segédváltozó értékének megadásában a kiértékelést végző személy nagy szabadsággal rendelkezik, roppant bizonytalanság mellett. Ez *alapvetően ellentmond* annak a kijelentésnek, amelyet a módszer kidolgozói tettek egy konkrét műtárgy esetére vonatkozóan a befolyásoló paraméterek, illetve ezek egymásra hatásának ismeretéről. Sajnálatos módon így a $\Sigma\Delta$ segédváltozó, amely a szilárdságbecslés megbízhatóságának fokozását szolgálja, és tudományosan is igazolható a korlátok közötti alkalmazhatósága, éppen ellentétes célt érhet el: *egy, a szerkezet biztonságát súlyosan veszélyeztető állapotban, a biztonságos állapot igazolásának látszata kelthető vele.* (A szerzők a hazai építőipari gyakorlatban több esetben szembesültek e módszer szándékos, manipulatív módon történő, de az előírás által megengedett korlátok közt maradó alkalmazásával, amely esetekben az egyébként nyomószilárdsági szempontból meg nem felelő műtárgy betonjának megfelelőségét igyekeztek így módon igazolni. Az ilyen etikátlan magatartás mind a műszaki előírás szellemiségét, mind pedig a javaslatokat megalkotó kutatók személyét *szakmailag és erkölcsileg egyaránt megsérti.* Egy műszaki előírásban célszerű lenne ügyelni arra, hogy a felhasználó ilyen magatartására ne nyújtsunk lehetőséget.)
- 3) A beton karbonátosodásának figyelembe vételére szolgáló tényező nem alkalmas arra, hogy figyelembe vegye a vizsgált beton porozitását, illetve nyomószilárdságát. Ezt a kérdést *cikksorozatunk harmadik részében* elemezzük részletesen.
- 4) A beton szilárdulási ütemének figyelembe vételére szolgáló tényező szintén az évtizedekkel ezelőtt használt cementeken alapul, így alkalmazása napjaink betonjaira, ismételten óvatosságra int.

Az elmondottak alapján az ÚT 2-2.204:1999 Útügyi Műsza-

ki előírás e javaslatának átdolgozását tartjuk szükségesnek, különös tekintettel a tapasztalt manipulációk elkerülése, így ez által a betonszerkezetek vizsgálata biztonságának növelése érdekében.

A teljesség kedvéért megemlítjük, hogy az ÚT 2-2.204:1999 Útügyi Műszaki Előírás a szilárdságbecslés megbízhatóságának fokozására nem csak a Σ segédváltozó használatát engedi meg, hanem alternatívaként lehetőséget ad *próbakockákon végzett ellenőrző szilárdságvizsgálatok* alkalmazására is. Amint arra korábban utaltunk, a próbatestek bedolgozási és tárolási módja jelentősen eltérhet a műtárgytól. Tehát ez a lehetőség az esetek többségében nem növeli a megbízhatóságot, illetve a biztonságot.

Sajnálatosnak tartjuk, hogy az ÚT 2-2.204:1999 Útügyi Műszaki Előírás nem tér ki a szerkezetből kifűrt magminták egyidejű nyomószilárdság vizsgálatának alkalmazására. A műszaki előírás ilyen irányú továbbfejlesztése indokolható; ezzel az MSZ EN 13791:2007 szabvány alap gondolatával is összhangba kerülhetne.

A szerzők hangsúlyozzák, hogy nagyra értékelik azokat a korábbi erőfeszítéseket, amelyeket az 1970-es években a Budapesti Műszaki Egyetem Építőanyagok Tanszékének kutatói végeztek a roncsolásmentes betonvizsgálatok területén. Úttörő jellegű vizsgálataik összeállításának alapossága (teljes kísérlet, faktoranalízis stb.), illetve a kiértékelés újszerűsége (rendezett minták, kvantilis függvények használata) a terület kutatói számára napjainkban is példa értékű. Azonban az elmúlt több mint harminc évben mind a felhasznált cementek, mind a betontechnológia, mind a számítástechnika eszközrendszere és kapacitása megváltozott. Így a kutatók által kidolgozott elvek felhasználásával célszerű lenne újabb, immár *ismétlésses kísérletek* elvégzése, hogy a napjainkban is érvényesnek tekinthető roncsolásmentes szilárdságbecslő összefüggések kidolgozhatók legyenek.

5. MEGÁLLAPÍTÁSOK A 2. RÉSZHEZ

Magyarországon mint az Európai Unió egyik tagállamában az elmúlt években a korábbi Magyar Szabványok (MSZ) többségét felváltották az Európai Szabványok (EN). Az MSZ EN 13791:2007 jelzetű, „*Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components*” című szabvány a beton nyomószilárdságának helyszíni vizsgálatokon alapuló meghatározásával foglalkozik. A szabvány *alkalmazási területe csak azokra a vizsgálati módszerekre terjed ki*, amelyek során a roncsolásmentes módszerekkel kapott közvetett szilárdságjellemzők és a szerkezetből kifűrt magminták nyomószilárdsága közötti korrelációt *meghatározzuk*. Ezzel tehát az előírás *kizárja* a roncsolásmentes eszközök önmagukban való, vagy többük együttesen, de kifűrt magminták vizsgálatát mellőző használatát. A szabvány részletes instrukciókat ad a beton nyomószilárdságának becslésére, amit jelen cikkünkben összefoglaltunk.

Bemutattuk a hazánkban jelenleg hatályos ÚT 2-2.204:1999 Útügyi Műszaki Előírás szilárdságbecslő módszerét is, amely alapvetően eltér az MSZ EN 13791:2007 szabvány javaslataitól. Az előírásban ismertetett eljárás *Borján* javaslatán alapszik, amelyet az 1970-es években dolgozott ki a Budapesti Műszaki Egyetem Építőanyagok Tanszékén folytatott laboratóriumi kísérletsorozata alapján.

Bemutattuk, hogy az ÚT 2-2.204:1999 Útügyi Műszaki Előírás nem zárja ki annak a lehetőségét, hogy egy felhasználó etikátlan és manipulatív módon használja a közreadott javaslatok közt szereplő módosító segédváltozókat (Δ) és ezzel mind

az előírás szellemiségét, mind pedig a javaslatokat megalkotó kutatók személyét *szakmailag és erkölcsileg egyaránt sérti*. Az ilyen magatartás akár a szerkezet biztonságát súlyosan veszélyeztető állapotot is előidézhethet, mert egy egyébként nyomószilárdsági szempontból meg nem felelő szerkezetre vonatkozóan annak a látszata kelthető, mintha a nyomószilárdság meglétét biztonságosan igazolni tudnánk.

Az ÚT 2-2.204:1999 Útügyi Műszaki Előírás továbbfejlesztése indokolt, célszerűen olyan irányba, hogy az MSZ EN 13791:2007 szabvány alap gondolatával is összhangba kerüljön.

Megemlítjük, hogy az MSZ EN 13791:2007 szabvány egyelőre csak angol nyelven szerezhető be. Mivel ez a fontos szabvány esetenként műtárgyak átvételének sorsát döntheti el, a felhasználónak pontosan ismernie kell annak tartalmát, függetlenül a nyelvtől, amelyen a szabványt kiadták.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen, háromrészes cikksorozat a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának támogatásával készült, amelyért a szerzők ezúton is köszönetet mondanak. A szerzők megköszönik Kurt Baumann (Proceq), Boros Sándor (ÉMI), dr. Olivier Burdet (EPFL), dr. Erdélyi Attila (BME), dr. Józsa Zsuzsanna (BME), Kutassy László (MSZT) és dr. Zsigovics István (BME) irodalomkutatás során nyújtott segítségét.

7. HIVATKOZÁSOK

- Bartlett, F. M., MacGregor, J. G. (1994a) „Effect of Core Moisture Condition on Concrete Core Strengths”, *ACI Materials Journal*, V. 91, No. 3, May-June 1994, pp. 227-236.
- Bartlett, F. M., MacGregor, J. G. (1994b) „Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strengths”, *ACI Materials Journal*, V. 91, No. 4, July-August 1994, pp. 339-348.
- Bartlett, F. M., MacGregor, J. G. (1994c) „Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strengths”, *ACI Materials Journal*, V. 91, No. 5, September-October 1994, pp. 460-470.
- Bartlett, F. M., MacGregor, J. G. (1995) „Equivalent Specified Concrete Strength from Core Test Data”, *Concrete International*, V. 17, No. 3, March 1995, pp. 52-58.
- Bartlett, F. M., MacGregor, J. G. (1996) „Statistical Analysis of the Compressive strength of Concrete in Structures”, *ACI Materials Journal*, V. 93, No. 2, March-April 1996, pp. 158-168.
- Borján J. (1981) „Roncsolásmentes betonvizsgálatok”, *Műszaki Könyvkiadó*, 204 p.
- Gaede, K., Schmidt, E. (1964) „Rückprallprüfung von Beton mit dichtem Gefüge”, *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton*, Heft 158, pp. 28-29.
- Koris K. szerk. (1993) „Hidrológiai számítások”, *Akadémiai Kiadó*, Budapest, 567 p.
- Kutassy L. (2006) *személyes adatszolgáltatás* (MSZT, Budapest)
- KTI (1978) „Roncsolásmentes betonvizsgálatok alkalmazása”, *Tanulmány, Közüti Közlekedési Tudományos Kutató Intézet*, Budapest, 40 p.
- MSZ 07-3318 (1991) „Közüti betonburkolatok és műtárgyak roncsolásmentes vizsgálata Schmidt kalapáccsal”, *Magyar Köztársaság Közlekedési Ágazati Szabvány*, 19 p.
- MSZ EN 12504-1 (2000) „Testing concrete in structures – Part 1: Cored specimens – Taking, examining and testing in compression”, *European Standard*
- MSZ EN 12504-2 (2001) „Testing concrete in structures – Part 2: Non-destructive testing – Determination of rebound number”, *European Standard*
- MSZ EN 13791 (2007) „Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components”, *European Standard*
- Neville, A. M. (2001) „Core Tests: Easy to Perform, Not Easy to Interpret”, *Concrete International*, American Concrete Institute, November 2001, pp. 59-68.
- Proceq SA (2003) „Concrete Test Hammer N/NR, L/LR and DIGI SCHMIDT ND/LD – Rebound Measurement and Carbonation”, *Info sheet*
- Proceq SA (2004) „Non-Destructive testing of concrete – Schmidt concrete test hammer”, *Training course handout*
- Reimann J. (1975) „Árvizek jellemző adatainak matematikai statisztikai elemzése”, *Hidrológiai Közlöny*, 1975/4, pp. 157-163.

- Reimann J., V. Nagy I. (1984) „Hidrológiai statisztika”, *Tankönyvkiadó*, Budapest, 1984, 519 p.
- Roknich Gy. (1966) „Háziszabvány-tervezet Schmidt-kalapáccsos vizsgálat-hoz”, *Ütügyi Kutató Intézet*
- Roknich Gy. (1967) „Cement- és betonvizsgálatok, C rész. A roncsolásmentes betonvizsgálat továbbfejlesztése”, *Ütügyi Kutató Intézet*, 07066013 sz. jelentés
- Roknich Gy. (1968) „A beton roncsolásmentes vizsgálata”, *Mélyépítéstudományi Szemle*, XVIII. évf., 7. sz., pp.298-301.
- Skramtajew, B. G. (1938) „Determining Concrete Strength in Control for Concrete in Structures”, *Journal of the American Concrete Institute*, January-February 1938, Vol. 9 (Proceedings Vol. 34), No. 3, pp. 285-303.
- Szalai K. szerk. (1982) „A beton minőségellenőrzése”, Szabványosítási szak-könyvtár 26., *Magyar Szabványügyi Hivatal*, 538 p.
- Talabér J., Borján J., Józsa Zs. (1979) „Betontechnológiai paraméterek hatása a roncsolásmentes szilárdságbecslő összefüggésekre”, *Tudományos Közlemények* 29., Budapesti Műszaki Egyetem Építőanyagok Tanszéke, 97 p.
- ÚT 2-2.204 (1999) „Közúti betonburkolatok és műtárgyak roncsolásmentes vizsgálata Schmidt-kalapáccsal és ultrahanggal”, *Ütügyi Műszaki Előírás, Magyar Ütügyi Társaság*, 39 p.

FIFTY YEARS WITH THE SCHMIDT REBOUND HAMMER: PAST, PRESENT AND FUTURE.

Part 2. European standardisation and its impact in Hungary Katalin Szilágyi and Dr. Adorján Borosnyói

The European Standard MSZ EN 13791:2007 „Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components” deals with techniques for estimating in-situ compressive strength in concrete structures and precast concrete components. According to the recommendations presented, the Schmidt rebound hammer tests may be used for the assessment of in-situ compressive strength using a basic curve (defined in the standard) and shifting it to the appropriate level determined by core tests. For the assessment of in-situ compressive strength indirect tests are then undertaken

on the specific concrete and the established relationship is used to estimate in-situ compressive strength of concrete. Without any core tests the Schmidt rebound hammer is not applicable in view of MSZ EN 13791:2007. In Hungary, detailed experimental tests have been carried out and several proposals have been published in the past decades on the assessment of in-situ compressive strength of concrete using the Schmidt rebound hammer. For example, the ÚT 2-204:1999 chapter of the Hungarian Highway Code recommends the use of a method developed in the 1970's in the Technical University of Budapest. The nine-parameter full experimental background of the Code is considered to be one of the most detailed experimental researches in this field, worldwide. The researchers developed not only a special experimental technique but also a brand new evaluation method for the analysis, based on the theory of J. Reimann mathematician. However, it can be realized that the Hungarian Highway Code is not in agreement with the European Standard's basic assumption, i.e. tests on drilled cores are needed for the strength assessment. Present paper summarises the MSZ EN 13791:2007 European Standard in comparison to the Hungarian Highway Code ÚT 2-204:1999, with special focus on the experimental background. Limits of the Hungarian recommendations are highlighted.

Szilágyi Katalin (1981) okl. építőmérnök, tanszéki mérnök a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén. Fő érdeklődési területei: betonszerkezetek diagnosztikája, roncsolásmentes betonvizsgálatok, betontechnológia, öntömörödő betonok. A *fib* Magyar Tagozat tagja.

Dr. Borosnyói Adorján (1974) okl. építőmérnök, PhD, adjunktus a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén. Az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatottja. Fő érdeklődési területei: vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek használhatósági határállapota és tartóssága, feszített és nem feszített FRP betétek alkalmazása, tapadása, tartószerkezetek utólagos megerősítése szálerezősítésű anyagokkal, betonszerkezetek diagnosztikája. A *fib* Magyar Tagozat és a *fib* TG 4.1 „Serviceability Models” munkabizottság tagja.

KLORIDKÖTÉS BETONBAN

2. A CEMENTKŐ KLORIDION MEGKÖTŐ KÉPESSÉGE



Dr. Kopecskó Katalin – Dr. Balázs György

A cikk első részében (Kloridkötés betonban, 1. A C_3A és C_4AF aluminát klinkerek kloridion megkötő képessége, Vasbetonépítés 2006/4) kísérleteink eredményeiről számoltunk be, amellyel a jégmentesítő sózás hatását modelleztük természetesen szilárdult, valamint gőzöléssel szilárdított aluminát (C_3A és C_4AF) mintákon. Az eredmények ismeretében kutatásokat folytattunk különböző tulajdonságú cementek kloridkötési mechanizmusának tanulmányozására is. Korábbi kutatási eredmények alapján ismert, hogy a cementkőben a kloridionokat a C_3A és C_4AF klinkerásványok hidrátfázisai kötik meg. Kutatásunkkal igyekeztünk megválaszolni a kloridkötés nyitott kérdéseit: függ-e a szilárdítás módjától, a beton korától, a heterogén cementek esetében a hidraulikus pótlékoktól? Megvizsgáltuk, hogy a kloridionok hatására végbemenő fázisátalakulások hogyan befolyásolják a szilárdságot.

Kulcsszavak: korrózió, gőzölés, Friedel-só, kloridion megkötő képesség

1. BEVEZETÉS

A vasbeton a szerkezetépítés legfontosabb építőanyagává vált, eljutva Monier virágtartó edényeitől és Lambot csónakjától a 100 MPa-nál nagyobb szilárdságú betonból készült magas házakig, és a több száz méter fesztávolságú feszített vasbeton hidakig.

A közúti közlekedés és szállítás megkövetelte, hogy a közutak télen is zavartalanul használhatók legyenek, ezért bevezették az utak téli jégmentesítő sózását (házánkban az 1960-as években). Az utak jégmentesítése céljából azóta is legnagyobb mennyiségben kősót ($NaCl$) szórnak. A betonba a kapilláris pórusokon át behatoló só új igénybevételt jelentett. Megnőtt az acélbetét korróziójának veszélye. Világviszonylatban sok kutatást végeztek annak tisztázására, hogy hogyan lehet a téli jégtelenítő sózás okozta korrózió ellen védeni szerkezeteinket.

A szabályozás is nagyot lépett előre. Az MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés. Az MSZ EN 206-1:2002 alkalmazási feltételei Magyarországon c. szabvány egyrészt korlátozza a beton készítésekor a betonba jutó kloridion mennyiségét, másrészt előírja a tartósságra való méretezést.

2. A KUTATÁS CÉLJA

A kutatás során abból indultunk ki, hogy nem okoz korróziót az a kloridion, amelyet a cement megköt. A kloridkötés feltételeit és várható mértékét próbáltuk feltárni a szakirodalomban megtalálható, valamint a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék korábbi kutatási eredményei segítségével. A kutatás során a legalább 28 napos, megszilárdult beton kloridkötésének feltételeit tanulmányoztuk. Vizsgálatainkhoz három, egymástól lényegesen eltérő összetételű cementet választottunk ki.

Ez a tanulmány e folyóiratban (Vasbetonépítés, 2006/4) megjelent előző cikkünk folytatásának tekinthető, kutatási eredményeink cementekre vonatkozó részeit foglaljuk össze (Kopecskó, 2006).

Az irodalom döntő többsége szerint a portlandcement kalcium-aluminát klinkerásványai (C_3A és C_4AF) kötik meg a kloridionokat. Tisztázandó kérdés volt, hogy a kloridkötés

hogyan függ a cementben mindig jelenlevő gipsztartalomtól. Erre előző cikkünkben adtuk meg a választ. Eltértek a kísérleti körülmények is. A szakirodalmi eredmények nagy víz-cement tényezővel elkészített mintákra vonatkoztak, míg saját kutatásunkban alacsony víz-cement tényezőt alkalmaztunk (a konzisztencia kissé képlekeny volt). Nem vizsgálták a gőzölt (hőérlelt) klinkerásvány pépek, valamint cementpépek kloridkötését és szilárdságát sem. Ezeket a hiányokat igyekeztünk pótolni.

A tiszta portlandcement ásványi összetétele is igen eltérő lehet, ezen kívül a hidraulikus pótlékok (kohósalak, pernye, trasz stb) is befolyásolhatják a kloridkötést. Minthogy vasbeton szerkezeteink jelentős része gőzöléssel szilárdított, tisztázásra várt az is, hogy a gőzölés növeli, vagy csökkenti a kloridion megkötő képességet.

Nem csupán a kémiai folyamatok megismerését tartottuk elsődlegesnek, hanem azt is, hogy ezek a kémiai folyamatok hogyan hatnak a szilárdságra. Cementek esetében a hasítóerő vizsgálata mellett a péptestek kockaszilárdságát is megvizsgáltuk.

Végül célul tűztük ki, hogy használható módszert adjunk a cement által megkötött kloridion mennyiségének meghatározására és annak becslésére, hogy a szerkezetben vizsgálatlal meghatározott kloridtartalom várhatóan okozhat-e korróziót.

3. A SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE

Több kutatómunkában foglalkoztak a keverővízzel betonba kötőgyorsítóként bevitt $CaCl_2$ hatásával. Ennek során azt is vizsgálták, milyen szerepet játszanak a klinkerásványok a kloridion megkötésében (Balázs, 1963; Lea, 1970). A legtöbben arra a következtetésre jutottak, hogy a $C_3A - CaSO_4 - CaCl_2$ rendszerben a Friedel-só ($C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$) a legstabilabb kloridtartalmú vegyület (aluminát-ferrit monosubsztituált fázis, AFm), és a kloridtartalmú aluminát-ferrit trisubsztituált (AFt) fázis ($C_3A \cdot 3CaCl_2 \cdot H_{30}$) normál körülmények között nem keletkezik, és nem is stabil (Tenoutasse, 1967; Cubaud et al. 1968; Schwiete et al. 1969; Szerb-Szerbina et al. 1956).

A cementek hidratációjára vonatkozó szakirodalmat Balázs és munkatársai (1996) foglalták össze a normál körülmények között szilárduló cementek kloridkötését vizsgáló

tanulmányukban (OTKA T 3000, Balázs et al., 1997).

A kloridionok diffúziójával és más transzportfolyamatokkal foglalkozó szakirodalmat Ujhelyi (1992, 2005) foglalta össze OTKA tanulmányban, valamint szakmérnöki egyetemi tankönyvében. E szerint a tömény kloridoldatok (3 mol/l MgCl_2 illetve 3 mol/l CaCl_2) megtámadják a portlandcement betonokat, mert a szabad Ca(OH)_2 -dal bázisos só képeznek [CaCl(OH)]. Ezek a folyamatok előidézhetik a beton kivirágzását is. Telített NaCl oldat hatására Friedel-só képződik, amely némi szilárdságcsökkenést eredményez, de hatása sokkal kisebb mértékű, mint a tömény MgCl_2 vagy a CaCl_2 oldaté. A 75% kohósalakot tartalmazó heterogén cement viszont mindhárom sóoldatnak ellenáll (Smolczyk, 1969).

Ha a portlandcementet részlegesen szilikaporrall helyettesítik, a kloridion megkötő képesség csökken, amit a szilikapor pH-t csökkentő hatásával magyaráznak (Page, Veenessland, 1983). Az ilyen cementekben nagyobb mértékű az acélbetét korróziója, mint a tiszta portlandcementben, hiszen csökken a hidroxilion koncentrációja, valamint a kloridion megkötőni képes hidrát-fázisok mennyisége is. Nagyobb klorid tartalmú cementpépekben a pórusvíz kloridion koncentrációja is nagyobb. NaCl oldat hatására a beton kloridion megkötő képessége ~35%-kal nagyobb, mint CaCl_2 esetén. A karbonátosodás és az átlagosnál nagyobb hőmérsékletű környezet a klorid tartalmú hidrát-fázisok bomlását eredményezi, ezáltal a cementkő kloridion megkötő képessége csökken (Monteiro et al., 1985).

Friedel-só formájában a szabad kloridionoknak csak egy része kötődik meg, a többi a pórusvízben oldott állapotban van jelen. Korróziót csak a pórusvízben lévő oldott kloridionok okoznak (Page, Veenessland, 1983; Midgley et al., 1984). Míg korábban az összes kloridion tartalmat a szabad, tehát a pórusvízben oldott, valamint a kémiaiilag kötött kloridion tartalom összegeként definiálták, újabban a cementkőben kimutatható összes kloridion tartalmat három részre osztják: egy részük a cement hidratációs termékeivel reakcióba lép (ez a kémiaiilag kötött kloridion tartalom); más részük fizikailag, adszorpcióval kötött állapotban van a gélpórusok felületén (fizikailag kötött kloridion tartalom); további részük oldott állapotban van a pórusvízben. Ez utóbbit nevezik szabad kloridion tartalomnak. Az acélbetétek korróziójáért nem az összes kloridion tartalom a felelős, mert csak a szabad kloridionok képesek agresszív reakcióba lépni az acéllal. A kloridionok megoszlása a három lehetséges előfordulási módban nem állandó, hanem az állapotjelzők függvényében egyensúlyi folyamat. Az egyensúlyi állapot miatt a pórusoldatban mindig van szabad kloridion (Neville, 1995; Nilsson et al., 1996).

A cementek összetétele nagymértékben meghatározza kloridion megkötő képességüket, és ez által a betonacél későbbi korrózióját is. Leginkább a C_3A -tartalom és az alkáli-tartalom befolyásolja a kloridion megkötő képességet. A cement C_3A -tartalma úgy fejti ki hatását, hogy hidratálódva Friedel-só, illetve annak vastartalmú analógja formájában kloridionokat köt le, miáltal csökken a pórusvíz egyensúlyi kloridion koncentrációja. Habár az alkáliák jelenléte gátolja a Friedel-só képződését, ez az inhibitor hatás kompenzálódik azáltal, hogy jelenlétükben nagymértékben nő a pórusvíz hidroxilion (OH^-) koncentrációja. Ezáltal csökken a kloridionok hidroxilionokhoz viszonyított mennyisége. Minél kisebb ez a Cl^-/OH^- arány, annál kisebb lesz a korrózió veszélye ($\text{Cl}^-/\text{OH}^- < 0,6$ esetén nincs korróziós veszély). Tehát egy adott cementben a Cl^-/OH^- arány függ a pH-tól, valamint attól, hogy a szilárd fázis mennyi kloridot képes megkötöni (Rasheeduzzafar et al., 1991).

A kloridionok okozta korróziós veszély nemcsak a pórusvíz

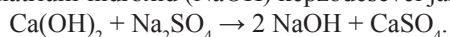
kloridion koncentrációjával, hanem a kloridionok migráció sebességével is arányos a cementpépben.

Több cementtípus esetén meghatározták a kloridion diffúzió mértékét, a Cl^-/OH^- arányt és a betonacél korrózió sebességét. E vizsgálatok szerint a portlandcementeknél a Cl^-/OH^- arány csökken a C_3A tartalom növelésével. Például a 30% pernyét vagy 65% kohósalakot tartalmazó cementnél a Cl^-/OH^- arány kisebb volt, mint bármely tiszta portlandcementnél. Mivel a hidroxilion koncentráció a heterogén cementek esetében kisebb, a Cl^-/OH^- arány csökkenése a hidratációs termékek nagyobb kloridion megkötő képességének tulajdonítható. Megállapították, hogy a kloridion kémiai megkötése és a diffúzió fontos szerepet játszik a kloridionok által kiváltott korrózió korlátozásában (Page et al., 1986).

A kloridion diffúzió mértéke a különböző cementekben a következők szerint változik (Ehtesham Hussain et al, 1994):

kohósalak pc < pernye pc < pc < szulfátálló pc.

Ennek megfelelően a korróziósebesség heterogén cementek esetén kisebb, mint a portlandcement esetén, és jóval kisebb, mint a szulfátálló portlandcement felhasználásakor. Mivel a cementek szulfátállósága ugyanezen sorrendnek megfelelően növekszik, megállapítható, hogy a cementek szulfátállóságának növekedésével nő az acélbetét kloridkorróziós veszélye. Na_2SO_4 jelenlétében a cementpépben megnő a hidroxilion koncentráció, azáltal, hogy a nátrium-szulfát reakcióba lép a hidratáció közben keletkező kalcium-hidroxiddal (Ca(OH)_2), ami nátrium-hidroxid (NaOH) képződésével jár:



A Ca(OH)_2 tartalom csökkenését derivatográfias mérésrel mutatták ki. A Na_2SO_4 adagolás hatására azután megnő a pórusvíz kloridion koncentrációja, mivel a SO_4^{2-} -ionok jelenlétében az ettringit ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) és monoszulfát ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) képződése következtében a Friedel-só képződés háttérbe szorul. Adott kloridion tartalom esetén a Na_2SO_4 a cement ekvivalens alkáli-tartalmától és C_3A tartalmától függően növelheti, vagy csökkentheti a Cl^-/OH^- arányt és ez által a korróziós veszélyt. Megállapították, hogy különbség van a keverővízzel bevitt és a külső forrásból származó kloridionok hatása között. A cement tömegére vonatkoztatott 1%, keverővízzel bevitt NaCl-ból a cement típusától függően annak 28-71%-a lesz kötött állapotban. Mint erre utaltunk, a normál portlandcement több kloridiont köt meg, mint a szulfátálló portlandcement, mivel a szulfátálló cement kisebb C_3A -tartalma következtében kevesebb Friedel-só képződésére van lehetőség. A kohósalak-portlandcement, összetételétől függően, több kloridiont köthet meg, mint a portlandcement, ezt a kutatók az abszorbeált kloridionok mennyiségének növekedésével magyarázzák. A víz-cement tényező növekedésével ugyan csökken a keverővíz kloridion koncentrációja, ennek ellenére nő a megkötött kloridionok mennyisége. Ezt annak tulajdonították, hogy a nagyobb porozitás következtében a kloridionok könnyebben hozzájutnak a cement részecskéihez (Ehtesham Hussain et al., 1994).

A betonba szilárdulás után külső forrásból bejutó kloridionok hatásának vizsgálatára Arya és munkatársai (1990) 6 mm vastagságú és 49 mm átmérőjű korong alakú próbatesteket 2 %-os NaCl oldatban tároltak. Ennek hatására 28 nap után a pórusvíz kloridion koncentrációja gyakorlatilag megegyezett a tárolóoldatával. A nagyobb alkáli-tartalmú cementeknek, a pH növekedés hatására, nagyobb a kloridion megkötő képessége, amit a Friedel-só oldhatóságának csökkenésével és a pórusvíz hidroxilion koncentrációjának növekedésével magyaráznak. Nem találtak különbséget a normál portlandcement és a szulfátálló portlandcement kloridion megkötő képessége

között, amiből azt a következtetést vonták le, hogy a betonba kívülről bejutó klorid megkötésénél a C_3A tartalom szerepe kisebb. A külső forrásból bejutó kloridionok hatására a pernye portlandcement és a kohósalak-portlandcement nagyobb mennyiségű kloridiont kötött meg, mint a normál portlandcement, a különbség azonban nem olyan nagy mértékű, mint a keverővízzel bevitt NaCl esetén. A cement-kiegészítő anyagok közül a szilikaport tartalmazó cementek kloridion megkötő képessége volt a legkisebb. Ebben az esetben a pórusvíz kloridion koncentrációja is kisebb volt (17 g/l Cl⁻), mint a tároló oldaté (20 g/l Cl⁻). A víz-cement tényező növelésével, a betonba szilárdulás után külső forrásból bejutó kloridionok hatására a pórusvíz szabad kloridion koncentrációja nőtt, de a kötött klorid mennyisége változatlan maradt. A kötési idő előrehaladtával a kötött kloridion mennyisége nőtt. Ezt annak tulajdonították, hogy a kloridionok a jelenlévő ettringittel fokozatosan reagálnak Friedel-só keletkezése közben. Amennyiben a külső NaCl oldat koncentrációját megnövelték, mind a szabad, mind a kötött kloridion koncentrációja nőtt, de a $\frac{Cl^-_{kötött}}{Cl^-_{összes}}$ arány csökkent. $CaCl_2$ oldatban tárolásnál (20 g/l Cl⁻) a kötött kloridionok mennyisége 75%-kal volt nagyobb, mint NaCl oldatban tárolás esetén (Arya et al., 1990).

Ben-Yair (1974) kutatásai alapján a megköthető kloridion mennyisége NaCl oldat esetén egy adott portlandcementnél független a keverővíz kloridion koncentrációjától, $CaCl_2$ oldat esetén azonban függ az oldott kloridion mennyiségétől is. Ezt azzal magyarázzák, hogy a NaCl-nak, mielőtt Friedel-sót képezne az aluminátokkal, előbb $CaCl_2$ -dá kell átalakulnia.

Dhir és munkatársai (1996) kloridbehatolással szemben nagy ellenálló képességű betonokat fejlesztettek ki. Ebből a célból kis permeabilitású, minimális hézagterefogatú betonokat terveztek, és olyan kötőanyagokat alkalmaztak, melyek hatásos védelmet nyújtanak a kloridbehatolással szemben. A kötőanyag egyik alkotója az örölt granulált kohósalak volt (ground granulated blastfurnace slag, GGBS). Megállapították, hogy a kohósalak tartalmú kötőanyagból készített cementkőnek nagyobb a kloridion megkötő képessége, mint a kontrollanyagként használt portlandcementből készítettéké, valamint, hogy a kloridion megkötő képesség növekszik a kötőanyag kohósalak tartalmának növelésével. Arra következtettek, hogy a kloridion megkötő képesség növekedését a pépek alumínium-oxid tartalmának növekedése eredményezte. Legfontosabb megállapításuk, hogy minimális porozitású beton esetén a cementmátrix kloridion megkötő képessége válik meghatározó tényezővé a beton kloridbehatolással szembeni ellenálló képességében.

Hooton és munkatársai (2004) megállapították, hogy a szilikaport, vagy szilikapor és örölt granulált kohósalak keverékét tartalmazó hőérlelt betonok ellenálló képessége a kloridion behatolásával szemben nagyobb, mint tiszta portlandcementből készített betonoké. A betonokat 6, illetve 8 órán át érlelték atmoszférikus gőztérben, 65°C-os maximális hőmérsékleten.

Említésre érdemesek azok tapasztalatok, amelyeket Kínában szereztek egy kalcium-szulfóaluminát ($4CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot SO_3$) belit (β - C_2S) és brownmillerit (C_4AF) klinker összetételű cementtel. A klinkerekből 16-25% gipsszel együttörléssel kapott cement nagyon gyorsan szilárdult, és a belőle készített vasbeton a tengervízben az árapály hatásának kitett zónában 14 év után is megfelelő védelmet nyújtott az acélbetéteknek. Ezt annak tulajdonították, hogy ebben – a nagy kristályvíz tartalmú ettringitben gazdagabb – cementkőben az önszikkadás sokkal könnyebben jöhet létre, mint a hagyományos portlandcement betonokban. Így az ilyen állapotba került beton újratelítése vízzel nehezebb, és az ennek következtében létrejövő szárazabb

környezet a fennálló nagy kloridion koncentráció ellenére is fékezi az acélbetét korrózióját (Glasser et al., 2001).

Luo és munkatársai (2003) hagyományos portland cementet, valamint hagyományos portlandcement és 70% örölt granulált kohósalak (GGBS) keverékeit vizsgálták 5% szulfáttal, illetve szulfát nélkül. A vizsgálatok a pórusszerkezet, a kloriddiffúziós együttható, a fizikai és kémiai kloridion megkötési képesség meghatározására irányultak, ezen túlmenően vizsgálták a Friedel-só mikroszerkezetét, kimutatási és kioldási módszereit. Következtetéseik:

- Az örölt granulált kohósalak adagolás javítja a hagyományos portlandcementből készült beton pórusszerkezetét, és nagymértékben csökkenti a kloriddiffúziós együtthatót. A szulfátok nem befolyásolják az ilyen beton pórusszerkezetét, viszont nagymértékben csökkentik a kloriddiffúziós együtthatót.
- A kohósalak hozzáadása nagymértékben növeli, a szulfátok és az alkáliák viszont csökkentik a kloridmegkötő képességet.
- Abból a tényből, hogy a 70% kohósalak tartalmú kötőanyag esetén nagyobb lett a beton kloridmegkötő képessége, arra következtetnek, hogy valószínűleg a kohósalak (GGBS) is képes Friedel-só létrehozására. Megállapítják, hogy bár a C_3A -szulfát reakció a „kedvezményezett” a C_3A -klorid reakcióval szemben, a Friedel-só és az ettringit egymás melletti létezését az elektronmikroszkópos felvételek bizonyítják (Luo et al., 2003).

Összefoglalva megállapítható, hogy a keverővízzel a cementbe bevitt kloridok megkötését befolyásolja a cement típusa, a cement és a cement-kiegészítő anyagok aránya, a kloridionhoz kapcsolódó kation minősége és az összes kloridtartalom. A nagyobb alkáli-tartalom, a pernye és a kohósalak tartalom megnöveli, a szilikapor hozzáadása csökkenti a cement kloridion megkötő képességét.

A cementpépben lévő Cl^- megkötése a v/c tényező növekedésével, a kötési idővel és a hőmérséklettel szintén nő. Hasonló jelenségek figyelhetők meg a betonba szilárdulása után kívülről bejutó kloridionok esetében is. A v/c tényező, a sóoldatba helyezés előtti szilárdulási idő kevésbé, a sóoldatban történő tárolás időtartama és a sóoldat koncentrációja viszont jelentősen befolyásolja a kloridionok megkötését.

Külső kloridion forrás esetén jelentős a kloridionhoz kötődő kation hatása. Telített NaCl oldat hatására Friedel-só képződése némi szilárdságcsökkenést eredményez, de hatása sokkal kisebb mértékű, mint tömény $MgCl_2$ vagy $CaCl_2$ oldat esetén.

4. KÍSÉRLETEK

4.1 A vizsgált cementek

Két eltérő ásványi összetételű portlandcement (közönséges portlandcement és szulfátálló portlandcement) és egy kiegészítő anyag tartalmú cement (40% kohósalak tartalommal) kloridion megkötő képességét tanulmányoztuk.

A szintetikus aluminátokon végzett kísérletekhez hasonlóan (Vasbetonépítés, 2006/4) gőzérleléses és sókezeléses kísérleteket végeztünk a kiválasztott cementekkel.

A kiválasztott cementek ásványtani összetétele lényegesen eltért egymástól. A cementekben különböző volt a szilikát (C_3S és β - C_2S) és aluminát (C_3A és C_4AF) klinkerásványok aránya, valamint a kiegészítő anyagok mennyisége. A cementek kémiai összetételét a 1. táblázat tartalmazza.

A klineralkotók Bogue-szerint számított ásványtani

1. táblázat: A cement minták kémiai összetétele

Össze- tevék, m%	CEM I 42,5 N	CEM III/A 32,5 N	CEM I 32,5 R-S
SiO ₂	19,81	26,41	20,69
Al ₂ O ₃	5,64	6,07	3,61
Fe ₂ O ₃	3,57	1,95	6,10
TiO ₂	0,29	-	0,23
CaO	62,60	52,45	63,40
MgO	1,34	4,37	1,87
K ₂ O	0,61	0,65	0,17
Na ₂ O	0,09	0,17	0,33
SO ₃	2,79	3,08	2,35
Cl	0,02	-	0,01
oldhatatlan maradék	0,22	4,37	0,66

2. táblázat: A cement minták klinkerösszetétele Bogue-szerint számítva, valamint további jellemző adatai

Össze- tevék, m%	CEM I 42,5 N	CEM III/A 32,5 N	CEM I 32,5 R-S
C ₃ S	53,06	31,86	53,36
C ₂ S	16,54	9,92	15,36
C ₃ A	8,78	5,27	0
C ₄ AF	10,85	6,51	29,10
C ₂ F	0	0	0,73
kötésszabályozó	4,74 (CaSO ₄)	3,00 (CaSO ₄)	4,00 (CaSO ₄)
ásványi anyag		40,00 (salak)	
szabad mész	0,12	-	0,45
izzítási veszteség	3,38	2,03	1,00
Modulusok			
SM	2,15	-	2,13
AM	1,58	-	0,59
KST	93,99	-	92,67

Magyarázat: SM – szilikát modulus, AM – alumínát modulus, KST – mésztelítési tényező

összetételét a 2. táblázat tartalmazza. A cementek szulfát-tartalmát nem változtattuk meg, így a cementek esetében a szulfát-adagolás változásának hatását már nem tanulmányoztuk.

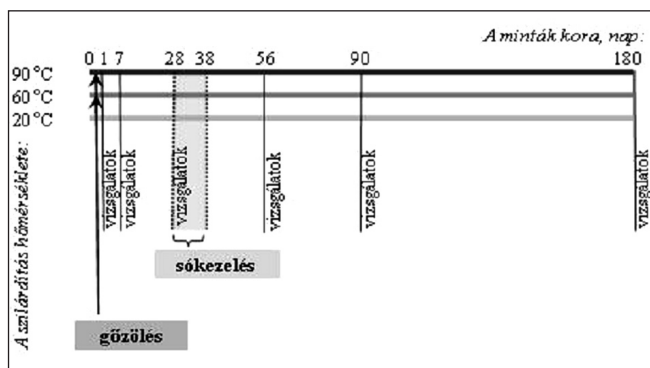
4.2 Kísérleti terv

Az 1. ábrán látható kísérleti terv részleteit a 3. táblázatban foglaltuk össze.

A cementekből a pépmintákat a szabványos (kissé képlékeny) konzisztenciához szükséges vízmennyiség felhasználásával készítettük el, az MSZ EN 196-1 szabványban előírtak szerint (4. táblázat). A cementpépeket 10x10x50 mm-es sablonokba dolgoztuk be. Az 1. és 2. sorozat így előkészített péphasábjait szobahőmérsékleten (22±1°C) tároltuk, közel 100% relatív páratartalmú térben, majd 24 óra természetes szilárdulás után zsaluztuk ki. A péphasábokat ezután hasonló körülmények között (~100% r.p.), exszikkátorban tároltuk tovább.

A 3–6. sorozat péptestjeit 2 órás pihentetést követően 3 órán át gőzöltük 60°C, illetve 90°C hőmérsékletű atmoszférikus nyomású gőztérben. További tárolásuk megegyezett a természetesen szilárdult mintákkal (22±1°C, ~100 % r. p.).

A sókezelés 10%-os NaCl oldatban (10 g NaCl 100ml vizes oldatban) váltakozó tárolást jelentett (24 órán át a sóoldatban, majd 24 órán át 100 % relatív páratartalmú térben). Ezt a sókezelést mind a természetesen szilárdított, mind a gőzölt mintáknál alkalmaztuk 28 és 38 napos kor között (2.,

**1. ábra:** Áttekintő ábra a kísérleti tervről

4. és 6. mintasorozat). A sókezelést követően a hasábokat szobahőmérsékleten (22±1°C) közel 100% relatív páratartalmú térben tároltuk.

A megszilárdult próbatestek hidratációsösszetételét röntgendiffrakciós (XRD) és derivatográfiai (TG/DTG/DTA) fázisanalitikai módszerekkel vizsgáltuk meg. Ezen kívül pásztázó elektron mikroszkópos (SEM) vizsgálatokat végeztünk, valamint a pépminták hasító-húzó, valamint nyomószilárdságának változását is tanulmányoztuk az idő függvényében.

3. táblázat: Kísérleti terv

Sorozat	Kísérleti körülmények és kezelések
1.	szilárdulás 22°C-on
2.	szilárdulás 22°C-on, majd sókezelés*
3.	gőzölés 60°C-on
4.	gőzölés 60°C-on, majd sókezelés*
5.	gőzölés 90°C-on
6.	gőzölés 90°C-on, majd sókezelés*

* a sókezelés 28 és 38 napos kor között

4. táblázat: A vizsgált cemenpépek víz/cement tényező

Cement	Víz/cement tényező
CEM I 42,5 N	0,280
CEM III/A 32,5 N	0,305
CEM I 32,5 RS	0,260

A kísérletsorozat zárásaként kiegészítő vizsgálatokat végeztünk tiszta, őrölt granulált kohósalakkal, hogy közvetlen módon bebizonyítsuk a kohósalak tartalom szerepét a cementek kloridion megkötő képességében. A kohósalakot 8 órán át gőzöltük 80°C-on. A minták részben hozzáadott szulfátok nélkül, részben 5% gipsz hozzáadásával készültek. A megszilárdult mintákat folyamatos sókezelésnek vetettük alá, ami 10 %-os sóoldatban történő tárolást jelentett 6 és 10 napos kor között. A mintákat a sókezelés előtt (6 napos korban), valamint a sókezelést követően vizsgálatuk (18 napos korban).

5. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1 A fázisanalitikai vizsgálatok eredményei

5.1.1 A sókezelt cementpép minták röntgendiffrakciós vizsgálati eredményei

A sókezelés módját a 4.2 fejezetben ismertettük. A sókezelt cementpép minták röntgendiffrakciós vizsgálatát elsősorban a sókezelés előtti és utáni hidratációs állapot minőségi

elemzésére használtuk fel. A röntgendiffraktogramok értékeléséből arra a következtetésre jutottunk, hogy a hidratált (természetesen szilárdult vagy gőzölt), majd sókezelt cementpép mintákban Friedel-só ($C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$) keletkezik a kloridionok megkötése által, ugyanakkor a cementek hidratációja során a másik kloridtartalmú AFm fázist, a Kuzel-sót ($C_3A \cdot 0,5CaSO_4 \cdot 0,5CaCl_2 \cdot H_{12}$) nem lehetett kimutatni. A Friedel-só reflexiói közül az azonosításra legalkalmasabb reflexiót a CEM I 42,5 N cement 90 napos korú mintájáról készített röntgendiffraktogramon mutatjuk be (2. ábra).

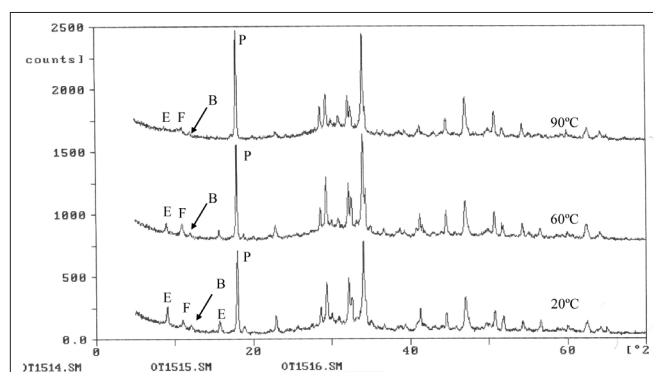
A 180 napos, gőzöléssel szilárdított mintákban az ettringit mellett általában már megfigelmerhető a másik szulfáttartalmú aluminát-hidrát-fázis, a monoszulfát jelenléte. A monoszulfát képződése a gőzölt mintákban hamarabb elkezdődik.

A gőzölt mintákban a Friedel-só röntgendiffrakciós vonalai intenzívebbek. A sókezelt mintákban az ettringit intenzitása is nagyobb, mint a sókezelés-mentes mintákban. Ez a kloridionok megkötésekor, a monoszulfát $\rightarrow$ Friedel-só átalakulás során felszabaduló szulfácionok további reakciójával magyarázható. Ezek a szulfácionok a többi aluminát-tartalmú hidrát-fázissal (pl. monokarbonát, hemikarbonát, monoszulfát) reakcióba lépve másodlagos ettringit képződéshez vezetnek. Az ettringit fázis röntgendiffrakciós intenzitásának növekedését ez a másodlagos ettringit képződés okozza.

5.1.2 A sókezelt cementpép minták derivatográfiai vizsgálati eredményei

A röntgendiffrakciós eredmények Friedel-só keletkezését igazolják a sókezelt cementekben. A 3. ábrán a CEM III/A 32,5 N cementpép minta DTG görbéit mutatjuk be. Az ábrán a három különböző szilárdítású minta eredményei láthatók 90 és 180 napos korban. A Friedel-só összes víztartalmának közelítőleg 40 %-át 120 és 130°C között adja le (4 mól H_2O -t), a maradék 60 %-ot a 310°C-os csúshőmérsékletű dehidratáció során (6 mól H_2O -t). Hasonlóan az aluminátokhoz, a cementpépek esetében is a termogravimetriás tömegvesztések, valamint a Friedel-só vízvesztésének sztöchiometriai összefüggései segítségével számoltuk ki a hidratált mintában a Friedel-só tömegarányát. Az 5. táblázatban a cementkövekben keletkezett Friedel-só mennyiségét mutatjuk be a bemért minták tömegére vonatkoztatva.

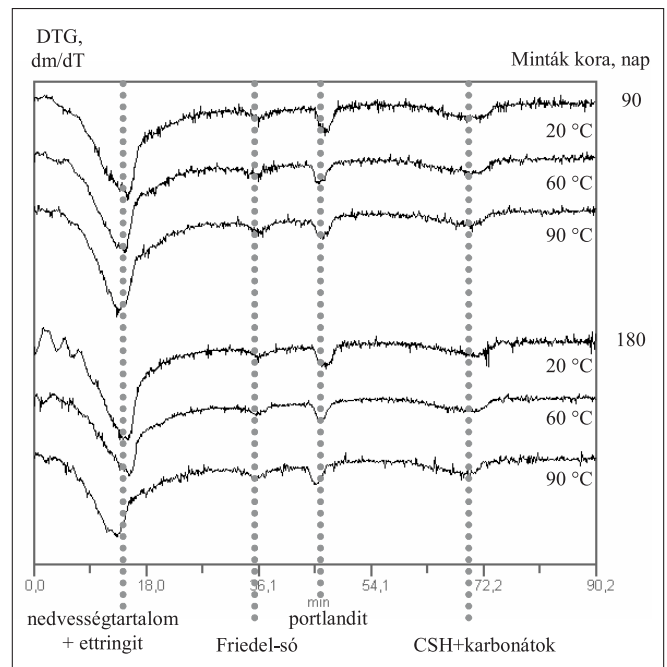
A Friedel-só mennyiségét a cementkémiában szokásos módon, az izzítási maradékra vonatkoztatva is kiszámoltuk (4. a-b-c ábra). Az izzítási maradékra vonatkoztatott eredmények megfelelnek a cement tömegére vonatkoztatott eredményeknek. Megállapítottuk, hogy a 90°C-on gőzölt, 40% kohósalakot tartalmazó CEM III/A 32,5 N cement kötötte meg a legtöbb kloridiont Friedel-só formájában. Ezen túlmenően a Friedel-só mennyisége nagyobb a gőzölt mintákban, mint a természetesen szilárdultakban.



2. ábra: A sókezelés hatása, a CEM I 42,5 N cementpép minta röntgendiffraktogramja, 90 napos minták, sókezelés 28 és 38 napos kor között

Az a cementpép minta kötött meg több kloridiont és keletkezett több Friedel-só, ahol a sókezelés előtti 28 napos korú hidrát-fázisok között már megjelenik a monoszulfát. Ez a fázisátalakulás a 90°C-on gőzölt cementpép minták esetében volt megfigyelhető.

Az általunk vizsgált cementek közül a legtöbb Friedel-sót a CEM III/A 32,5 N 40m% kohósalak tartalmú cementben mutattuk ki, ami azt a feltételezést bizonyítja indirekt módon, hogy nemcsak a C_3A -nak és C_4AF -nek van kloridion megkötő képessége, hanem az örölt, granulált kohósalaknak is. Ennek a feltételezésnek a közvetlen bizonyítására vállalkoztunk a kohósalakkal végzett kiegészítő kísérleteinkkel, melynek eredményeit a 5.4 fejezetben ismertetjük. A legkevesebb kloridiont a CEM I 32,5 RS cement köti meg. Ez a cement nem tartalmazta az aluminát klinkerásványokból a nagyobb reakcióképességű C_3A -t, csak aluminát-ferriteket (C_4AF és C_2F). Eredményeink azokat a kutatókat igazolják, akik a kohósalak portlandcement, ill. a kohósalakcement „tisztá”



3. ábra: A szilárdítás és sókezelés hatása, a CEM III/A 32,5 N cementpép minta DTG görbéi, 90 és 180 napos sókezelt minták

portlandcementénél nagyobb sókorrózióval szembeni ellenálló képességét tapasztalták.

Dhir és munkatársai (1996) heterogén cementeken (blended cement) végeztek kutatásokat. A kötött kloridtartalom mennyiségét közvetett módon állapították meg úgy, hogy a nedves kémiai analitikai módszerrel kimutatható összes kloridtartalom, valamint a vízdoldható (tehát nem kémiai módon kötött) kloridtartalom különbségét képezték. Kutatásaikból arra a következtetésre jutottak, hogy a granulált kohósalakot tartalmazó, heterogén cementekből készült pépek kloridion megkötő képessége nagyobb, mint a portlandcement pékéké, valamint ez a különbség nő, ha növelik a kohósalak keverési arányát a cementben. Termoanalitikai mérésekből, közvetlen úton nyert eredményeinkkel fenti következtetések összhangban vannak (Kopeckó-Balázs, 2005). Dhir és munkatársai nem vizsgálták, hogy a kloridkötés növekedése a fázisösszetétellel milyen összefüggésben van.

Az 5. táblázat adataiból, a minták tömegére vonatkoztatott Friedel-só tartalomból és az egyes mérések izzítási veszteségeinek felhasználásával kiszámítottuk az izzított anyag tömegére vonatkoztatott kötött kloridion tartalmat. Ezeket az

értékeket tekinthetjük a cementek tömegére vonatkoztatott kloridion tartalmaknak (6. táblázat).

A 6. táblázatból levonható következtetések: a cementek által kötött kloridion tartalom csökkenő sorrendben mind természetes szilárdulás, mind gőzöléses szilárdítás esetén és tetszőleges korban (180 napos korig vizsgálva) a következő:

- CEM III/A 32,5 N
- CEM I 42,5 N
- CEM I 32,5 R-S.

Ezen túlmenően a gőzölt mintákban a kémiaiilag kötött kloridionok mennyisége nagyobb volt, mint a természetesen szilárdultakban.

5.2 Pásztázó elektronmikroszkópos megfigyelések

Morfológiai vizsgálatokat végeztünk a CEM III/A 32,5 cement különböző szilárdítású és kezelésű, 180 napos korú cementpép mintáin.

A pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) módszer alkalmazásának célja a Friedel-só jelenlétének igazolása és morfológiai tanulmányozása. Ehhez felhasználtuk a szakirodalomban megtalálható morfológiai leírásokat és SEM felvételeket.

A fázisok morfológiai azonosításához segítségünkre volt Rickert (2004) ESEM felvétel sorozata, valamint ezek értékelése. Rickert 1:1 víz-klinker arány (víz/„cement” tényező: 1) esetén vizsgálta klinkerpépek hidratációját, valamint kötéseleltető adalékszer hatását a klinkerpépek hidratációjára,

Birnin-Yauri és Glasser (1998) oldatból kikristályosított, szintetikus előállított Friedel-sóról mutatnak be elektronmikroszkópos felvételt. Megállapítják, hogy hexagonális vagy pszeudo-hexagonális lemezes szerkezet jellemző a kloridtartalmú AFm fázisra. Luo és munkatársai (2003) SEM felvételeket közölnek a Friedel-sóról, leírják morfológiáját, valamint összehasonlítják a hasonló morfológiájú kalcium-hidroxid (portlandit) és az alumínát-hidrátok jellemzőivel.

Az általunk vizsgált minták tömött szövetszerkezetében néhány, 10-100 mikrométer nagyságrendű kapilláris pórust találtunk. A tömött szövetben ép, kifejtett és tanulmányozható kristályokat csak ezekben a pórusokban észleltünk.

A Friedel-só és a kalcium-hidroxid hexagonális rendszerben kristályosodnak. Kristályaikat leginkább a méretük alapján lehet megkülönböztetni. A Friedel-só mérete a cementpépekben néhány mikrométer, viszont a portlandit sokkal nagyobb. Ilyen jól kristályosodott portlandit kristályok láthatók a 5. ábrán

(nagymeretű, lemezes kristályok, felületükön néhány túalakú ettringit kristállyal). A monoszulfát mérete a kettő közé esik, és általában az elsődleges keletkezésű ettringithez társul.

A 6. ábrán 5000-szeres nagyításban látható a sókezelt, 180 napos korú CEM III/A 32,5 cementpép minta részlete. Együtt nőtt lemezes szerkezetű, hexagonális Friedel-só és túalakú ettringit kristályok ismerhetők fel az ábrán. A Friedel-só lemezek morfológiája és mérete megegyezik az irodalmi adatokkal (Luo, Cai, Wang, Huang, 2003) (7. ábra). A kloridtartalmú AFm és a szulfát tartalmú AFt fázis együttes létezése is bizonyítja, hogy a kloridionok megkötésekor a szulfátsóport felszabadulása másodlagos ettringit képződéshez vezet. Friedel-sóhoz hasonló morfológiájú kristályokat a szintén hőérlelt, de nem sókezelt 180 napos korú, CEM III/A 32,5 cementpép mintákban nem találtunk.

5.3 A kohósalak kloridion megkötő képességének vizsgálata

Az általunk vizsgált három cement közül a legtöbb kloridiont a CEM III/A 32,5 N jelű, 40m% kohósalak tartalmú cement köti meg, ami arra enged következtetni, hogy nemcsak a C_3A -nak és C_4AF -nek van kloridion megkötő képessége, hanem az örölt, granulált kohósalaknak is.

A fenti feltételezés bizonyítására kiegészítő kísérleteket végeztünk örölt, granulált kohósalakkal.

A kohósalak feltáródását elősegítheti a lúgos közeg (alkáli-aktiválás) vagy $CaSO_4$ jelenléte. A gipszkő vagy más szulfátforrás (anhidrit, füstgáz- vagy más néven REA-gipsz) szerepe a cementekben rendszerint a kötősszabályozás. A cementpépben a szilikáttartalmú klinkerek (C_3S és C_2S) hidratációja során felszabaduló $Ca(OH)_2$ hatására erősen lúgos (pH=12,3) közeg alakul ki. A kohósalak tartalmú cementekben levő kohósalak hidratációja így ebben a lúgos környezetben megy végbe. A kiegészítő kísérleteket úgy végeztük, hogy a cementpépben kialakuló, erősen lúgos környezettől eltérő körülmények mellett vizsgáltuk a tiszta kohósalak klorid kötését, másrészt a hozzáadott gipszkővel a szulfátok erre gyakorolt hatását is tisztáztuk. A vizsgálat eredménye új megvilágításba helyezheti a manapság még kevésbé széleskörűen alkalmazott, nagyon nagy kohósalak tartalmú cementek felhasználhatóságát.

A kohósalak hidratációjának (szilárdulásának) gyorsítása érdekében, hosszabb időtartamú, 8 órás gőzölést alkalmaztunk 80°C-on. A kísérleti tervet a 4.2 fejezet tartalmazza.

Két kohósalak mintát készítettünk elő gőzölésre:

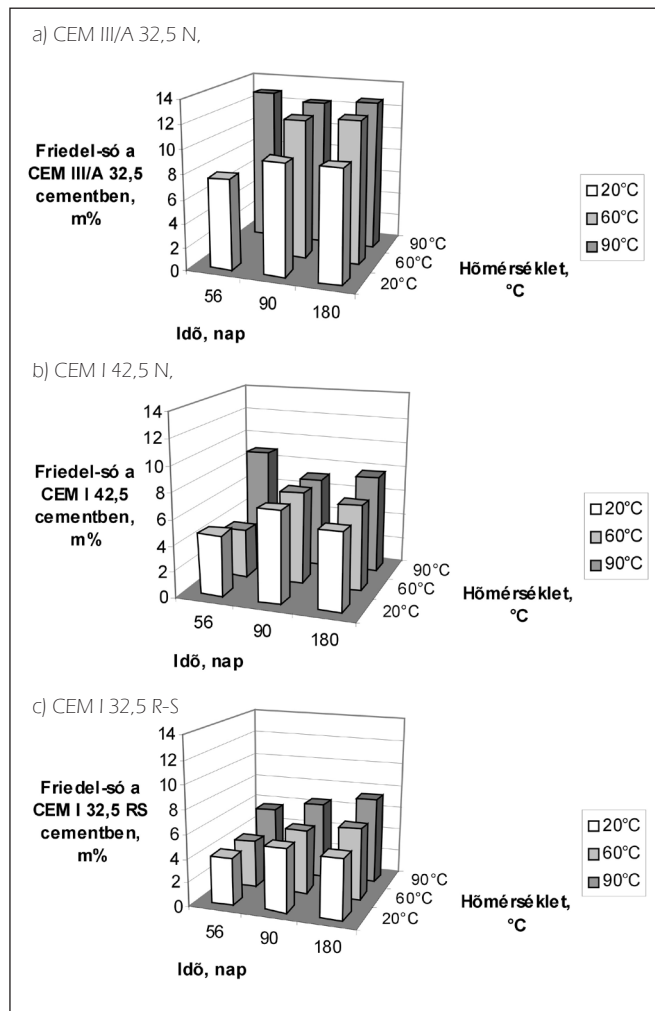
5. táblázat: A $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$ (Friedel-só) mennyisége a sókezelt mintákban, termogravimétrikus tömegvesztésekből számolva, a bemért minták tömegére vonatkoztatva, a minták kora 56, 90 és 180 nap, m%

Cement	Friedel-só mennyisége a cementpép mintákban, m%								
	20°C-on szilárdult, 56nap 90nap 180nap			60°C-on gőzölt, 56nap 90nap 180nap			90°C-on gőzölt, 56nap 90nap 180nap		
CEM I 42,5	3,61	5,34	4,52	2,91	5,67	5,04	6,97	4,78	5,88
CEM III/A 32,5	6,14	7,12	7,07	–	8,94	9,26	9,72	9,31	9,78
CEM I 32,5 S	3,28	4,21	4,06	3,69	4,37	4,63	4,47	5,15	5,62

6. táblázat: A kémiaiilag kötött kloridion tartalom a $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$ (Friedel-só) tartalomából számolva, a cementek tömegére vonatkoztatva, a minták kora 56, 90 és 180 nap, m%

Cement	A kötött kloridion-tartalom a cement tömegére vonatkoztatva, m%								
	20°C-on szilárdult, 56nap 90nap 180nap			60°C-on gőzölt, 56nap 90nap 180nap			90°C-on gőzölt, 56nap 90nap 180nap		
CEM I 42,5	0,60	0,89	0,76	0,47	0,90	0,84	1,13	0,90	0,98
CEM III/A 32,5	0,96	1,18	1,18	–	1,45	1,51	1,62	1,55	1,60
CEM I 32,5 S	0,51	0,66	0,63	0,50	0,68	0,76	0,71	0,82	0,93

4. ábra: A Friedel-só mennyisége a minta kora és a szilárdítási hőmérséklet függvényében az izzítási maradékra vonatkoztatva, m%



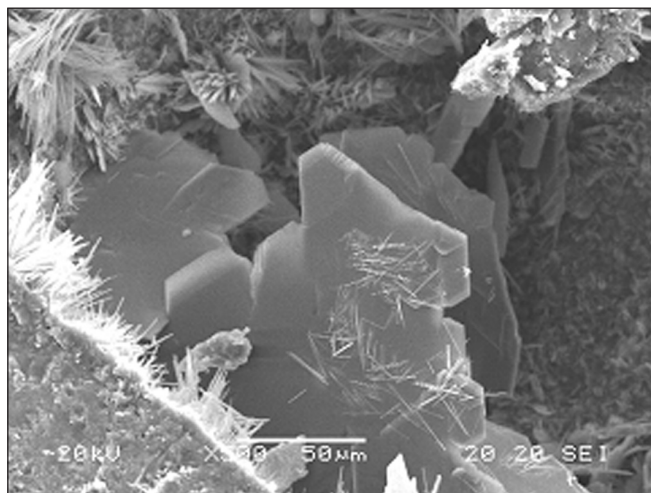
- tiszta őrölt, granulált kohósalakot és
- őrölt, granulált kohósalakot 5m% gipszkő adagolással.

Feltételezéseink bizonyítására elegendőnek találtuk a fenti két mintaösszetétel vizsgálatát, ezért nem vizsgáltunk kohósalak + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tartalmú mintát. A $\text{Ca}(\text{OH})_2$ által teremtett lúgos közegben a kohósalak kloridkötése cementvizsgálataink során közvetve már igazoltuk.

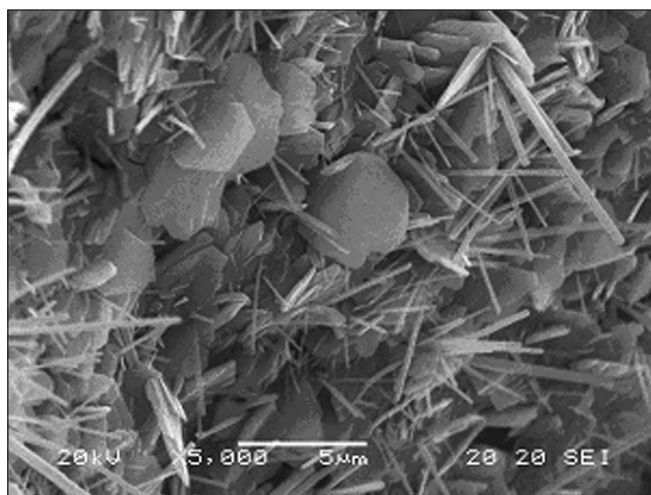
A légszáraz kohósalakról, ezen kívül a hidratált mintákról sókezelés előtt (6 napos korban), valamint sókezelést követően is készültek röntgendiffraktogramok (18 napos korban). A légszáraz és a 6 napos korú, hidratált (gőzölt) kohósalak vizsgálatával a kohósalak szilárdulása közben végbemenő fázisátalakulásokat tanulmányoztuk. A 6 napos korú, hidratált kohósalak és a 18 napos korú, hidratált, majd sókezelte kohósalak vizsgálatával a kloridkötését és az abban résztvevő fázisok átalakulását vizsgáltuk.

A sókezelés után a tiszta kohósalak tartalmú mintáról készült röntgendiffrakciós vizsgálattal a mintában Friedel-sót mutattunk ki, ezen kívül ettringit képződése is tapasztalható, melyhez a kohósalak szulfáttartalmú komponenseinek hidratálódása járul hozzá (8. ábra).

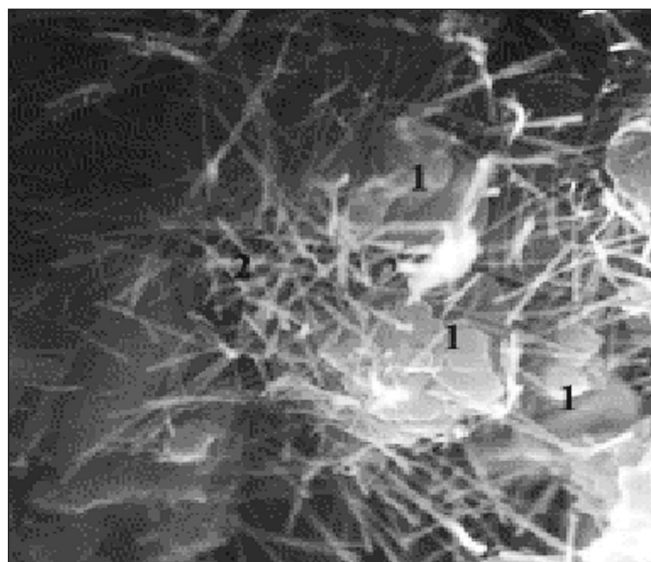
A másik, 5m% gipszet is tartalmazó kohósalak mintában a sókezelést követően, a 6 napos mintához képest, a reagálatlan gipsz intenzitása közel felére csökkent. Ugyanakkor a sókezelte mintában a gipsz 9. ábrán bejelölt csúcsának kiszélesedése, valamint a többi hozzá tartozó, kis intenzitású csúcsával együtt már az ugyanott jelentkező Friedel-só reflexiót jelzi. Az ettringit is megjelenik gyenge intenzitással. A hozzáadott szulfátok jelenlétében a kohósalak klorid tartalmú fázisa kisebb intenzitással jelentkezik, mint a gipszkő nélkül elkészített



5. ábra: CEM III/A 32,5 cementpép SEM felvétele, nagyítás: 500x, 20°C-on szilárdult, sókezelte, 180 napos



6. ábra: CEM III/A 32,5 cementpép SEM felvétele, 20°C-on szilárdult, sókezelte, 180 napos, nagyítás: 5000x



7. ábra: Friedel-só 70 m% kohósalakot tartalmazó cementpép mintában, nagyítás: 5000x (Luo, Cai, Wang, Huang, 2003)
Jelölések: 1 - Friedel-só, 2 - ettringit

minta esetében. Ebből arra következtettünk, hogy a kohósalak kloridion megkötő képességét a szulfátok jelenléte rontja.

A röntgendiffrakciós módszerrel a kristályos állapotú fázisok vizsgálhatók. A hidratálatlan és a hidratált kohósalak minták röntgendiffraktogramjait összehasonlítva megállapítottuk, hogy a kristályos fázisok főként szilikátásványok, aluminát tartalmú fázist a kristályos fázisok között nem találtunk. A Friedel-só képződéshez azonban valamilyen aluminát tartalmú fázisnak

hidratálódnia kell. A kohósalak röntgendiffraktogramjain jelentős amorf terület (az alapvonal dombszerű megemelkedése) figyelhető meg. Ez amorf (vagy legalább röntgenamorf), üveges állapotú fázisok jelenlétére utal. Mindebből arra következtettünk, hogy a kohósalak alumínium-oxid tartalma ebben az üveges fázisban található, és ennek az üveges, alumínát tartalmú fázisnak a hidratációja járul hozzá a kloridtartalmú alumináthidrátnak, a Friedel-só létrejöttéhez.

Fenti vizsgálatok kiértékelése alapján összefoglalóan a következőket állapítottuk meg: a kohósalakon végzett kísérletekkel igazoltuk azt a feltételezést, hogy a kohósalak tartalmú cementben a nagyobb mértékű kloridion megkötő képesség a kohósalak tartalomnak tulajdonítható. Bebizonyítottuk, hogy a gőzöléssel szilárdított, őrölt, granulált kohósalak önmaga is képes megkötni a kloridionokat, tehát akkor is, ha hidratációs folyamata nem a cementhidratáció- és szilárdulás során keletkező környezetben megy végbe. A vizsgálatokból arra következtettünk, hogy a kohósalak ezen tulajdonságát az üveges fázis alumínium tartamú összetevőinek hidratációja okozza. Ezen túlmenően megállapítottuk, hogy a szulfátok jelenléte (a kísérletben ez 5 m% gipszkő volt) a kohósalak kloridion megkötő képességét csökkenti.

5.4 A szilárdsági vizsgálatok eredményei

5.4.1 A hasító-húzószilárdsági vizsgálatok eredményei

A hasító-húzószilárdsági vizsgálat eredményeit értékelve összefoglalóan megállapítottuk, hogy a különböző szilárdítási módok és a sókezelés a szabványos folyóssághoz tartozó vízmennyiséggel készített cement pépminták hasító-húzószilárdságát nem befolyásolják jelentősen.

A legszembetűnőbb az, hogy a legnagyobb hasítóerő növekedést az idő függvényében a természetesen szilárduló CEM I 32,5 R-S szulfátálló portlandcement (sókezelés-mentes) pépminta esetében mértük, 56 és 180 napos kor között. A sókezelés csak ennél, a természetesen szilárdult CEM I 32,5 R-S pépmintánál rontotta le a hasító-húzószilárdságot.

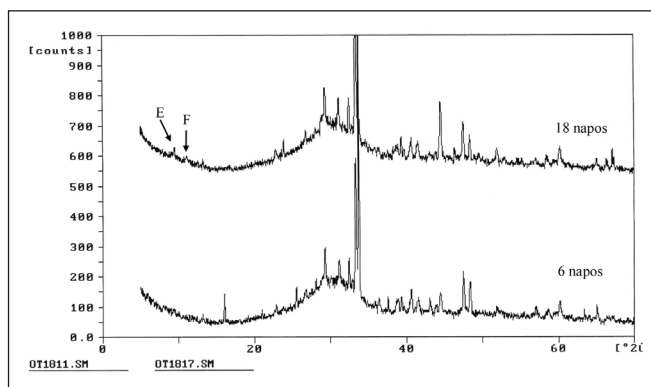
5.4.2 A nyomószilárdsági vizsgálatok eredményei

A nyomószilárdsági vizsgálatokat 20 mm élhosszúságú cementpép kockákon végeztük.

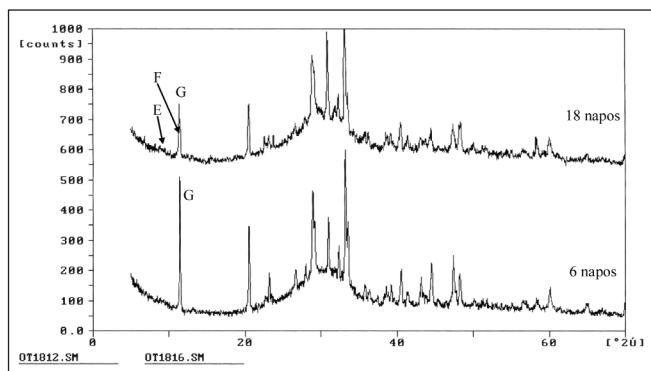
A kockaszilárdság vizsgálati eredményeiből a következőket lehet megállapítani:

- az 1 napos, gőzölt portlandcement (CEM I 42,5 N és CEM I 32,5 R-S) pépminták nyomószilárdsága jóval meghaladja a természetesen szilárdultét,
- 28 napos korra a természetesen szilárdult pépek és a 90°C-on gőzölt pépkockák szilárdsága nagyobb, mint a 60°C-on szilárdítotté,
- 180 napos korra a 90°C-on gőzölt pépkockák szilárdsága a legkedvezőbb,
- a sókezelés a 60°C-on szilárdított minták nyomószilárdságát lerontja.

A fázisanalitikai és nyomószilárdsági vizsgálatokat egybevetve arra következtettünk, hogy a sókezelés hatására annak a mintának nem romlik a nyomószilárdsága, amely sókezelés előtt kevesebb ettringitet tartalmazott. Az elsődlegesen, vagy másodlagosan keletkezett ettringit ($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot H_{32}$) triszubsztituált (három SO_4^{2-} kétértékű anionnal szubsztituált) tulajdonsága folytán kevésbé hajlamos anion cserére (egy szulfát két kloridra, $SO_4^{2-} \rightarrow 2 Cl^-$) mint a monoszubsztituált (egy SO_4^{2-} kétértékű anionnal szubsztituált) megfelelője, a



8. ábra: 6 napos korú, gőzölt kohósalak és 18 napos korú, gőzölt, majd sókezelte kohósalak minták röntgendiffraktogramjai
Jelmagyarázat: F – Friedel-só, E – ettringit



9. ábra: 6 napos korú, gőzölt kohósalak + 5m% gipsz minta, valamint 18 napos korú, gőzölt, majd sókezelte kohósalak + 5m% gipsz minta röntgendiffraktogramja
Jelmagyarázat: F – Friedel-só, E – ettringit, G – gipsz

monoszulfát ($C_3A \cdot CaSO_4 \cdot H_{12}$). Ugyanakkor a Friedel-só képződése az ettringitben dúsabb mintákban is bizonyítható, és ez a másodlagos ettringit képződésével (és így duzzadással) járó folyamat a szilárdság csökkenéséhez vezet.

Annak a cementpép mintának volt nagyobb a kloridion megkötő képessége, amelyben a sókezelés előtt, 28 napos korban a hidrát-fázisok között már megjelenik a monoszulfát. Ez a fázisátalakulás a 90°C-on gőzölt cementpép minták esetében volt megfigyelhető. 180 napos korra ezeknek a pépkockáknak a szilárdsága alakult a legkedvezőbbben.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során abból indultunk ki, hogy nem okoz korróziót az a kloridion, amelyet a cement megköt. A beton technológiával elérhető, a kloridionok vándorlása szempontjából legkedvezőtlenebb fizikai paraméterek elérése esetén a kloridionok behatolását az acélbetétig már csak egyetlen tényező befolyásolhatja, a kialakult hidrát-fázisok kloridion megkötő képessége (Hooton et al., 2004).

A kloridkötés feltételeit és várható mértékét próbáltuk feltárni a szakirodalomban megtalálható, valamint a tanszék korábbi kutatási eredményei segítségével. A kutatás során a legalább 28 napos, megszilárdult beton kloridkötésének feltételeit tanulmányoztuk. Vizsgálatainkhoz a következő három, egymástól lényegesen eltérő összetételű cementet választottuk:

- CEM I 42,5 N jelű portlandcementet,
- CEM III/A 32,5 N jelű, 40 m% őrölt granulált kohósalakot tartalmazó cementet és
- CEM I 32,5 RS jelű szulfátálló cementet.

Tekintettel arra, hogy az előregyártott betonelemeket nagyrészt gőzleréléssel szilárdították, fontosnak tartottuk a gőzöléssel szilárdított cementpépek vizsgálatát is.

A kutatás célja annak a kérdésnek a megválaszolása volt, hogy milyen hatása van a cement összetételének és a szilárdítási módoknak a hidratált (megszilárdult) cementkő kloridkötésére?

A kutatásban a fázisátalakulásokkal járó hidratációs folyamatokat derivatográfiai termoanalitikai és röntgendiffrakciós porvizsgálati módszerrel tanulmányoztuk. E két vizsgálati módszer párhuzamos alkalmazása tette lehetővé a bonyolult fázisátalakulásokkal járó folyamatok széleskörű elemzését. Kiegészítő, pásztázó elektronmikroszkópos megfigyeléseket végeztünk 180 napos korú mintákon. A mechanikai tulajdonságok változását péphasábok hasító-húzószilárdsági és pépkockák nyomószilárdsági vizsgálatával követtük.

A téli jégmentesítő sózás modellezésére a természetesen szilárdult, valamint gőzölt péphasábok 28 napos korban, tehát már megszilárdult állapotukban kerültek kölcsönhatásba a kloridionokkal, ekkor kezdődött a sókezelés.

A vizsgálatok alapján a következőket állapítottuk meg:

1. A 90°C-on gőzölt, 40% kohósalakot tartalmazó CEM III/A 32,5 N cement kötötte meg a legtöbb kloridiont Friedel-só formájában. Ezen túlmenően a Friedel-só mennyisége nagyobb a gőzölt mintákban, mint a természetesen szilárdultakban. A vizsgált cementek által megkötött kloridion tartalom csökkenő sorrendben, mind természetes szilárdulás, mind gőzöléses szilárdítás esetén és tetszőleges korban (180 napos korig vizsgálva) a következő:
- CEM III/A 32,5 N
- CEM I 42,5 N
- CEM I 32,5 RS.
2. Kohósalakkal végzett kísérleteinkkel közvetlen módon igazoltuk azt a feltételezést, hogy a kohósalak tartalmú cementek nagyobb mértékű kloridion megkötő képessége a kohósalak tartalomnak tulajdonítható. Bebizonyítottuk, hogy a gőzöléssel szilárdított, őrölt, granulált kohósalak önmaga is képes megkötni a kloridionokat, tehát akkor is, ha a hidratációs folyamat nem a cementszilárdulás során keletkező környezetben megy végbe. A vizsgálatokból arra következtettünk, hogy a kohósalak ezen kedvező tulajdonságát az üveges fázis alumínium-oxid tartalmú összetevőinek hidratációja okozza. Ezen túlmenően megállapítottuk, hogy szulfátadagolás hatására a kohósalak kloridion megkötő képessége kismértékben csökken.
3. A hasító-húzószilárdsági vizsgálat eredményeit értékelve összefoglalóan megállapítottuk, hogy a különböző szilárdítási módok és a sókezelés a szabványos folyóssághoz tartozó vízmennyiséggel készített cement pépminták hasító-húzószilárdságát nem befolyásolják jelentősen.
4. A fázisanalitikai és nyomószilárdsági vizsgálatokat egybevetve arra következtettünk, hogy a sókezelés hatására akkor nem csökken a nyomószilárdság, ha a cementpép minta sókezelés előtt kevesebb ettringitet tartalmazott. Az elsődlegesen, vagy másodlagosan keletkezett ettringit triszubsztituált (három kétértékű anionnal szubsztituált) jellege folytán kevésbé hajlamos anion cserére (egy szulfát két kloridra), mint a monoszubsztituált megfelelője, a monoszulfát. Ugyanakkor a Friedel-só képződése az ettringitben dúsabb mintákban is bizonyítható, és ez a másodlagos ettringit képződésével (és így duzzadással) járó folyamat a szilárdság csökkenéséhez vezet. Azokban a cementpép mintákban volt nagyobb a kloridion megkötő képesség és a Friedel-só képződés, amelyekben a sókezelés előtt már jelen volt a monoszulfát. Ez a 90°C-on gőzölt cementpép minták esetében volt megfigyelhető. 180 napos korra ezeknek a pépkockáknak a szilárdsága volt a legkedvezőbb.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Megköszönjük az OTKÁ-nak a T 034467 számú, a „Téli sózásnak kitett, gőzölt vasbeton szerkezetek tartósságának elvi kérdései” című kutatási projekt támogatást, valamint a Duna-Dráva Cement Kft-nek és Holcim Hungária Zrt-nek, hogy a kísérletsorozatot támogatta. A szerzők köszönetet mondanak Felszeghy Csabánénak és Kovács S. Bélánénak a minták előkészítésben és a vizsgálatok elvégzésében nyújtott segítségért.

8. HIVATKOZÁSOK

- Arya, C.; Buenfeld, N. R. and Newman, J. B. (1990), „Factors influencing chloride binding in concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 20, pp. 291-300.
- Balázs Gy. (1963), „Betoncszilárdítás a gőzölés és kalcium-klorid együttes alkalmazásával”, *Kandidátusi értekezés*, Budapest, Építőanyagok Tanszék, p. 98.
- Balázs Gy., Csizmadia, J. és Kovács, K. (1996), OTKA T 3000 kutatási jelentés
- Balázs, Gy.; Csizmadia, J. and Kovács, K. (1997), „Analysis of the chloride binding ability of cements”, *Periodica Polytechnica*, Vol. 41 (2), pp. 183-198.
- Ben-Yair, N. I. (1974), „The effect of chlorides on concrete in hot and acid regions”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 4, pp. 405-413.
- Birnin-Yauri, U. A. and Glasser, F. P. (1998) „Friedel's salt, $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_6(\text{Cl},\text{OH})\cdot\text{H}_2\text{O}$: its solid solutions and their role in chloride binding”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, pp. 1713-1723.
- Cubaud, J.; Murat, M. and Eyraud, C. (1968), „Etude par radiocristallographie et analyse thermique différentielle du ciment portland artificiel dopé au chlorure de calcium”, *Revue des Matériaux*, (639), pp. 485-496.
- Dhir, R. K.; El-Mohr, M. A. K. and Dyer, T. D. (1996), „Chloride binding in GGBS concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 26 (12), pp. 1767-1773.
- Ehtesham Hussain, S.; Rasheeduzzafar and Al-Gahtani, A. S. (1994), „Influence of sulfates on chloride binding in cements”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 24, pp. 8-24.
- Glasser, F. P. and Zhang, L. (2001), „High-performance cement matrices based on calcium sulfoaluminate – belite compositions”, *Cement and Concrete Research*, Vol 31 (12), pp. 1881-1886.
- Hooton, R. D. and Titherington, M. P. (2004), „Chloride resistance of high-performance concretes subjected to accelerated curing”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, pp.1561-1567.
- Kopecskó K. (2006), „A gőzölés hatása a cement klinkerek és cementek kloridion megkötő képességére”, PhD értekezés, Budapest 2006, p. 100.
- Kopecskó, K. and Balázs, Gy. (2005), „Chloride ion binding of cement clinkers and cements influenced by steam curing”, *fib Symposium "Structural Concrete and Time"*, La Plata 2005, Vol. 1, pp. 147-154.
- Lea, F. M. (1970), „The chemistry of cement and concrete”, *Bell and Bain Ltd.*, Glasgow, p. 182.
- Luo, R.; Cai, Y.; Wang, C. and Huang, X. (2003), „A study of chloride binding and diffusion in GGBS concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol 33 (1), pp. 1-7.
- Midgley, H. G. and Illston, J. M. (1984), „The penetration of chlorides into hardened cement pastes”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 14, pp. 546-558.
- Monteiro, P. J. M.; Gjorv, O. E. and Mehta, R. K. (1985), „Microstructure of the steel-cement paste interface in the presence of chloride”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 15, pp. 781-784.
- Neville, A. M. (1995), „Properties of concrete”, *Longman House, Essex, England*, Fourth and Final Edition, pp. 569-571.
- Nilsson, L.-O.; Poulsen, E.; Sandberg, P.; Sørensen, H. E. and Klinghoffer, O. (1996), „HETEK, Chloride penetration into concrete, State-of-the-Art, Transport processes, corrosion initiation, test methods and predictions models”, *The Road Directorate, Copenhagen*, Editor: Frederiksen, J. M., Report No. 53/1996, pp. 14-17.
- Page, C. L. and Veenessland, N. R. (1983), „Pore solution composition and chloride binding capacity of silica-fume cement pastes”, *Materials of Construction*, Vol. 16, pp. 19-25.
- Page, C. L.; Short, N. R. and Holden, W. R. (1986), „The influence of different cements on chloride-induced corrosion of reinforcing steel”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 16, pp. 79-86.
- Rasheeduzzafar; Ehtesham Hussain, S. and Al-Saadoun, S. S. (1991), „Effects of cement composition on chloride binding and corrosion of reinforcing steel in concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 21, pp. 777-794.
- Rieckert, J. (2004), „Zum Einfluss von Langzeitverzögerern auf der Basis von Phosphorsäure auf die Hydratation einzelner Klinkerphasen, Portlandzementklinker und Portlandzemente”, *Schriftenreihe der Zementindustrie*, Heft 65/2005, Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf, pp. 5-6.

- Schwiete, H. E.; Ludwig, U. and Albreck, J. (1969), „Bindung von Kalziumchlorid und Kalziumsulfat bei der Hydratation der aluminatsch-ferritischen Klinkerbestandteile”, *Zement-Kalk-Gips*, Vol. 22, pp. 225-235.
- Smolczyk, H. G. (1969), *Proceedings of the 5th ISCC*, Vol. 3, p: 274.
- Szerb-Szerbina, N. N.; Szavrina, J. A. i Zsurina, V. Sz. (1956), „Obrazovanie gidrohloralaluminatov kalcija i vlijanie ih na sztrukturu cementnogo kamnija”, *Dokladii Akad. Nauk., SzSzSzR*, VIII. Pp. 659-662.
- Tenoutasse, N. (1967), „Untersuchungen über die Kinetik der Hydratation des Tricalciumaluminats in Gegenwart von Calciumsulfat und Calciumchlorid”, *Zement-Kalk-Gips*, Vol. 20, pp. 459-467.
- Ujhelyi, J. (1992), „A betonstruktúra vizsgálati módszerei”, *OTKA 3000*, ÉTI tanulmány, Budapest.
- Ujhelyi, J. (2005), „Betonismeretek”, *egyetemi tankönyv, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Szerkezetépítő Szakmérnöki Szak – Betontechnológia Ágazat*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, pp. 183-187.

9. JELÖLÉSEK

Szilikátkémiai jelölések és megnevezésük:

A = Al_2O_3	alumínium-oxid
C = CaO	kalcium-oxid
F = Fe_2O_3	vas(III)-oxid
S = SiO_2	szilícium-dioxid
H = H_2O	víz

Dr. Balázs György (1926) okl. építőmérnök (1950), a műszaki tudományok doktora (1983), a BME Építőanyagok Tanszékének vezetője (1976-1991), professor emeritus a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén. Fő érdeklődési területei: építőanyagok, betontechnológia, betonelmélet, tartósság, vasbetontörténet.

Dr. Kopecskó Katalin (1961) okl. vegyészmérnök (1990), okl. betontechnológus szakmérnök (2004), PhD (2006). A BME Építőanyagok és Mérnökgeológia

Tanszék adjunktusa. Fő érdeklődési területei: anyagvizsgálat, fázisátalakulások és tartóssági kérdések elemzése derivatográfós termoanalitikai (TG/DTG/DTA) és röntgendiffrakciós porvizsgálati (XRD) módszerekkel. A *fib* Magyar Tagozata és az SZTE tagja.

CHLORIDE BINDING IN CONCRETE

2. CHLORIDE ION BINDING CAPACITY OF STEAM CURED CEMENTSTONES

Dr. Katalin Kopecskó – Prof. György Balázs

The chemically bound chloride ions did not induce corrosion of steel reinforcement. The aim of research was to study the hydration process and the chloride ion binding capacities of cements with different mineralogical composition. Tests were also carried out by the following selected cements to study the influence of steam curing and salt treatment: CEM I/A 42,5 N (OPC) – ordinary Portland cement, CEM III 32,5 N (GGBSC) – blast furnace slag cement (with 40% ground granulated blast furnace slag content), CEM I 32,5 RS (SRPC) – sulphate resistant Portland cement. Samples prepared by the required amount of water to rich the standard consistence (MSZ EN 196-3) were naturally hardened, as well as steam cured (on 60 °C or 90 °C). Salt treatment meant that test samples were subjected to chloride ions at the age of 28 days modelling the influence of de-icing salts. Both the chemically bound chloride ion content and the change of strength were analysed in the function of the age of specimens. The hydration process was studied by thermal analyses (DTA/TG/DTG) and X-ray diffraction (XRD). Hydrated cement samples were studied with thermal tests (TG/DTG/DTA) and XRD at 1, 7, 28, 56, 90 and 180 days of age. SEM photos were taken at 180 days of age. Changes in mechanical properties of cement samples were studied by splitting tensile tests and compressive tests. We have experimentally shown that steam cured cements (concretes) are able to bind more chloride ions than non-steam cured (naturally hardened) cements (concretes). Amount of bound chloride ions is higher in samples steam cured at 90°C compared to samples steam cured at 60°C. Chloride ion binding capacity of tested cements in decreasing sequence (both for steam cured and non-steam cured samples): 1. CEM III/A 32,5 N (GGBSC); 2. CEM I 42,5 N (OPC); 3. CEM I 32,5 RS (SRPC). We have experimentally shown that the improved chloride ion binding capacity of slag Portland cements and slag cements is owing to the chloride ion binding capacity of slag (GGBS).

AZ ERDÉLYI MAGYAR MŰSZAKI TUDOMÁNYOS TÁRSASÁG 2008. ÉVI ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIÁJA

- A *fib* MAGYAR TAGOZATA RÉSZVÉTELEL -

Az EMT tizenkettedik alkalommal rendezte meg 2008. június 12. és 15. között a XII. ÉPKO-t. Az immár hagyományos konferenciát ezúttal is Csíksomlyón, a Jakab Antal Tanulmányi Ház termeiben tartották. A *fib* MT és az EMT kapcsolata évekre tekint vissza. Egyesületünk a most megtartott konferencia támogatóinak egyike volt. A 15 tagú tudományos bizottságban a *fib* MT tagjai közül Farkas György és Balázs L. György kapott helyet.

A résztvevők névsorában szereplő, Romániából és Magyarországról érkezők mellett Szlovákiából, Németországból és Svédországból jött 165 személy közül 15 kollégánk a *fib* MT tagja. Ott volt Csíksomlyón a *fib* MT elnöke és alelnöke, két örökös tiszteletbeli elnöke. A magyarországi és határainkon túli Palotás László-díjasok közül öt kollégánk neve található a résztvevők névsorában.

Az ünnepélyes megnyitó ülésen Hargita megye tanácsa, a MMK, a BME Építésmérnöki és Építőmérnöki Kara, a PTE PMMFK és a KTI képviselői mellett a *fib* MT nevében Balázs L. György köszöntötte a konferenciát. A megnyitó ülésen elnöklő Köllő Gábor megragadta az alkalmat, hogy az EMT és a résztvevők nevében kifejezze jókívánságait abból az alkalomból, hogy Balázs L. György az amszterdami *fib* szimpózium idején tartott szavazás eredményeként a



3. kép: Balázs L. György üdvözlő a konferenciát a megnyitó ünnepségen

nemzetközi szakmai szervezet alelnöke megtisztelő tisztségét töltheti be. Az ÉPKO elnöke ezúttal Dezső Zsigmondnak (Debrecen) adta át azt a kitüntetést, amit korábban Balázs L. György kapott az erdélyi magyar tudományos szervezetekkel való együttműködés elismeréséül.

A plenáris ülés előadásai után a szakmai munka szekciókban folytatódott, amelyek a következő szakterületekhez



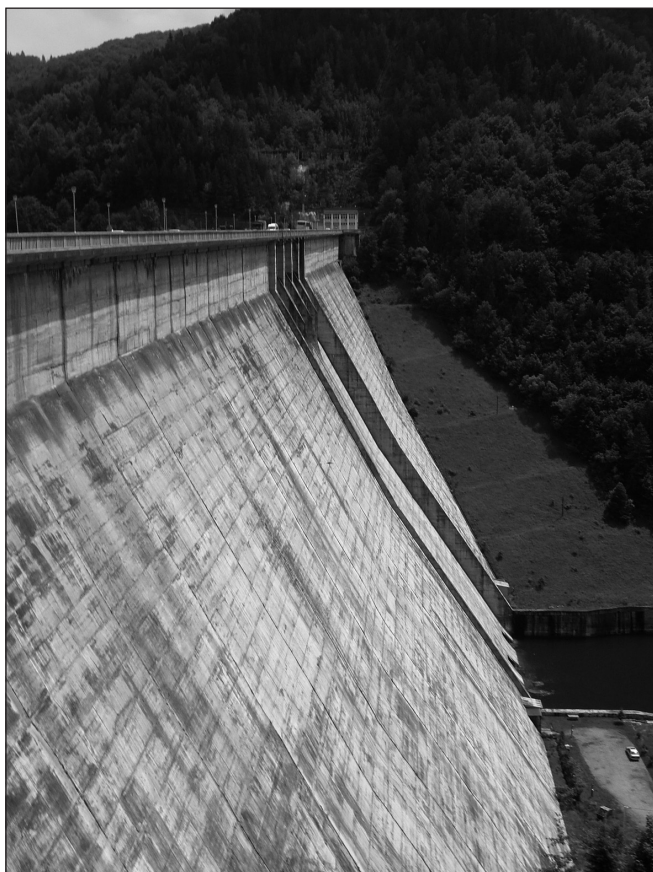
1. kép: A híres csíksomlyói templom a konferencia helyszínéről nézve



2. kép: A Jakab Antal Tanulmányi Ház, a csíksomlyói ÉPKO helyszíne



4. kép: A Békás-szoros részlete



5. kép: A Békási víztározó gátja

kapcsolódtak: Épületszerkezetek, épületrehabilitáció, Közlekedés-építészet, Épületgépészet, Vasbeton szerkezetek. A *fib* MT tagjai közül ülésvezetői feladatot látott el Kopecskó Katalin és Kegyes Csaba.

Az értékes szakmai ismereteket felvonultató ülések anyagát a konferencia kiadványa tartalmazza. Az alábbi irodalomjegyzék a *fib* MT tagjainak közleményeit sorolja fel.

Hasznos eszmecserékre adtak lehetőséget az étkezések, a kávészünetek és az állófogadás. A kulturális program keretében a helyi fiatalokból álló „Szivárvány” táncegyüttes tartott bemutatót.

Mind szakmai, mind közösségi és turisztikai tekintetben mindig érdekesek és hasznosak az ÉPKO egész napos, képzett idegenvezetők által vezetett kirándulások. Ezúttal autóbusszokkal Gyergyószentmiklóson át a páratlan természeti szépségű útvonalon a Gyilkos tóhoz, a csodálatos Békási szoroson át a Békási (Bicaz) völgyzáró gáthoz és vízi erőműhöz vezetett az utunk. Részt vehettünk a víztárolón egy rövid, igen szép sétahajó úton is.



6. kép: Hajóút a Békási víztározón

A konferencia mind szakmai, mind kulturális tekintetben sikeres volt, hasonlóan a korábbi évek ÉPKO-ihoz. További segítséget nyújtott ahhoz, hogy a Kárpát-medence magyar mérnökei közelebb kerüljenek egymáshoz, bemutassák tapasztalataikat, eredményeiket, gondjaikat. Elismerés illeti az EMT elnökét, Köllő Gábort és munkatársait az igen jó szervezésért és a konferencia kitűnő hangulatát biztosító feltételek megteremtéséért. Hasznosnak bizonyult a *fib* MT közreműködése, és ajánlani lehet a tagságnak a jövő évi ÉPKO-n való részvételt.

Dr. Tassi Géza

A képeket Józsa Zsuzsanna készítette.

IRODALOMJEGYZÉK

A konferencia kiadványa: Köllő G. (szerk.) Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, ÉPKO 2008, XII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, Csíksomlyó, 2008 Kolozsvár.

A *fib* Magyar Tagozat tagjainak publikációi:

Barta J.: *A Kőröshegyi völgyhíd – 2. rész. Technológiaváltás építés közben*, pp. 14-19.

Csányi E., Józsa Zs.: *A felületkezelés hatása falburkoló téglák tartósságára*, pp. 38-42.

Józsa Zs., Fenyvesi O.: *Kis zsugorodású beton*, pp. 89-93.

Kegyes Cs., Kegyes-Brassai O.: *Vasbeton földm. dinamikus vizsgálata*, pp. 109-113.

Kegyes Cs., Kegyes-Brassai M.: *Kültéri vasbeton szerkezet károsodása*, pp. 114-118.

Kopecskó K.: *Mielőtt a seccok újjászületnek*, pp. 161-165.

Tassi G., Jancsó Á.: *Egy klasszikus bánati vasbeton híd mai szemmel*, pp. 255-264.

Zsigovics I., Szilágyi K.: *Betontechnológia agresszív környezetbe tervezett objektumokhoz*, pp. 274-283.

Elhangzott még a konferencián:

Lenkei P.: *Az éghajlatváltozások hatása az építőmérnöki feladatokra*.

SZEMÉLYI HÍREK

DR. DALMY TIBOR EMLÉKEZETÉRE

(1930. június 8 – 2008. június 11.)



Dalmy Tibor Állami-díjas, okleveles mérnök értelmiségi családból érkezett, a XX. Század második felének jellegzetes értelmiségi életútját járta be. A háború előtt nagyapja és kardvívó olimpikon nagy-nagybátyja hagyományát követve katonatisztnak készült. Gyerekkorában kiválóan lovagolt. A mérnöki szakma szerencséjére végül édesapja foglalkozását választotta, aki 1956-ig a Debreceni

Vízügyi Igazgatóság szakmailag ismert és elismert főmérnöke volt.

Tibor 1948-ban érettségizett. Az érettségi után még úgy indult Budapestre, hogy történelem szakos tanár lesz, ám hirtelen ötlettől vezérelve, debreceni osztálytársát követve átment Budára és műegyetemi hallgatónak jelentkezett. Műegyetemi tanulmányait kiváló eredménnyel végezte. Hívták a Matematika és a Mechanika Tanszékre is, de ő inkább a Főmterv-et választotta, ahol már korábban, egyetemi hallgatóként is dolgozott. Itt alkotott megszakítás nélkül több, mint negyven évig. Munkabírása, kiváló szakértelme, szakmai hozzáállása hamar kiemelte őt társai közül. Itt vált a fővárosi közlekedési létesítmények tagadhatatlanul legnagyobb ismerőjévé. Itt a vállalatnál ismerte meg feleségét, akivel boldog házasságban élt.

A budapestiek úgy ismerték meg, mint a budapesti Duna-hidak miniszteri biztosát, aki 1977 és 1986 között a Margit híd, a Petőfi híd, a Lánchíd felújítását, majd az Árpád híd szélesítését, legvégül a Lágymányosi Duna-híd építését irányította. Valamennyi munkát határidőben adta át. Jó szervező képessége, határozottsága mai napig legendás történeteket őriz ezekről a munkákról. Különleges egyéniség volt. Az egyik sokat emlegetett történet a Szabadság híd felújítása, amikor 1985-ben, egy augusztus 25-i vasárnap hajnalon a hídra viszszerakított a titokban elkészített nagy Magyar címer. Azt csupán közvetlen környezete tudta, hogy a „teljes rehabilitáció” az ő ötlete volt, ami akkoriban a helyi pártvezérek és a környező országok rosszsallását is kiváltotta. Humorára jellemző, hogy amikor számon kérték rajta a történeteket, ő csupán bemutatta a híd eredeti tervét és megbízó levelét, melyben a megbízó a híd eredeti állapotban történő helyreállítását kérte. A Szabadság híd az ő keze nyomán nyerte vissza eredeti zöld színét és lett újra a város díszé.

Ha Magyarországon a műtárgyakra kötelező lenne feltenni egy emléktáblát a statikus tervező nevével, akkor Tibor nevével nap mint nap találkozhatnánk a fővárosi hidakon és aluljárókon. Többek között az ő nevéhez fűződik a budapesti 2. és 3. metróvonalakhoz épült gyalogos aluljárók újfajta kialakítási rendszere, ahol a hosszú folyosók helyett nagy terek szolgálják még negyven év után is a főváros akadálymentes közlekedését. Az új, nagyterű aluljárók különleges, karcsú oszlopokkal alátámasztott földmrendszerének megalkotása az akkori számítógép nélküli világban hatalmas kihívást jelentett.

Csupán olyan mérnök lehetett sikeres a megalkotásában, akinek a szaktudása rendkívül alapos, ugyanakkor merész és kiváló statikai érzékkel bír.

A gyalogos aluljárókról írt doktori értekezéseért 1971-ben kapta meg a doktori címet. Tudását a BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke által szervezett előadások sorozatában adta át az új mérnök generációknak. Számtalan szakcikke jelent meg, amivel tovább szolgálta szeretett szakmáját.

Munkája elismeréseként 1985-ben Állami Díjjal jutalmazták. A mérnök hallgatók és fiatal mérnökök tudásának fejlesztése terén nyújtott elhivatottságát a Budapesti Műszaki Egyetem címzetes egyetemi tanári címmel honorálta 1988-ban. Ezen kívül számtalan szakmai kitüntetést kapott, többek között megtaláljuk nevét a Munka Érdemrend Arany Fokozata, Jáky-díj, Reitter Ferenc-díj, Magyar Műemlékvédelmi-díj kitüntetettjei között.

1997-ben elkészült a Főmterv-től és öccsével (akinek példaképe, szellemi tanára és 1957-ben két évig apja helyett apja volt) közösen megalapították a Pannon Freyssinet Kft-t, ahol fáradhatatlanul tovább folytatta alkotó munkáját. Ezzel mindkettejük régi álma valósult meg: együtt dolgozhattak. Ez időben a szakmai közélettől barátai, munkatársai sajnálatára visszavonult, már hiába keresték színes egyéniségét a szakmai összejöveteleken. Új munkahelyén egy hatalmas rajztáblán születtek újabb tervei, melyekkel új technológiák hazai bevezetését szolgálta. Keze alatt villámgyors vonalzóknak hozták létre az újabb és újabb részleteket, s bár ő maga hadilábon állt a számítógépekkel, mégis friss szellemével, tapasztalatával senki sem tudott versenyre kelni a tervezésben még számítógéppel sem. A fiatal kollégáknak ő adott iránymutatást a szerkezetek számításához, a tervek kidolgozásához. Minden részletében ismerte a tervezést és a kivitelezést, új cége profiljának megfelelően számtalan – Magyarországon akkor bevezetett - külsőkábeles feszítéssel erősített híd rekonstrukció őrzi nevét.

Főtervezője volt új autópálya, illetve más közúti vasbeton hidaknak. Biztos érzékkel találta ki a hibás talajtámfalak erősítésének módját. A 4. metróvonal tervezésének, építésének kezdete óta a Metró vonalalagút és az állomások szerkezeti terveinek ellenőrzését végezte, a tőle megszokott alapos-sággal. Az utolsók közé tartozott, akik még részt vettek a 2. és 3. metróvonal tervezésében, kivitelezésében. Fejből ismerte valamennyi, a 4. metróhoz kapcsolódó műtárgy részleteit. A tervek hibáit kíméletlenül javította.

Élete utolsó napján a Keleti Pályaudvar metró állomás terveivel foglalkozott és készítette elő a következő nap átnézendő anyagát, amit sajnos már nem tudott befejezni.

Aznapi kapta meg az FKF Zrt. igazgatójának meghívását a Szabadság híd előző rekonstrukciójában résztvevő tervezők, szakértők, kivitelezők összejövetelére, amit örömmel elfogadott, de amelyen már nem tudott részt venni.

A sors különös kegye, hogy élete utolsó napján a számára két legfontosabb létesítményéhez térhetett vissza.

Fáradhatatlan, segítőkész egyéniségét, hatalmas tudását, kiegyensúlyozott viselkedését nem lehet elfelejteni. Vele együtt dolgozni különös kiváltság volt.

Dr. Dalmy Dénes
Borbás Máté

**Megrendelem a negyedévente megjelenő
VASBETONÉPÍTÉS című műszaki folyóiratot.**

NÉV:

CÍM:

TEL.: FAX:

A NYOMTATOTT FOLYÓIRAT

ELŐFIZETÉSI DÍJ: 2008. ÉVRE: 5100 FT + 5% ÁFA ☐

B INTERNET ELÉRÉS

ELŐFIZETÉSI DÍJ 2008. ÉVRE: 5100 FT + 5% ÁFA ☐

AZ ELÉRÉSHEZ SZÜKSÉGES KÓDSZÁM MEGKÜLDÉSÉHEZ
KÉRJÜK AZ ELŐFIZETŐ E-MAIL CÍMÉNEK MEGADÁSÁT

FIZETÉSI MÓD (A MEGFELELŐ VÁLASZT KÉRJÜK JELELJE BE):

☐ ÁTUTALOM A FIB MAGYAR TAGOZAT
(CÍME: 1111 BUDAPEST, BERTALAN LAJOS U. 2.)
14100457-85520449-03000006 SZÁMÚ SZÁMLÁJÁRA.

☐ SZÁMLÁT KÉREK ELJUTTATNI A FENTI CÍMRE

☐ KÉREM AZ ALÁBBI HITELKÁRTYÁRÓL KIEGYENLÍTENI:

KÁRTYASZÁM: KÁRTYA TÍPUSA:

KÁRTYA ÉRVÉNYESSÉGE: ÁTUTALT ÖSSZEG:

DÁTUM: ALÁÍRÁS:

**A MEGRENDELŐLAPOT KITÖLTÉS UTÁN KÉRJÜK
VISSZAKÜLDENI A SZERKESZTŐSÉG CÍMÉRE:**

VASBETONÉPÍTÉS FOLYÓIRAT SZERKESZTŐSÉGE
c/o BME ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MÉRNÖKGEOLÓGIAI TANSZÉK
1111 BUDAPEST, MŰEGYETEM RKP. 3.
TELEFON: 463-4068 FAX: 463-3450

(Ez a lap tetszőlegesen másolható.)