Ára: 1155 Ft

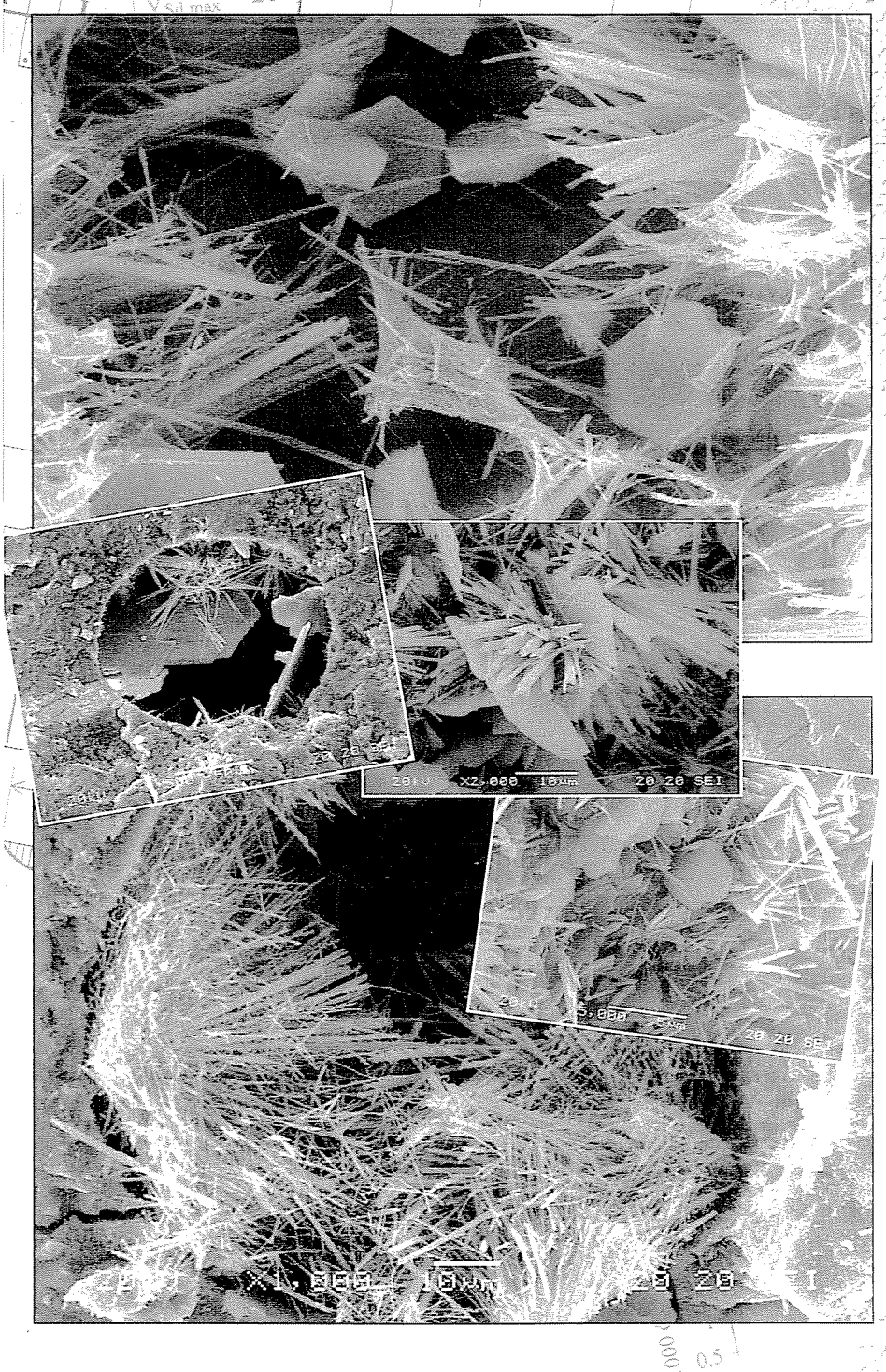
A *fib* MAGYAR TAGOZAT LAPJA

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF *fib*

9 771419 644000 20064



Dr. Kausay Tibor
A friss beton konzisztenciája
106

Dr. Kopecskó Katalin – Dr. Balázs György
Kloridkötés betonban
1. A C_3A és C_4AF aluminát klinkerek kloridion megkötő képessége
116

Majorosné Lublóy Éva – Dr. Balázs L. György
A beton teherviselési módjának hatása a tűzterhelést követő maradó nyomószilárdságra
125

Dr. Németh Ferenc
Vasbeton lemezek nyomaték-görbület összefüggése illinois-i kísérletek alapján
129

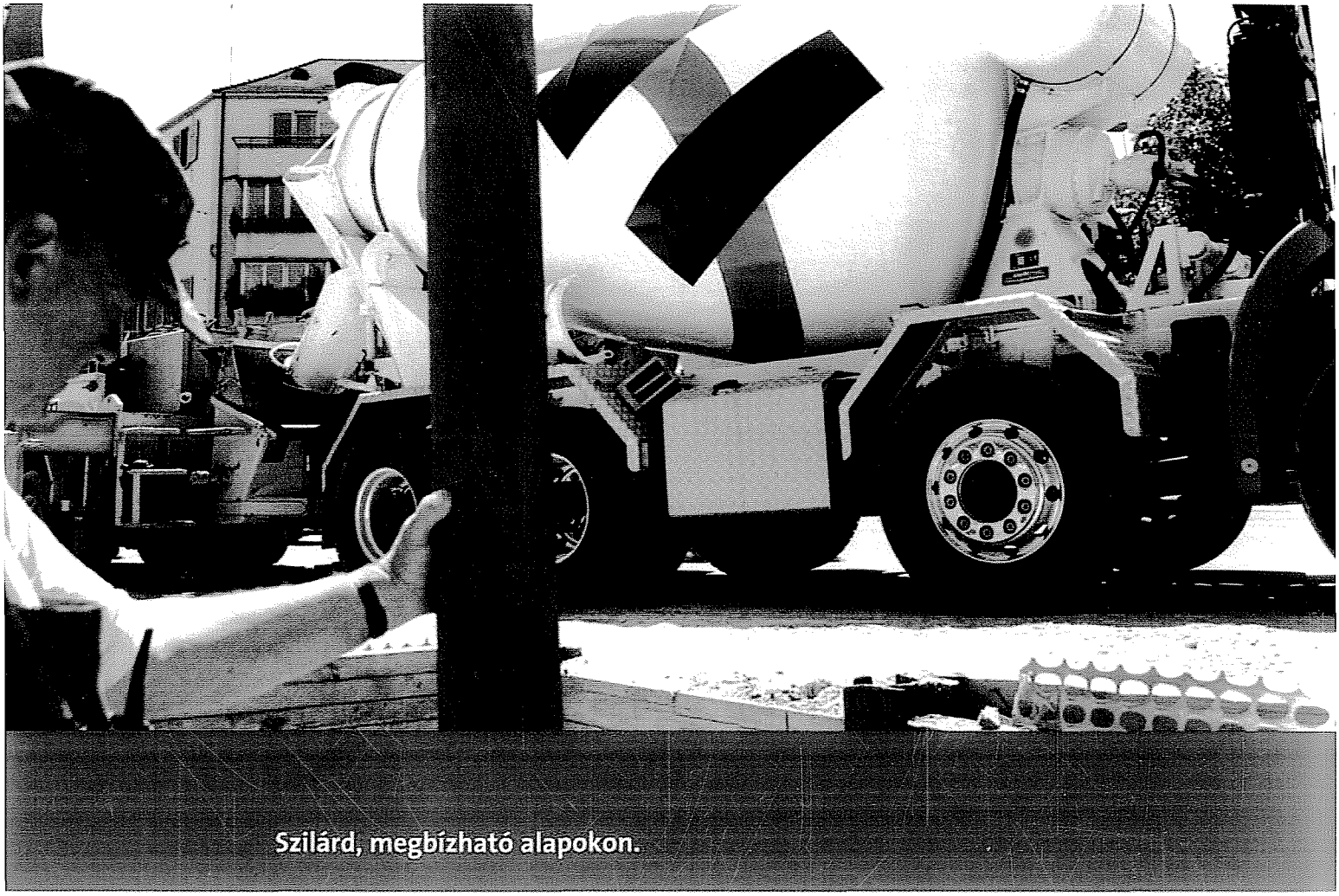
fib **Symposium, Dubrovnik, 2007. május 20-23.**
Betontechnológia szakmérnöki tanfolyam indul 2007. februárban
135

CCC 2005, 2006, 2007, 2008 – A vasbetonépítés középeurópai kongresszusai
136

2006/4

VIII. évfolyam, 4. szám

Holcim



Cement

Alap a jövőhöz

Beton

Anyag [illegible]nyekhez

Holcim Hungária Zrt.
www.holcim.hu

Igazgatóság
H-1037 Budapest,
Montevideo utca 2/c.
1396 Budapest, Pf.: 458
Tel.: +36 1 398 60 00
Fax: +36 1 398 60 13

Hejőcsabai Cementgyár
H-3508 Miskolc,
Fogarasi u. 6.
3501 Miskolc, Pf.: 21
Tel.: +36 46 561 600
Fax: +36 46 561 601

Lábatlani Cementgyár
H-2541 Lábatlan,
Rákóczi út 60.
2541 Lábatlan, Pf.: 17
Tel.: +36 33 542 600
Fax: +36 33 461 953

VASBETONÉPÍTÉS
műszaki folyóirat
a *fib* Magyar Tagozat lapja

CONCRETE STRUCTURES
Journal of the Hungarian Group of *fib*

Főszerkesztő:
Dr. Balázs L. György
Szerkesztő:
Dr. Träger Herbert
Szerkesztőbizottság:
Beluzsár János
Dr. Bódi István
Csányi László
Dr. Csíki Béla
Dr. Erdélyi Attila
Dr. Farkas György
Kolozsi Gyula
Dr. Kovács Károly
Lakatos Ervin
Madaras Botond
Mátyássy László
Polgár László
Telekiné Királyföldi Antonia
Dr. Tóth László
Vörös József
Wellner Péter
Lektori testület:
Dr. Deák György
Dr. Dulácska Endre
Dr. Janzó József
Királyföldi Lajosné
Dr. Knébel Jenő
Dr. Lenkei Péter
Dr. Loykó Miklós
Dr. Madaras Gábor
Dr. Orosz Árpád
Dr. Szalai Kálmán
Dr. Tassi Géza
Dr. Tóth Ernő
(Kéziratok lektorálására más kollégák is felkérést kaphatnak.)

Alapító: a *fib* Magyar Tagozata
Kiadó: a *fib* Magyar Tagozata
(*fib* = Nemzetközi Betonszövetség)
Szerkesztőség:
BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
Tel: 463 4068 Fax: 463 3450
E-mail: fib@eik.bme.hu
WEB http://www.fib.bme.hu
Az internet verzió technikai szerkesztője: Bene László

Nyomdai előkészítés: RONÓ Bt.

Egy példány ára: 1155 Ft
Előfizetési díj egy évre: 4620 Ft
Megjelenik negyedévenként 1000 példányban.

© a *fib* Magyar Tagozata
ISSN 1419-6441
online ISSN: 1586-0361

Hirdetések:
Külső borító: 170 000 Ft+áfa
belső borító: 135 000 Ft+áfa
A hirdetések felvétele:
Tel.: 463-4068, Fax: 463-3450

Címlap:
Pásztázó elektronmikroszkópos felvételek cementkőről
Készítették: Dr. Kopecskó Katalin és Dr. Marthi Katalin

TARTALOMJEGYZÉK

106 Dr. Kausay Tibor
A friss beton konzisztenciája

116 Dr. Kopecskó Katalin – Dr. Balázs György
Kloridkötés betonban
1. A C_3A és C_4AF aluminát klinkerek kloridion megkötő képessége

125 Majorosné Lublóy Éva – Dr. Balázs L. György
A beton teherviselési módjának hatása a tűzterhelést követő maradó nyomószilárdságra

129 Dr. Németh Ferenc
Vasbeton lemezek nyomaték-görbület összefüggése illinois-i kísérletek alapján

135 ***fib* Symposium, Dubrovnik, 2007. május 20-23.**
Betontechnológia szakmérnöki tanfolyam indul 2007. februárban

136 CCC 2005, 2006, 2007, 2008 – A vasbetonépítés közép-európai kongresszusai

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

A FRISS BETON KONZISZTENCIÁJA

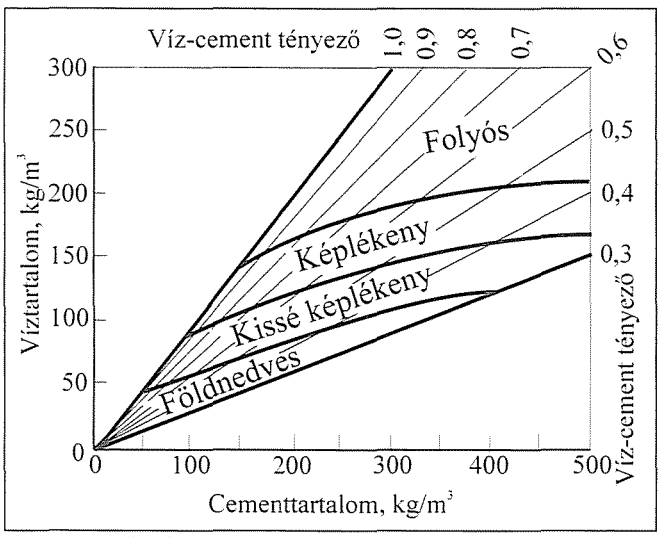
Dr. Kausay Tibor

A konzisztencia a friss beton mozgékonyságának kifejezője, amely nem csak a bedolgozhatóságra, hanem a szilárd beton tulajdonságaira is hatással van. Gyakorlati fogalom, amelynek mérése egzakt módon körülményes, de szabványosított gyakorlati mérési módszerekkel jól kifejezhető. Az új európai betonszabvány az eddigi magyar betonszabványhoz képest megváltoztatta a konzisztencia osztályokat, és a mérési módszerekben is hozott bizonyos változásokat. A konzisztenciamérés hagyománya közel évszázados, de az öntömörödő beton újkori térhódításával új konzisztencia vizsgálati módszerek is megjelentek.

Kulcsszavak: friss beton, öntömörödő beton, konzisztencia, szabvány

1. BEVEZETÉS

A beton-konzisztencia fizikai, a folyadékok viszkozitásával rokon betontechnológiai fogalom, amely a friss beton mozgással szembeni ellenállását, belső súrlódását, alaktartását fejezi ki (Kausay, 2003). A beton konzisztenciája elsősorban a friss beton keverhetőségét, szállíthatóságát, bedolgozhatóságát, tömöríthetőségét, állékonyságát befolyásolja, de hatással van a beton cement- és vízigényére, kötési-szilárdulási folyamatára, zsugorodására, a megszilárdult beton szövetszerkezetére (struktúrájára), szilárdságára is. A friss beton konzisztenciáját a cement minősége, az adalékanyag anyagtani minősége és szemszerkezete, a keverék összetétele, mint például a víz-, cement-, adalékanyag-, finomrész-tartalom befolyásolja. A víz- és cementtartalom hatását az *1. ábra* szemlélteti.

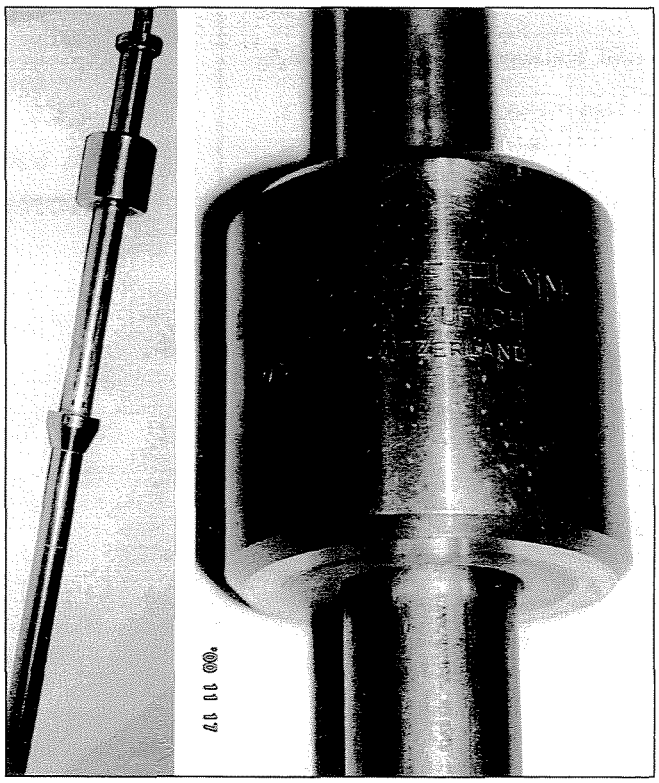


1. ábra: A víz- és cementtartalom hatása a friss beton konzisztenciájára

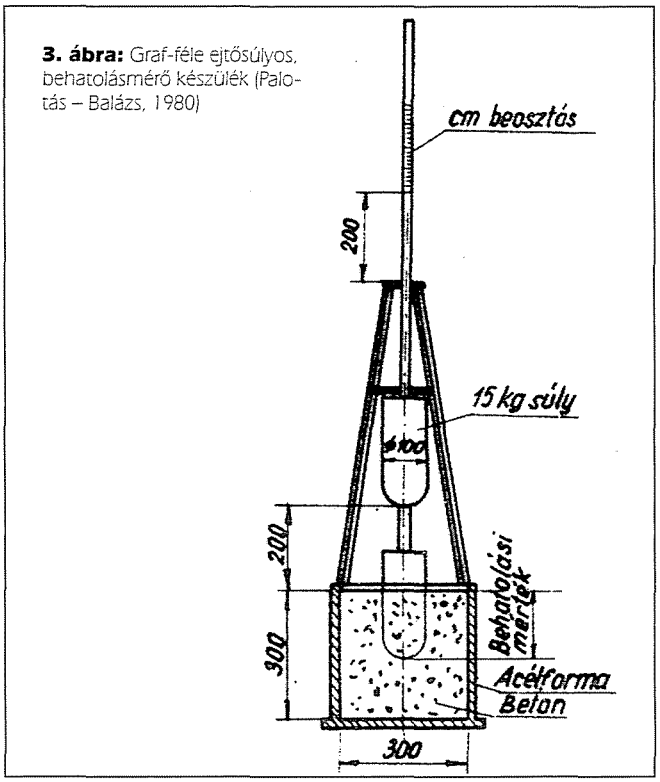
A konzisztencia javítására célszerűen nem a vízadagolást kell növelni, ami a szilárdság, zsugorodás stb. szempontjából káros, hanem képlékenyítő vagy folyósító adalékszert kell alkalmazni.

Az MSZ 4719:1982 „Betonok" című magyar szabvány a földnedves (FN), kissé képlékeny (KK), képlékeny (K), folyós (F) megnevezésű (jelű) konzisztencia osztályokat ismeri. Az MSZ 4719:1982 szabvány vizsgálati módszerként az MSZ 4714-3:1986 „A betonkeverék és a friss beton vizsgálata. A konzisztencia meghatározása" című szabvány eljárásait jelöli meg, amely utóbbi függelékében az FN, KK, K, F jelű konzisztencia osztályok mérőszámainak határértékei is megtalálhatók. Az alig földnedves (AFN) és az önthető (Ö) konzisztencia osztályt az 1978-ig érvényben volt MSZ 4714:1955 vizsgálati szabvány és az 1977-ig érvényben volt MSZ 4719:1958 termék szabvány tartalmazta, de azok egyes nemzeti (például ÖNORM B 4200-10:1983) és nemzetközi (például ISO 4103:1979) szabványokban is szerepeltek, ill. szerepelnek.

Az MSZ 4714-3:1986 szabványban szereplő vizsgálati módszerekkel a *roskadás*, a *terülés*, a *VEBE-méteres átformálási idő*, az *átformálási ütésszám*, a *Glanville*-féle *tömörödés*, a *Humm*-féle *behatolás* határozható meg. A *Humm*-féle behatolási mélység mérő szonda (*2. ábra*) elődjének a *Graf*-féle, máshol *Graf-Humm*-féle néven említett ejtősúlyos, behatolásmérő készülék tekinthető (*3. ábra*), amelynek leírása az MSZ 4714:1955 szabványban szerepelt. Az MSZ 4714:1955 szabvány még a végtelenül egyszerű, és a gyakorló betontechnológusok körében ma is népszerű *„kőműveskanál próbát"* is tárgyalta.



2. ábra: Humm-féle behatolási mélység mérő szonda



3. ábra: Graf-féle ejtősúlyos, behatolásmérő készülék (Palotás – Balázs, 1980)

Az MSZ EN 206-1:2002 „Beton. 1. rész: Feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség" című európai szabvány a konzisztencia osztályokat betű és szám kombinációval jelöli, ahol a betű a vizsgálati módszerre, a szám a konzisztencia jellegére utal. A konzisztencia osztályokat az MSZ EN 12350-2:2000 szabvány szerinti *roskadás*, az MSZ EN 12350-5:2000 szabvány szerinti *terülés*, az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerinti *VEBE-méteres átformálási idő*, az MSZ EN 12350-4:2000 szabvány szerinti (*Walz*-féle) *tömörítés* vizsgálatok mérőszámai határolják be.

Az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány különleges esetekben megengedi, hogy a konzisztencia előírása ne a konzisztencia osztállyal, hanem a konzisztencia mérőszám megadásával történjék, és mind a négy vizsgálati módszerre megadja a konzisztencia jellemző tervezett értékének tűréseit.

Az európai vizsgálati szabványok a konzisztenciamérő eszközök méretét tűréssel adják meg, míg az MSZ 4714-3:1986 szabvány csak a roskadásmérő és a terülésmérő kúpra vonatkozik.

A friss beton alkalmazandó konzisztenciáját a szerkezet jellege, méretei és a betonozás körülményei szabják meg:

Alig földnedves betonnal nagytömegű, vasalatlan vagy gyengén vasalt szerkezetek, például hídpillérek, gátak, támfalak, útbetonok készítése esetén lehet dolgozni. Előnye a kis cementtartalom, kis hőfejlesztés, kis zsugorodási hajlam. Az ilyen beton nem szivattyúzható, a szállítóeszközből sokszor nehezen üríthető, tömörítéséhez nagyon erős vibrátor szükséges. Nem alkalmazható látszóbeton készítéséhez.

A *földnedves beton* vasalatlan és ritkán vasalt szerkezetek készítéséhez használható. Tömörítéséhez vibrátort kell használni (ezt a betont német nyelvterületen „Rüttelbeton"-nak azaz vibrált betonnak is nevezik). Nem alkalmazható látszóbeton készítéséhez.

Kissé képlékeny betonból minden vasalatlan és vasalt szerkezet elkészíthető, ha a vasalás nem különösen sűrű. Tömörítéséhez vibrátort kell használni. Szivattyúzható. Látszóbeton készítésére is alkalmas.

A *képlékeny betont* sűrűn vasalt szerkezetek készítéséhez lehet használni. Gyenge vibrálással is tömöríthető. Felhasználásával nagy kiterjedésű szerkezetek, mechanikai igénybevételeknek kitett betonok, látszóbetonok is készíthetők. Előnye a szivattyúzhatóság, könnyű bedolgozhatóság. Hátránya a nagy cementigény, a szétosztályozódási, zsugorodási, kivérzési hajlam.

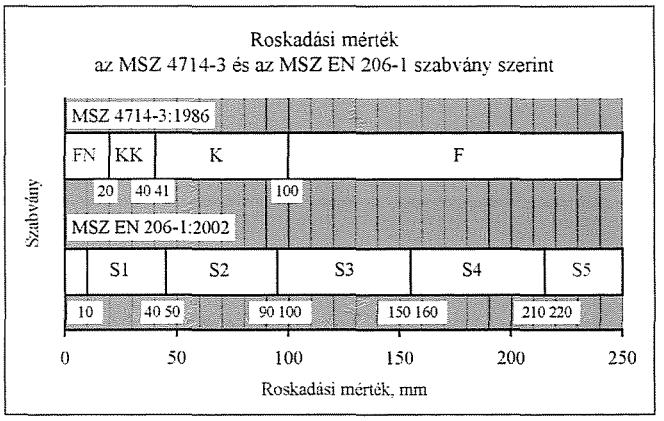
Folyós betonból igen sűrűn vasalt, karcsú, nehezen hozzáférhető szerkezetek is készíthetők. A víz alatti betonozás anyaga. Tömöríteni alig, vagy nem szükséges. Előnye, hogy könnyen szivattyúzható, nehéz körülmények között is gyorsan beépíthető. Hátránya, hogy a folyós beton összetételét igen gondosan kell megtervezni és betartani. Zsugorodása jelentős.

Önthető betonból nagy kiterjedésű szerkezetek gyorsan, könnyen építhetők. Konzisztenciája annyira híg, hogy öntővályúban is eljuttatható a szerkezet minden részébe. Az önthető beton finomrész-tartalma nagy, zsugorodása igen jelentős. Különleges fajtája az önterülő vagy öntömörödő beton, amely az önterülő képességet nem a nagy vízadagolásnak, hanem a különleges összetételnek köszönheti, miáltal mentes az önthető beton egyébként hátrányos tulajdonságaitól.

2. ROSKADÁSI MÉRTÉK

A roskadási mérték a régóta és legelterjedtebben használatos konzisztencia jellemzők egyike, amely más konzisztencia jellemzők mellett alapul szolgál a beton MSZ 4719:1982 és MSZ EN 206-1:2002 szabványok szerinti konzisztencia osztályainak meghatározásához. A roskadási mérték vizsgálatát a beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint kellett, és az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ EN 12350-2:2000 európai szabvány szerint kell végezni.

A roskadási osztály betűjele az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint „S". A korábbi magyar és az európai roskadási osztályokat a *4. ábrán* vetjük össze.

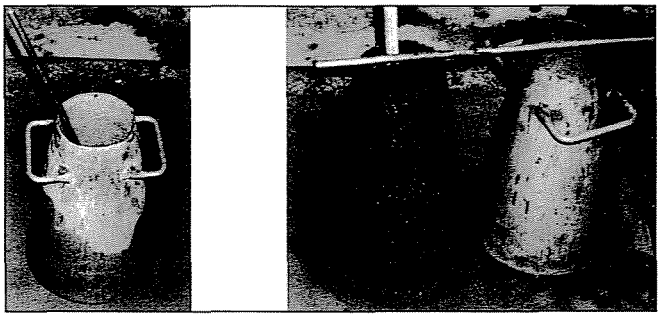


4. ábra: A korábbi magyar és az európai roskadási osztályok összevetése

A roskadásmérés eszköze mind a nemzeti, mind az európai vizsgálati módszer esetén a roskadásmérő csonka-kúp forma, amelynek átmérője alul 200 mm, felül 100 mm, és magassága 300 mm, térfogata 5498 cm^3 (*5. ábra*). A terülésmérő csonka-kúp ennél alacsonyabb és kisebb térfogatú (*7. ábra*). A szabványos roskadásmérő csonka-kúp formát *Abrams-féle kúpnak is nevezik*, és más konzisztencia vizsgálati módszerekhez, például a hazánkban szabványos ejtőkengyeles ütésszám, és a hazánkban és Európában is szabványos VEBE-méteres átformálás méréséhez is alkalmazzák.

A roskadásmérés MSZ 4714-3:1986 és MSZ EN 12350-2:2000 szabvány szerinti módszerei között van bizonyos eltérés.

A két szabvány eltérően ítéli meg a vizsgálat alkalmazhatóságát. Az MSZ 4714-3:1986 szabvány az FN földnedves, az



5. ábra: Roskadásmérés

MSZ EN 12350-2:2000 és az MSZ EN 206-1:2002 szabvány az S5 konzisztencia osztályú beton esetén tartja a módszert pontatlannak, de az S5 osztály alsó határértékeként kissé eltérő számokat adnak meg. Az MSZ EN 12350-2:2000 szabvány szerint a módszer akkor alkalmazható, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága nem nagyobb, mint 40 mm.

Az MSZ EN 12350-2:2000 szabványban csak a fenti méretű csonka-kúp szerepel, az MSZ 4714-3:1986 szabvány a 32 mm $< d_{max} \leq 63$ mm esetre másfélszeres méretű kúp használatát írja elő.

Az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a csonka-kúpot négy rétegben kell megtölteni betonnal, és összesen 4·25=100 szúrással kell tömöríteni, MSZ EN 12350-2:2000 szabvány szerint a csonka-kúpot három rétegben kell megtölteni betonnal, és összesen 3·25=75 szúrással kell tömöríteni.

Az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a roskadást 1 mm pontossággal, az MSZ EN 12350-2:2000 szabvány szerint 10 mm pontossággal kell megmérni.

A mértékadó vizsgálati eredményt az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint két mérés számtani átlaga, vagy nagy eltérés esetén új átlagmintákkal végzett három mérés számtani átlaga adja, míg az MSZ EN 12350-2:2000 szabvány egy mérés eredményét is elfogadhatja, de hibás mérés esetére legfeljebb egy ismétlést ír elő.

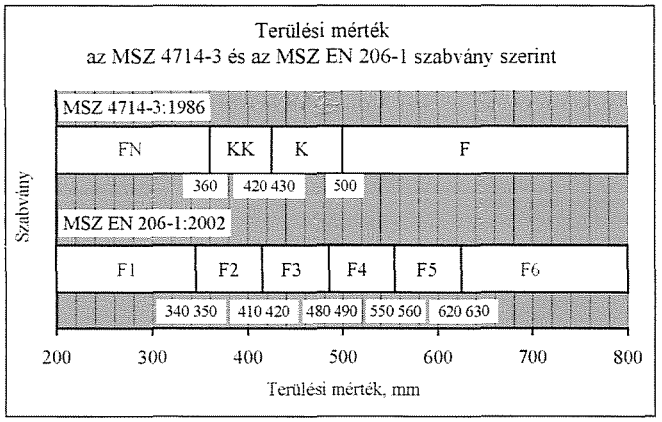
Az ismétlési (ismételhetőségi) és az összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltételeket az MSZ EN 12350-2:2000 szabvány egyes mérések és két mérésből álló vizsgálatok esetére tárgyalja, az MSZ 4714-3:1986 szabvány a fogalomkört nem ismeri.

Az ASTM C 995:1991 érdekes módon a $d_{max} \leq 40$ mm legnagyobb szemnagyságú, nem folyós, *szálerősítésű betonok* konzisztenciájának méréséhez alátámasztott, kisebb nyílásával lefelé fordított, szabványos *Abrams*-féle kúpot alkalmaz. Az USA szabvány a szálerősítésű betonok konzisztenciáját a beton, a tölcsérszerűen elhelyezett *Abrams*-kúpból, vibrálás hatására való kifolyásának idejével jellemzi. Ez azért indokolt eljárás, mert a hagyományos roskadásmérési módszer a szálerősítésű betonok konzisztenciamérésére nem igazán alkalmas (Kausay, 1999).

3. TERÜLÉSI MÉRTÉK

A terülési mérték a régóta és legelterjedtebben használatos konzisztencia jellemzők egyike, amely más konzisztencia jellemzők mellett alapul szolgál a beton MSZ 4719:1982 és MSZ EN 206-1:2002 szabványok szerinti konzisztencia osztályainak meghatározásához. A terülési mérték vizsgálatát a beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint kellett, és az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ EN 12350-5:2000 európai szabvány szerint kell végezni.

A terülési osztály betűjele az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint „F". A korábbi magyar és az európai terülési osztályokat a *6. ábrán* vetjük össze.



6. ábra: A korábbi magyar és az európai terülési osztályok összevetése

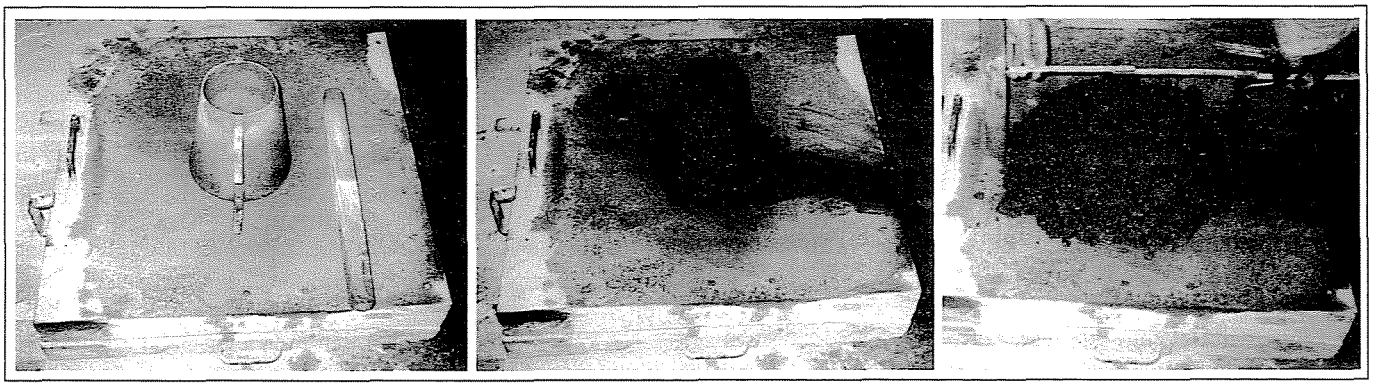
A terülésmérés eszközei mind a nemzeti, mind az európai vizsgálati módszer esetén a terülésmérő ejtőasztal és csonka-kúp forma. A terülésmérő ejtőasztal lapmérete 700·700 mm, és az egyik oldalon 40 mm magasan megemelhető. A terülésmérő csonka-kúp forma átmérője alul 200 mm, felül 130 mm, és magassága 200 mm, térfogata 4341 cm^3 (*7. ábra)*. A roskadásmérő csonka-kúp ennél magasabb és nagyobb térfogatú (*5. ábra*).

A terülésmérés MSZ 4714-3:1986 és MSZ EN 12350-5:2000 szabvány szerinti módszerei között van bizonyos eltérés.

Mind a két szabvány pontatlannak tartja a módszert az FN, illetőleg F1 földnedves konzisztenciák tartományában, az MSZ EN 12350-5:2000 és az MSZ EN 206-1:2002 szabvány az F6 osztályban is, de az F6 osztály alsó határértékeként kissé eltérő számokat adnak meg. Az MSZ EN 12350-5:2000 szabvány szerint a módszer akkor alkalmazható, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága nem nagyobb, mint 63 mm.

Az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a terülést 1,0 cm pontossággal, az MSZ EN 12350-5:2000 szabvány szerint 10 mm pontossággal kell megmérni, ami ugyanaz, de a mértékegység más, tehát a terülés mérőszáma a jövőben az eddiginek tízszerese.

7. ábra: Terülésmérés



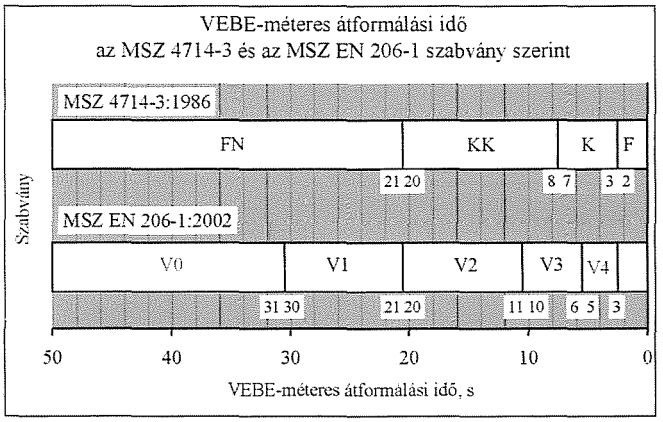
A mértékadó vizsgálati eredményt az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint két mérés számtani átlaga, vagy nagy eltérés esetén új átlagmintákkal végzett három mérés számtani átlaga adja, míg az MSZ EN 12350-5:2000 szabvány egy mérés eredményét is elfogadhatja, de hibás mérés esetére ismétlést ír elő.

Az ismétlési (ismételhetőségi) és az összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltételeket az MSZ EN 12350-5:2000 szabvány egyes mérések esetére tárgyalja, az MSZ 4714-3:1986 szabvány a fogalomkört nem ismeri.

4. VEBE-MÉTERES ÁTFORMÁLÁSI IDŐ

A VEBE-méteres átformálási idő a hagyományokkal rendelkező konzisztencia jellemzők egyike, amely más konzisztencia jellemzők mellett alapul szolgál a beton MSZ 4719:1982 és MSZ EN 206-1:2002 szabványok szerinti konzisztencia osztályainak meghatározásához. A VEBE-méteres átformálás vizsgálatát a beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint kellett, és az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ EN 12350-3:2000 európai szabvány szerint kell végezni.

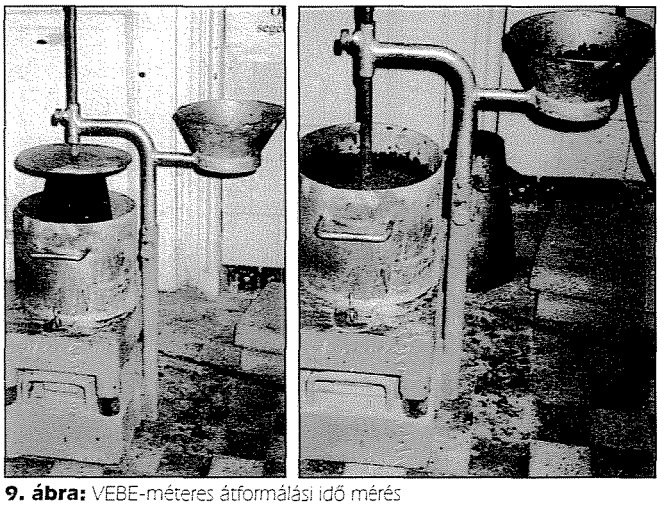
A VEBE osztály betűjele az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint „V". A korábbi magyar és az európai VEBE osztályokat a *8. ábrán* vetjük össze.



8. ábra: A korábbi magyar és az európai VEBE osztályok összevetése

A VEBE-készülék rázóasztalon áll, és az *Abrams*-féle roskadásmérő csonka-kúp alakú friss beton hengerré formálásához szükséges vibrálási idő mérésére alkalmas (*9. ábra*). A berendezés a VEBE megnevezést a svéd *Victor Bährner* nevének kezdőbetűi után kapta, aki konzisztencia vizsgálati módszerét 1940-ben publikálta a német „Zement" c. folyóiratban. A *Bährner*-féle VEBE-méter fő méretei azóta sem sokat változtak, de szerkezete bizonyos fejlődésen ment át, az MSZ 4714:1955 szabvány még azt írta, hogy a rázóasztalra szerelt kettős henger átlátszó anyagból készült. A mai, MSZ 4714-3:1986 szabvány szerinti készülék henger alakú, szimpla fémtartályú, amelynek belső átmérője (240 mm) megegyezik az eredeti változat belső hengerének belső átmérőjével. Az MSZ 4714:1955 szabvány a *Bährner*-féle VEBE-méter mellett az attól annyiban különböző *Szkramtajev*-módszert is tárgyalta, hogy az utóbbi a henger alakú tartály helyett 200 mm élhosszúságú kockaformát alkalmazott.

A VEBE-méteres átformálás vizsgálatának MSZ 4714-3:1986 és MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerinti módszerei között van bizonyos eltérés.



9. ábra: VEBE-méteres átformálási idő mérés

Az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a módszerrel az összes beton konzisztenciája meghatározható, az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerint csak a V1 - V3 konzisztencia osztályba tartozó betonok esetén, és akkor alkalmazható, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága nem nagyobb 63 mm-nél.

Az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a forgókar függőleges rúdján mm-es beosztás, az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerint 5 mm-es beosztás van.

Hasonlóan a roskadásméréshez az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a csonka-kúpot négy rétegben kell megtölteni betonnal, és összesen 4·25=100 szúrással kell tömöríteni, az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerint három rétegben kell megtölteni betonnal, és összesen 3·25=75 szúrással kell tömöríteni.

Ha a VEBE-készülékkel a roskadási mértéket is meghatározzuk, akkor az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a roskadást 1 mm pontossággal, az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerint 10 mm pontossággal kell megmérni.

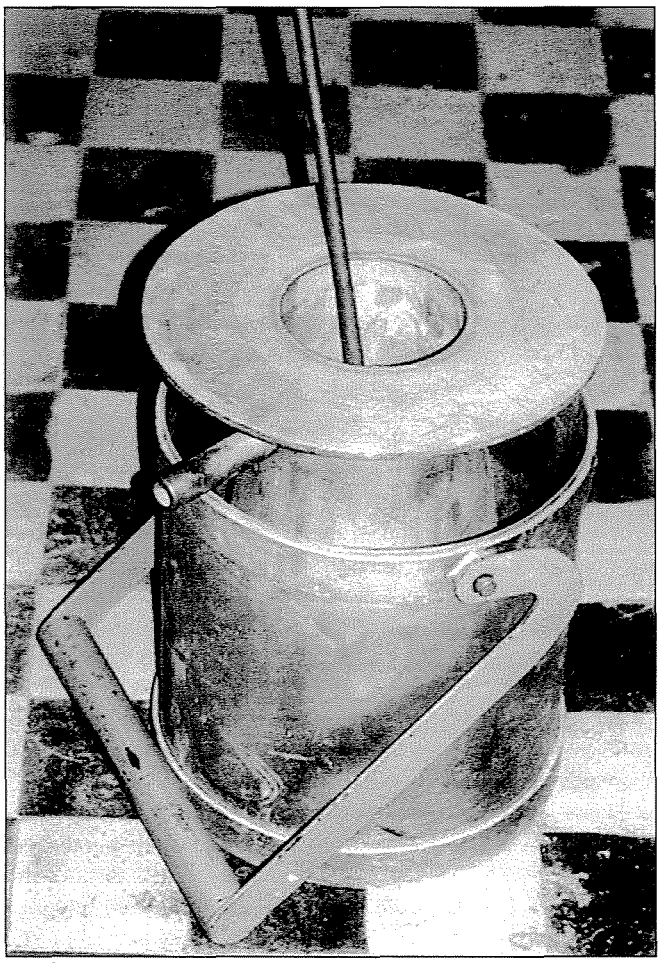
A VEBE átformálási időt 1 másodperc pontossággal kell megadni.

A mértékadó vizsgálati eredményt az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint két mérés számtani átlaga, vagy nagy eltérés

esetén új átlagmintákkal végzett három mérés számtani átlaga adja, míg az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány egy mérés eredményét is elfogadhatja, de hibás mérés esetére ismétlést ír elő.

A módszer pontosságára, az ismétlési (ismételhetőségi) és az összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltételekre az MSZ EN 12350-3:2000 szabványban nincs adat, az MSZ 4714-3:1986 szabvány a fogalomkört nem ismeri.

A VEBE-méteres átformálási idő vizsgálata tulajdonképpen az MSZ 4714-3:1986 szabványban *átformálási ütésszám* meghatározása néven tárgyalt *Powers*-féle konzisztencia vizsgálat módosított formája. Az átformálási ütésszámot régebben *Powers-foknak* nevezték. Vizsgálati eszköze az ejtőkengyeles készülék, amelynek henger alakú mérőedénye ma 233,5 mm belső átmérőjű, és ugyanilyen magas (*10. ábra*). Az eredeti *Powers*-féle készülék mérőedénye 240 mm belső átmérőjű és 200 mm magas, módosított változata 300 mm belső átmérőjű és 200 mm magas volt. A módosított változat voltaképpen nem más, mint az MSZ 4714:1955 szabványban szereplő, rázóasztalon álló, átformálási időt mérő, kettős hengeres *Bährner*-féle VEBE-méter, amely egykor 2,2 cm ejtési magasságú, az átformáláshoz szükséges ütéseket létrehozó ejtőasztalon állt, és a konzisztenciát az átformáláshoz szükséges ejtési ütések számával fejezte ki. Az egyszerű ejtőkengyeles berendezést *Thaulov*-készüléknek is hívták.



10. ábra: Ejtőkengyeles készülék az átformálási ütésszám mérésére

5. TÖMÖRÍTÉSI MÉRTÉK, TÖMÖRÖDÉSI TÉNYEZŐ

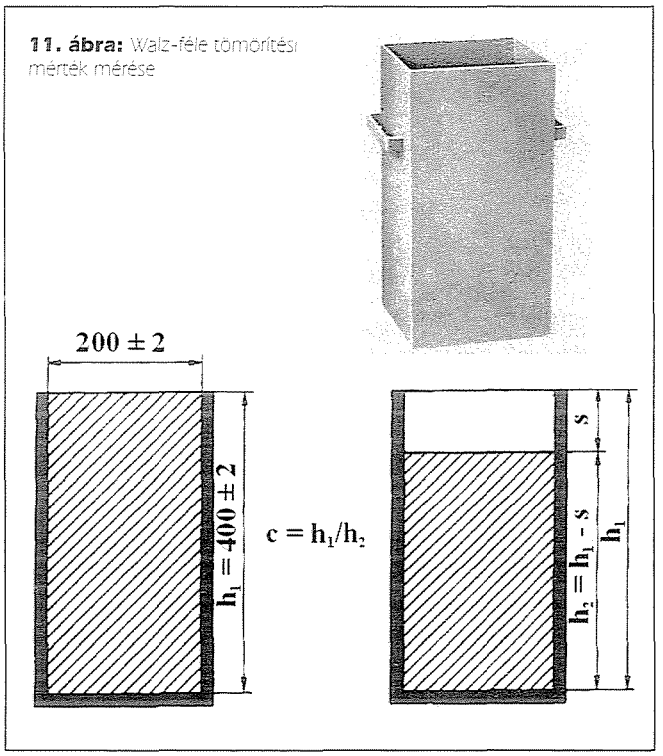
A tömörítési mérték a konzisztencia jellemzők egyike, amely más konzisztencia jellemzők mellett alapul szolgál a beton MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához. A tömörítési mérték vizsgálatát az MSZ EN 12350-4:2000 európai szabvány szerint kell végezni. Az MSZ EN 12350-4:2000 szerinti tömörítési mérték fogalmát a DIN 1048-1:1978 német szabványból *Walz*-féle tömörítési mértékként ismerjük. Vizsgálatával hazánkban nemzeti szabvány nem foglalkozott, bár leírása a 2001. évben érvénytelenített MSZ ISO 4111:1994 nemzetközi szabványban már megtalálható volt.

A tömörítési osztály betűjele az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint „C".

A vizsgáló eszköz 200·200 mm alapterületű, 400 mm magas fém edény, amelyet lazán meg kell tölteni betonnal, és le kell húzni. Ezután a betont vibroasztalon, vagy merülő vibrátorral tömöríteni kell. A tömörítési mérték a beton eredeti magasságának (400 mm) és mm pontosan megmért tömörítés utáni magasságának két tizedes pontossággal kiszámított hányadosa, mindig egynél nem kisebb szám (*11. ábra*).

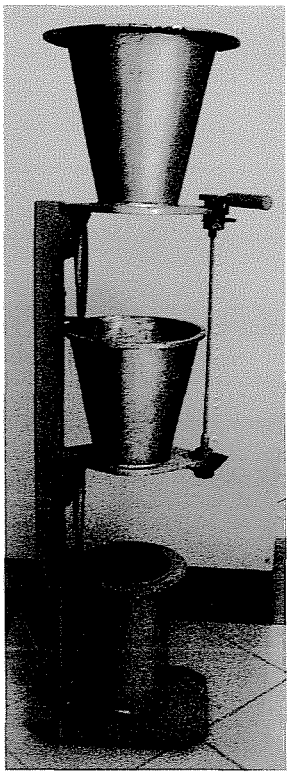
Az MSZ EN 12350-4:2000 szerinti tömörítésmérés akkor alkalmazható, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága nem nagyobb, mint 63 mm, és a konzisztencia osztály C1 - C3 közötti. A módszer pontosságára, az ismétlési (ismételhetőségi) és az összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltételekre az MSZ EN 12350-4:2000 szabványban nincs adat.

A tömörítési mérték azt mutatja meg, hogy a laza állapotú beton térfogata a betömörített beton térfogatának hányszorosa. Értékét betontervezéskor annak kiszámítására szoktuk használni, hogy a betonkeverőgép dobjában megkeverhető betonadag laza térfogata hányszorosa a betonadag betömörítés utáni térfogatának, illetve, hogy a laza betonadag tömege hányadrésze az ugyanolyan térfogatú betömörített beton tömegének. (Például abból a képlékeny konzisztenciájú betonból, amelynek tömörítési mértéke 1,12 és testsűrűsége friss állapotban, betömörítés után 2400 kg/m^3 lesz, a 800 liter hasznos térfogatú betonkeverő dobban 2400·0,8/1,12=1714 kg tömegű beton adag keverhető meg.)



11. ábra: Walz-féle tömörítési mérték mérése

A (*Walz*-féle) *tömörítési mértéket* nem szabad összetéveszteni a rokon hangzású (*Glanville*-féle) *tömörödési tényezővel*. Ennek esélye megvan, hiszen az EN 12350-4:1999 európai forrás szabvány címében szereplő angol „Degree of compactability" kifejezés nemcsak tömörítési mértéknek, hanem tö-



12. ábra: Glanville-féle készülék a tömörödési tényező mérésére

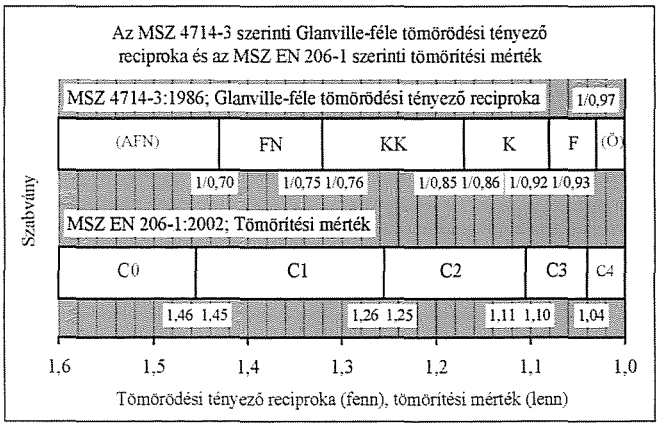
mörödési tényezőnek is fordítható (mint az sajnos a honosított magyar szabvány esetén meg is történt).

A *Glanville*-féle tömörödési tényező más konzisztencia jellemzők mellett alapul szolgál a beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához. A tömörödési tényező vizsgálatát a beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint kell végezni.

A tömörödési osztályok mérőszámainak határértékei a $d_{max} \leq 32$ mm legnagyobb szemnagyságú betonok vizsgálatára alkalmas 5 dm³ űrtartalmú hengerrel rendelkező, kisebb *Glanville*-féle készülékre vonatkoznak, amelynek felső csonkakúpja Ø260/Ø130·280 mm méretű (*12. ábra*). A készülék másik, ritkán használt, nagyobb méretváltozata a $d_{max} \leq 63$ mm legnagyobb szemnagyságú betonok vizsgálatára alkalmas, ennek henger-űrtartalma 20 dm³, felső csonkakúpja Ø380/Ø190·410 mm méretű. A tömörödési tényező a laza és a bevibrált friss beton testsűrűségének két tizedes pontossággal kiszámított hányadosa, mindig egynél nem nagyobb szám.

A tömörödési tényező fogalmát *Palotás László* az építőanyagok műszaki értelmező szótárába már 1958-ban felvette (Palotás, 1958). A *Glanville*-féle tömörödési tényezőt *CF-számnak* is szokták nevezni, az angol „Compacting Faktor"

13. ábra: A Glanville-féle tömörödés és az európai tömörítési osztályok összevetése



kifejezés kezdőbetűi alapján (BS 1881:1988). Az irodalom a mérőeszközt *Glanville-Rilem*-féle készülék néven is említi (RILEM Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Materiaux et les Constructions = Építőanyagok és szerkezetek laboratóriumi vizsgálatának és kutatásának nemzetközi egyesülete).

Az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti tömörítési osztályoknak a magyar szabványokban nincs megfelelője. Minthogy azonban a *Walz-féle tömörítési mérték* közelítőleg egyenlő az MSZ 4714-3:1986 szabványban szereplő *Glanville-féle tömörödési tényező* reciprokával, ez utóbbit a szóban forgó konzisztencia osztályok közvetett összehasonlításául használhatjuk. A *Glanville*-féle tömörödési tényező reciprok értékeit és az európai tömörítési osztályokat a *13. ábrán* vetjük össze. A tömörítési mérték C4 osztálya könnyűbetonokra érvényes.

6. ISMÉTLÉSI ÉS ÖSSZEHASONLÍTÁSI FELTÉTELEK

A mérési eredmények megbízhatóságának és pontosságának általános elveit az ISO 5725-1:1994 szabvány tárgyalja. Ennek alapján adja meg a vizsgálati eredmények ismétlési (ismételhetőségi) és összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltételeit a roskadás vizsgálatra az MSZ EN 12350-2:2000 és a terülés vizsgálatra az MSZ EN 12350-5:2000 európai szabvány:

- arra az esetre, ha a statisztikai valószínűség értéke P_T = 0,95;
- olyan *roskadás mérési kísérlet* tapasztalatai alapján, amelyben 16 laboráns vett részt, a roskadási mértékek 50 - 80 mm közé (S2 konzisztencia osztály) estek, és a mért értékek összeférhetősége szempontjából megítélendő két vizsgálat mindegyike vagy egy mérésből, vagy két mérésből állt;
- olyan *terülés mérési kísérlet* tapasztalatai alapján, amelyben 16 laboráns vett részt, a terülési mérték 555 mm (F4 és F5 konzisztencia osztályok határa) volt, és a mért értékek összeférhetősége szempontjából megítélendő két vizsgálat mindegyike egy mérésből állt.

A feltételeket az MSZ 4798-1:2004 szabvány a mellékletben tárgyalja.

Az ismételhetőség és az összehasonlíthatóság meghatározásának célja a mérés véletlen hibáinak korlátozása, a mért értékek összeférhetőségének, a mérési eredmények pontosságának megítélése, ami a tapasztalati terjedelem és a megengedett terjedelem összevetése alapján történik. Az alkalmazott matematikai-statisztikai módszer független valószínűségi változója nem a mérés eredménye, hanem terjedelme, amire a statisztikai biztonság is vonatkozik.

A mérés eredménye lehet egyes érték vagy több egyes mérésből nyert átlag, azaz számtani középérték.

A terjedelem a vizsgálat legnagyobb és legkisebb mérési eredményének (az MSZ EN 12350-2:2000 és MSZ EN 12350-5:2000 szabványok esetében két mérés eredményének, vagy két-két mérés átlagának) különbsége.

Az „ismételhetőség" az a megengedett terjedelem (vagy hozzá tartozó megengedett szórás), amelynél egy laboráns (egyazon személy) által - ugyanabból a betonkeverékből vett mintákon (jelen esetben két mintán), ugyanazzal az eszközzel, rövid időn belül - végzett ún. összeférhető vizsgálatok (jelen esetben két vizsgálat) terjedelme (vagy szórása), jelen esetben 20 eset közül legfeljebb egyszer (azaz 5 %-os gyakorisággal) szabad, hogy nagyobb legyen.

Az „összehasonlíthatóság" az a megengedett terjedelem (vagy hozzá tartozó megengedett szórás), amelynél több (esetünkben két) laboráns (különböző személyek) által -

1. táblázat: A roskadási mérték mérésének pontossági adatai (MSZ EN 12350-2:2000)

Ismételhetőség feltételei, mm		Összehasonlíthatóság feltételei, mm	
Szórás, s_r	Terjedelem, r	Szórás, s_R	Terjedelem, R
ha mind a két vizsgálat egy mérésből áll			
5,8	16	9,0	25
ha mind a két vizsgálat eredménye két mérés eredményének számtani átlagából áll			
4,1	11	8,0	22

2. táblázat: A terülési mérték mérésének pontossági adatai (MSZ EN 12350-5:2000)

Ismételhetőség feltételei, mm		Összehasonlíthatóság feltételei, mm	
Szórás, s_r	Terjedelem, r	Szórás, s_R	Terjedelem, R
ha mind a két vizsgálat egy mérésből áll			
24,6	69	32,5	91

ugyanabból a betonkeverékből vett mintákon (jelen esetben két mintán), azonos típusú, de külön-külön (esetünkben két külön) eszközzel, rövid időn belül - végzett ún. összeférhető vizsgálatok (jelen esetben két vizsgálat) terjedelme (vagy szórása), jelen esetben 20 eset közül legfeljebb egyszer (azaz 5 %-os gyakorisággal) szabad, hogy nagyobb legyen.

Az ismételhetőség és az összehasonlíthatóság tehát (feltételeink szerint) az 5 %-os felső küszöbértéknek megfelelő követelmények, azaz „minősítési értékek", amelyeket az összeférhető egyes mérési eredményekből, - vagy a több mérés eredményének átlagaként kapott - összeférhető vizsgálati eredményekből kiszámított matematikai statisztikai jellemzők (terjedelem vagy szórás), mint tapasztalati „jellemző értékek" a megengedett hibahatárnál (5%) nagyobb gyakorisággal nem szabad, hogy meghaladjanak. Ellenkező esetben a mérési vagy vizsgálati eredmények egymással nem összeférhetőek.

Az MSZ EN 12350-2:2000 európai szabvány két roskadásmérés (ez két olyan vizsgálat, amelyek mindegyike egy mérésből áll), vagy két roskadás vizsgálat (ez két olyan vizsgálat, amelyek mindegyike két mérésből áll), ismétlési és összehasonlítási feltételeit tárgyalja (*1. táblázat*).

Más az ismételhetőség és az összehasonlíthatóság követelmény értéke, ha két mérésről (egy-egy mérésből álló két vizsgálatról) van szó, és más, ha két olyan vizsgálatról, amelyek eredményei két mérés eredményének számtani átlagából adódnak (*1. táblázat*).

A táblázatokban a terjedelem és a szórás hányadosának értéke minden esetben: $\omega = r/s_r = R/s_R \sim 2{,}7 - 2{,}8$, pontos értéke: 2,771808. Ebből lehet tudni, hogy minden esetben két mérési eredmény, vagy két – esetünkben egyenként két mérésből álló – vizsgálat mérési eredményeinek átlagáról van szó ($n = 2$), mert három adat esetén ($n = 3$) a terjedelem és a szórás hányadosának értéke $\omega = 3{,}314493$ lenne.

Eszerint az MSZ EN 12350-2:2000 európai szabvány roskadásmérésre vonatkozó táblázatai azt fejezik ki, hogy

- ha *egy laboráns* az ismételhetőség feltételei mellett *két roskadásmérést végez*, akkor azok eredménye abban az esetben összeférhető, ha a két mérés eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 16 mm;
- ha *egy laboráns* az ismételhetőség feltételei mellett *két roskadás vizsgálatot végez, és mindegyik vizsgálat két mérésből áll*, és mértékadó eredménye a két mérés számtani átlaga, akkor a két vizsgálat mértékadó eredménye (azaz két mérés átlaga) abban az esetben összeférhető, ha a két vizsgálat eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 11 mm;
- ha *két laboráns* (például a betont gyártó transzportbeton üzem laboránsa és a betont vásárló kivitelező laboránsa) az összehasonlíthatóság feltételei mellett *egy-egy roskadásmérést végez*, akkor azok eredménye abban az esetben összeférhető, ha a két mérés eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 25 mm;
- ha *két laboráns* (például a betont gyártó transzportbeton üzem laboránsa és a betont vásárló kivitelező laboránsa) az összehasonlíthatóság feltételei mellett *egy-egy roskadás vizsgálatot végez, és mindegyik vizsgálat két mérésből áll*, és mértékadó eredménye a két mérés számtani átlaga, akkor a két vizsgálat mértékadó eredménye (azaz két mérés átlaga) abban az esetben összeférhető, ha a két vizsgálat eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 22 mm.

Az MSZ EN 12350-5:2000 európai szabvány két terülésmérés (ez két olyan vizsgálat, amelyek mindegyike egy mérésből áll) összeférhetőségének feltételeit tárgyalja (*2. táblázat*).

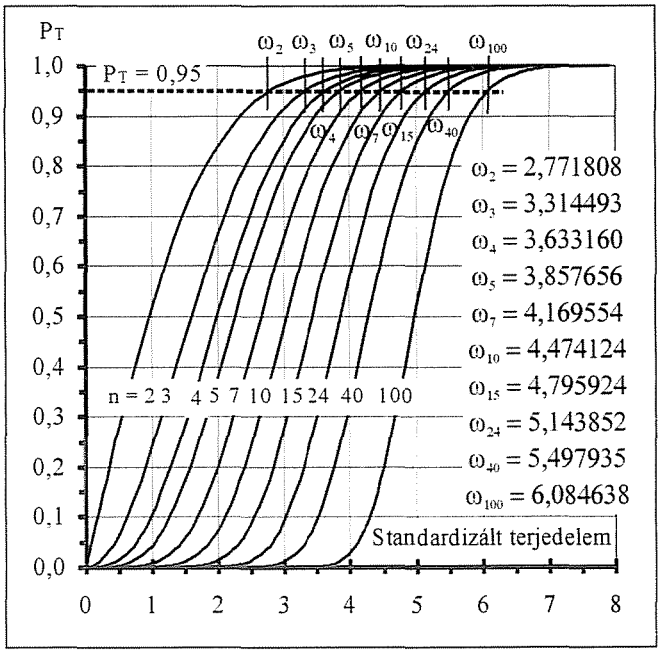
A terjedelem és a szórás hányadosának értéke ebben a táblázatban is: $\omega = r/s_r = R/s_R \sim 2{,}8$, pontos értéke: 2,771808. Ebből lehet tudni, hogy minden esetben két mérési eredmény átlagáról van szó ($n = 2$).

Eszerint az MSZ EN 12350-5:2000 európai szabvány terülésmérésre vonatkozó táblázata azt fejezi ki, hogy

- ha *egy laboráns* az ismételhetőség feltételei mellett *két terülésmérést* végez, akkor azok eredménye abban az esetben összeférhető, ha a két mérés eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 69 mm;
- ha *két laboráns* (például a betont gyártó transzportbeton üzem laboránsa és a betont vásárló kivitelező laboránsa) az összehasonlíthatóság feltételei mellett *egy-egy terülésmérést* végez, akkor azok eredménye abban az esetben összeférhető, ha a két mérés eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 91 mm.

A mérési eredmények pontosságának fenti számításmódja tehát azon alapszik, hogy meghatározták annak a $T = (0+\omega \cdot s)$ egyoldali intervallumnak a nagyságát, amelybe az r illetve R terjedelem - mint valószínűségi változó - adott P valószínűséggel beleesik. A P statisztikai valószínűséghez tartozó r/s, illetve R/s standardizált (elméleti) terjedelmet normális eloszlás feltételezése mellett határozták meg, és kimutatták, hogy a standardizált terjedelem - mint valószínűségi változó - e_M várható értéke és e_D szórása, továbbá az r, illetve R terjedelem $M = e_M \cdot s$ várható értéke és $D = e_D \cdot s$ szórása csupán az n-től függő szám. Az e_M és az e_D adatokkal megszerkesztették a standardizált terjedelem különböző n értékekhez tartozó egyoldali w_n relatív gyakoriságfüggvényét és W_n eloszlásfüggvényét. A $P_T = 0{,}95$ értékű ordináta a W_n eloszlásfüggvényen kimetszi az adott n értékhez tartozó ω_n tényezőt, mint abszcissza értéket (*14. ábra*). Ezért például $n = 2$ esetén $P_T = 0{,}95$ a valószínűsége annak, hogy a tapasztalati terjedelem $T_2 = (r_2$ vagy $R_2) = \omega_2 \cdot s =$

2,771808·s elméleti, megengedett értéknél kisebb értéket vesz fel. Ugyanennyi a valószínűsége annak, hogy $n = 3$ esetén a tapasztalati terjedelem kisebb, mint $T_3 = (r_3$ vagy $R_3) = \omega_3 \cdot s = 3{,}314493 \cdot s$.



14. ábra: A standardizált terjedelem W_n eloszlásfüggvényei

Az MSZ EN 12350-2:2000 és MSZ EN 12350-5:2000 európai szabványok fent hivatkozott táblázatainak elkészítéséhez az említett 16 (egyesült királyságbeli) laboráns 1987-ben, igen gondosan végzett méréseinek eredményeiből kiszámították a tapasztalati szórásokat, és azokat s elméleti, megengedett szórásként, az $\omega_n \cdot s$ szorzatokat r, illetve R elméleti, megengedett terjedelemként fogadták el. (Utalunk arra, hogy jelen esetben a tanulmányozott szabványok jelöléseit követtük, de a matematikában az elméleti szórást σ betűvel, a tapasztalati szórást s betűvel szokás jelölni.)

A friss beton vizsgálati eredményeinek pontosságát nem csak a roskadás és a terülésmérés európai szabványai, hanem a testsűrűségmérés (MSZ EN 12350-6:2000) és a levegőtartalom-mérés (MSZ EN 12350-7:2000) európai szabványai is az ismétlési és összehasonlítási feltételek szerint ítélik meg. Ugyanezt az eljárást követi a megszilárdult beton testsűrűségének európai vizsgálati szabványa (MSZ EN 12390-7:2001) is.

A mérési eredmények pontosságát több európai kőanyaghalmaz (adalékanyag) vizsgálati szabvány is az ismétlési és összehasonlítási feltételek alapján tárgyalja. Ezek közül az MSZ EN 932-6:1999 tartalmazza a fogalmak értelmezését.

Megjegyezzük, hogy a mérési eredmények terjedelem szerinti értékelésével a magyar nemzeti szabványokban is lehet találkozni. Ilyen például az MSZ 9611-14:1976 vagy az MSZ 18284/2:1979 szabvány, amely utóbbi esetén a pontosság követelményei a fenti matematikai-statisztikai elméletnek az alkalmazásával – többféleképpen rendezett 800 testsűrűség és anyagsűrűségmérés eredménye alapján – kerültek meghatározásra.

7. ÖNTÖMÖRÖDŐ BETON KONZISZTENCIÁJÁNAK MÉRÉSE

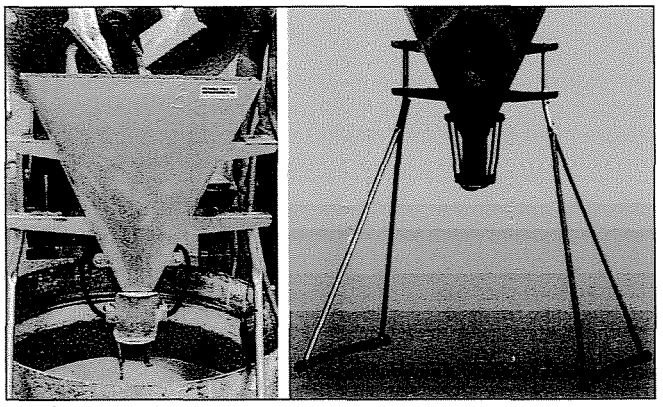
Az öntömörödő és egyben önterülő beton önthető konzisztenciájára és különleges összetételére tekintettel nem tárgya az MSZ EN 206-1:2004 szabványnak, a „DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton", röviden „DAfStb-Richtlinie SVB" (Berlin, 2003) német műszaki irányelv szerint készíthető és vizsgálható. Az öntömörödő beton szétterülésének, ülepedésének és szétosztályozódási hajlamának vizsgálatára e műszaki irányelven kívül is dolgoztak ki különleges konzisztencia vizsgálati módszereket (Krüger, 1999; Kordts – Breit, 2003; Zsigovics, 2003).

7.1 Tölcséres kifolyási idő mérése

A tölcséres kifolyási időt például 515 mm felső, 65 mm alsó átmérőjű, 600 mm magas csonka kúppal határozzák meg. Az alkotója 45°-os szöget zár be a függőlegessel. Bezárt kifolyónyílás mellett kell az öntömörödő betonnal színültig megtölteni. A nyílást kinyitva, másodpercben kell a tölcséres kifolyási időt megmérni. A módszert a „DAfStb-Richtlinie SVB" M melléklete írja le.

A kifolyási idő mérésére trapéz oldalnézetű tölcsért is használnak. Felső nyílása 500-515 mm, alsó nyílása 75-65 mm, magassága 425-450 mm, kifolyó nyílásának csonkja 150 mm magas, a mérőeszköz vastagsága 75 mm (*15. ábra*).

A tölcséres kifolyási idő az öntömörödő beton viszkozitásával áll összefüggésben, és elsősorban a víz/(száraz anyag tartalom) tényező és a száraz anyagtartalom szemmegoszlása befolyásolja. Minél nagyobb a víz/(száraz anyag tartalom) tényező, annál kisebb az öntömörödő beton tölcséres kifolyási ideje és viszkozitása. Olykor az öntömörödő beton konzisztenciáját a 10/(tölcséres kifolyási idő) formulával tölcséres kifolyási sebességként, 1/másodperc mértékegységben fejezik ki.



15. ábra: Kifolyási tölcsér

7.2 Terülésmérés fordított roskadásmérő kúppal

A vizsgálat során az MSZ EN 12350-2:2000 szerinti roskadásmérő kúpot fordított helyzetben a legalább 800·800 mm élhosszúságú mérő asztalra kell helyezni, meg kell tölteni öntömörödő betonnal, majd függőlegesen fel kell emelni. A kúp felhúzásával a beton súlyánál fogva szétterül. A terülési mértéket a lepény két egymásra merőleges átmérőjének átlaga adja. A módszert ugyancsak a „DAfStb-Richtlinie SVB" M melléklete írja le.

A terülés elsősorban a friss öntömörödő beton folyási határértékének függvénye, kisebb folyási határértékhez nagyobb terülési mérték tartozik. A folyási határérték a beton folyásához szükséges legkisebb nyírófeszültség. A folyási határérték főképp a finom részek betonban való diszperzitásának mértékétől függ, és leghatékonyabban folyósító adalékszerrel csökkenthető. A fordított roskadásmérő kúpos terüléssel be lehet állítani az öntömörödő beton optimális folyósítószer adagolását, és meg lehet határozni szétosztályozódási hajlamát.

7.3 Kifolyási idő mérése fordított roskadásmérő kúppal

A vizsgálat során azt kell megmérni, hogy a fordított roskadási kúpból kifolyó öntömörödő betonnak mennyi időre van szüksége ahhoz, hogy a szétterülő lepény átmérője elérje az 500 mm-t. A mérés megkönnyítésére a mérőasztalra 500 mm átmérőjű kört karcolnak. Minél hosszabb a kifolyási idő, annál nagyobb az öntömörödő beton viszkozitása.

7.4 Blokkoló gyűrűs vizsgálat

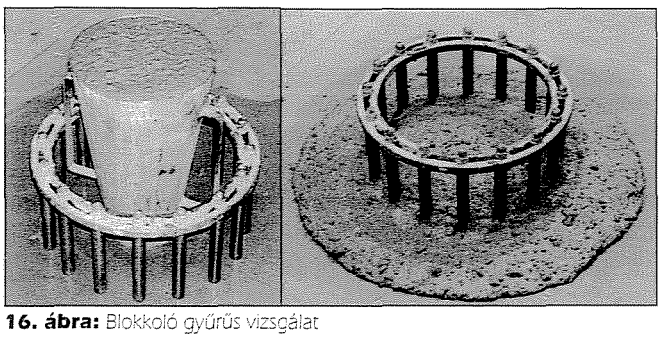
A vizsgálat eszköze a fordított roskadásmérő kúp és a blokkoló gyűrű. A blokkoló gyűrű voltaképpen egy kör alakú fésű, lefelé álló fogakkal. Átmérője 300 mm, a fogak száma 16, átmérőjük 18 mm, magasságuk 125 mm. A fordított roskadásmérő kúpot és a blokkoló gyűrűt középpontosan kell a mérőasztalra helyezni. A fordított roskadásmérő kúpot meg kell tölteni öntömörödő betonnal, majd a kúpot fel kell húzni. A szétterülő beton átfolyik a blokkoló gyűrűn. A blokkoló gyűrűs terülési mértéket a szétterülő friss beton két egymásra merőleges átmérőjének átlaga adja. Az öntömörödő beton nem hajlamos a blokkolódásra, ha a blokkoló gyűrű nélküli fordított roskadásmérő kúpos terülés mértéke és a blokkoló gyűrűs terülés mértéke közötti eltérés kisebb, mint 50 mm. A módszert szintén a „DAfStb-Richtlinie SVB" M melléklete írja le (*16. ábra*).

A blokkoló gyűrűs vizsgálat a beépítési körülményeket utánozza, amelynek során a szétterülő beton akadályokat kell legyőzzön, mint pl. a vasbeton vasszerelése.

7.5 Blokkoló rácsos vizsgálat U-alakú edényekben

A vizsgálathoz általában kétféle alakú edényt használnak. Az edény alul egymással közlekedő két szárának keresztmetszete lehet 140 mm átmérőjű kör, vagy lehet 140 mm élhosszúságú négyzet. A cső alakú edény alul íves, a négyzet alakú szögletes. A cső alakú edény két szára alul 190 mm hosszban, a négyzet alakú edény 140 mm hosszban egy retesz felhúzásával összenyitható. A nyílásba három, 13 mm átmérőjű acélpálcából álló blokkoló rács van elhelyezve.

A cső alakú edény egyik szárát 680 mm magasságig, a négyzet alakú edényét 600 mm magasságig meg kell tölteni öntömörödő betonnal, majd a reteszt fel kell húzni, miáltal a beton a blokkoló rácson keresztül átfolyik az edény másik szárába. Követelmény, hogy a cső alakú edény szárában az átfolyt beton legalább 300 mm magasra emelkedjék, míg a négyzet alakú edény esetén az edény két szárában lévő beton szintkülönbségét kell megmérni. Különböző szerzőknél (Krüger, 1999; Kordts – Breit, 2003; Zsigovics, 2003) az itt megadott méretek egymástól valamelyest eltérnek.



16. ábra: Blokkoló gyűrűs vizsgálat

E módszerekkel az öntömörödő beton bedolgozhatósága vizsgálható.

7.6 L-dobozos vizsgálat

Az L-dobozos vizsgálattal szintén az öntömörödő beton bedolgozhatóságát lehet vizsgálni oly módon, hogy a berendezés 200·80 mm keresztmetszetű függőleges szárát 400 mm magasságig megtöltjük a betonnal, amely az alul lévő, 160 mm magas retesz eltávolítása után a hidrosztatikus nyomás hatására, három 14 mm átmérőjű acélrúdból álló blokkoló rácson keresztül, a vízszintes vályúba folyik. Ezután meghatározzuk a függőleges szárban a beton magasságcsökkenését, a vízszintes vályúban a folyási távolságot, és azt az időt, amelyre a betonáramnak szüksége van a vízszintes vályúban kijelölt 50 mm-es távolság megtételéhez. A magasságcsökkenés és a folyási távolság a terüléssel, a folyási idő, ill. a hozzá tartozó sebesség a viszkozitással áll kapcsolatban. A méretek a fentiektől eltérőek is lehetnek.

7.7 Ülepedési hajlam vizsgálata

A durva szemek ülepedési hajlamát az öntömörödő betonban merülőrúddal vizsgálják. Az acél merülőrúd hossza 750 mm, átmérője 14 mm, tömege 900 g, a vége legömbölyített, és a merülését megvezetik. A vizsgáló edény átmérője 150 mm, magassága 600 mm, és a merülőrúd bevezetésére felszerkezettel rendelkezik. A vizsgálat során a merülőrúd a beton felszínéről önsúlyánál fogva merül a betonba. A mérést több helyen és különböző időpontokban végzik el. A vizsgálat időtartama egy-két óra, a méréseket 15-20 percenként hajtják végre, mindig más helyen. A mérés eredménye a merülési mélység, amelyet az idő függvényében jegyeznek fel és ábrázolnak. Ha az öntömörödő beton ülepedésre hajlamos, akkor a merülési mélység az idő függvényében számottevően csökken, ha nem hajlamos, akkor a beton kötésének kezdetéig alig változik.

7.8 Átmosási vizsgálat

Az átmosási vizsgálat a friss öntömörödő beton stabilitásának megítélésére való eljárás. A betont egy 150 mm átmérőjű, 450-500 mm magas edénybe kell tölteni. Az edény harmadaiban nyílások vannak, amelyekbe a beton dermedése után elválasztólemezeket tolnak. Az így három részre választott friss betont a legnagyobb szemnagyság fele nyílású szitán átmossák, a szitán fennmaradó részt kiszárítják és megmérik. A „DAfStb-Richtlinie SVB" N melléklete szerint az öntömörödő betont akkor tekintik szétosztályozódástól mentesnek, ha a három beton részhalmaz szitamaradékának tömege az elméleti értéktől legfeljebb 15 tömeg%-kal tér el.

7.9 Szétosztályozódási vizsgálat szemrevételezéssel

A „DAfStb-Richtlinie SVB" N melléklete szerint a megszilárdult, 150 mm átmérőjű, 500 mm hosszú öntömörödő beton próbahengert hosszirányban kettévágják, és a szétosztályozódás mértékét a vágott felületen szemrevételezéssel meghatározzák. A beton stabilitásáról 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszú próbahenger hasítóvizsgálatával, vagy rugalmassági modulusának meghatározásával is tájékozódni lehet.

7.10 Viszkozitásmérés rheometerrel

A rheometerek több típusa alkalmas az öntömörödő betonok viszkozitásának meghatározására. A kísérletek szerint azok a friss öntömörödő betonok tartják meg stabilitásukat, amelyek folyási határértéke 500 Pa-nál kisebb, és dinamikai viszkozitása 100 - 200 Pa·s közé esik, de vannak kísérletek, amelyek során ezeknél lényegesen kisebb értékeket mértek.

8. KÖVETKEZTETÉSEK

Az európai betonszabványok bevezetése a konzisztencia jellemzése terén új helyzetet teremtett. Megváltoztak a konzisztencia osztályok, a konzisztencia jelölése a korábbinál sokrétűbbé vált, néhány régi konzisztencia vizsgálati módszer elvesztette érvényét, más módszerekben eljárásbeli változások vannak, és van vizsgálati módszer, amelyet most szabványosítottak. A betontechnológia fejlődésével megjelent az önterülő és öntömörödő beton, amelynek konzisztencia vizsgálati módszerei a hagyományostól eltérnek. A változások követése a korábbi magyar és az új európai szabványok kapcsolatának feltárására épülhet, ami jelen cikk egyik célkitűzése volt.

9. JELÖLÉSEK

AFN	Alig földnedves konzisztencia
C0 - C4	Tömörítési mértékkel kifejezett európai konzisztencia osztályok
D	Terjedelem szórása
e_D	Standardizált terjedelem szórása
e_M	Standardizált terjedelem várható értéke
F	Folyós konzisztencia
FN	Földnedves konzisztencia
F1 - F6	Terülési mértékkel kifejezett európai konzisztencia osztályok
K	Képlékeny konzisztencia
KK	Kissé képlékeny konzisztencia
M	Terjedelem várható értéke
n	Mérési eredmények száma, vagy két vizsgálat mérési eredményeinek átlaga
Ö	Önthető konzisztencia
P_T	Statisztikai valószínűség értéke
r	Terjedelem, ismétlési feltételekkel
R	Terjedelem, összehasonlítási feltételekkel
s_r	Szórás, ismétlési feltételekkel
s_R	Szórás, összehasonlítási feltételekkel
S1 – S4	Roskadási mértékkel kifejezett európai konzisztencia osztályok
V0 – V4	VEBE-méteres átformálási idővel kifejezett európai konzisztencia osztályok
W_n	A standardizált terjedelem eloszlásfüggvénye
ω	A terjedelem és a szórás hányadosa, amit standardizált terjedelemnek is neveznek

10. HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK ÉS IRÁNYELV

MSZ 4714-3:1986 „A betonkeverék és a friss beton vizsgálata. A konzisztencia meghatározása"

MSZ 4719:1982 „Betonok"

MSZ 4798:2004 „Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon"

MSZ 9611-14:1976 „Aszfaltok mintavétele és vizsgálata. Ásványi anyagok sűrűségének meghatározása"

MSZ 18284/2:1979 „Építési kőanyagok tömegösszetételi vizsgálatai. Sűrűségi jellemzők vizsgálata"

MSZ EN 206-1:2002 „Beton. Feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség"

MSZ EN 932-6:1999 „Kőanyagok általános tulajdonságainak vizsgálata. Az ismétlési pontosság és az összehasonlítási pontosság fogalommeghatározásai"

MSZ EN 12350-2:2000 „A friss beton vizsgálata. Roskadásvizsgálat"

MSZ EN 12350-3:2000 „A friss beton vizsgálata. VEBE vizsgálat"

MSZ EN 12350-4:2000 A friss beton vizsgálata. Tömörödési tényező (helyesen: Tömörítési mérték)

MSZ EN 12350-5:2000 „A friss beton vizsgálata. Terülésmérés ejtőasztalon"

MSZ EN 12350-6:2000 „A friss beton vizsgálata. 6. rész: Testsűrűség"

MSZ EN 12350-7:2000 „A friss beton vizsgálata. 7. rész: Légtartalom. Nyomásmódszerek"

MSZ EN 12390-7:2001 „A megszilárdult beton vizsgálata. 7. rész: A megszilárdult beton testsűrűsége"

MSZ ISO 4111:1994 „A friss beton konzisztenciájának meghatározása a tömörítési mérőszám megállapításával"

ISO 5725-1:1994 „Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1: General principles and definitions"

ASTM C 995:1991 „Standard test method for time of flow of fiber-reinforced concrete through inverted slump cone"

DIN 1048-1:1978 „Prüfverfahren für Beton. „Frischbeton, Festbeton gesondert hergestellter Probekörper"

„DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie)", *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton*, Berlin, 2003

11. HIVATKOZÁSOK

Kausay T. (1999), „A szálerősítésű betonok szabványosított vizsgálatai", *Szálerősítésű betonok, fib konferenciakiadvány*, pp. 97-113., Budapest, 1999. március 4-5. (Szerk.: Balázs L. György)

Kausay T. (2003), „Fogalom-tár", *Beton*, XI. évfolyam 3. szám pp. 12-13, 4. szám pp. 10-11, 5. szám pp. 5-5, 6. szám pp. 14-15, 7-8. szám 18-19, 9. szám pp. 9-11.

Kordts, S. – Breit, W. (2003), „Beurteilung der Frischbetoneigenschaften von selbstverdichtendem Beton", *Betontechnische Berichte von 1998-2003*, Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf, pp. 113-123.

Krüger, M. (1999): „Prüfmethoden zur Untersuchung der Verarbeitbarkeit von selbstverdichtenden Betonen", *Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen - Festschrift zum 60. Geburtstag von H.-W. Reinhardt.* (Ed. C. Grosse) Hamburg: Libri, 1999, pp. 177-191.

Palotás L. (szerk.) (1958), „Műszaki értelmező szótár 1. Építőanyagok", *Terra Kiadó*, Budapest

Palotás L. – Balázs Gy. (1980), „Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Beton – Habarcs – Kerámia – Műanyag", *Akadémiai Kiadó*, Budapest

Zsigovics I. (2003), „Öntömörödő beton, a betontechnológia legújabb forradalma. 1. Fogalmak és vizsgálati módok", *Vasbetonépítés*, V. évfolyam 1. szám, pp. 17-24.

Kausay Tibor (1934) okl. építőmérnök (1961), vasbetonépítési szakmérnök (1967), egyetemi doktor (1969), a műszaki tudomány kandidátusa (1978), Ph.D. (1997), a BME Építőanyagok Tanszék címzetes egyetemi docense (1985), a BME tiszteleti egyetemi tanára az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken (2003). A ***fib*** Magyar Tagozat tagja (2000). Az MTA Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Testületének gróf Lónyay Menyhért emlékérmes tiszteletbeli tagja (2003). Tevékenysége a betontechnológiai és a kő- és kavicsipari kutatásra, fejlesztésre, oktatásra, szabványosításra terjed ki. Publikációinak száma mintegy 125.

CONSISTENCY OF CONCRETE
Dr. Tibor Kausay

Consistency of concrete gives the workability of fresh concrete, which influence both fresh concrete and hardened concrete properties. The new European concrete standard modified the previous Hungarian consistency classes. It also means some changes for the measurement of consistency. Changes and present requirements are summerized herein.

KLORIDKÖTÉS BETONBAN

1. A C_3A ÉS C_4AF ALUMINÁT KLINKEREK KLORIDION MEGKÖTŐ KÉPESSÉGE

Dr. Kopecskó Katalin – Dr. Balázs György

A kémiailag kötött kloridion nem okoz korróziót. A cement klinkerásványai közül az aluminátok (C_3A és C_4AF) képesek megkötni a kloridionokat. Azt vizsgáltuk, hogy a kloridkötés mechanizmusát hogyan befolyásolja a szilárdítás módja (természetes szilárdulás és gőzölés), a klinkerásvány–gipsz aránya és a megszilárdult klinkerásvány kora, valamint a kloridkötés hogyan hat a szilárdságra.

Kulcsszavak: korrózió, kloridion, gőzölés, Friedel-só, Kuzel-só

1. BEVEZETÉS

Előző cikkünkben (Balázs, Kopecskó, 2003) összefoglaltuk a cementek kloridion megkötésére vonatkozó irodalmi adatokat és addigi kutatási eredményeinket. A közutak jégtelenítő téli sózása okozta korróziós veszély a kutatás folytatását kívánta meg. Ennek eredményeképpen készült el „A gőzölés hatása a cementklinkerek és cementek kloridion megkötő képességére" című PhD értekezés (Kopecskó, 2006). A témakör fontosságára tekintettel két cikkben foglaljuk össze a legfontosabb eredményeket. Jelen cikkben a gőzölt aluminát klinkerásványok kloridion megkötő képességéről számolunk be, míg a következő cikkben gőzöléssel szilárdított cementek kloridkötését tárgyaljuk. A vizsgált cementek az aluminátokat lényegesen eltérő tömegarányban tartalmazták.

Arra már előző cikkünkben is rámutattunk, hogy a portlandcement 4 fő klinkerásványa közül csak a C_3A ($3CaO{\cdot}Al_2O_3$) trikalcium-aluminát és C_4AF ($4CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}Fe_2O_3$) tetrakalcium-aluminát-ferrit köti meg a kloridionokat. Ez a kémiailag megkötött kloridion nem okoz acélbetét korróziót. A kloridkötés során Friedel-só ($C_3A{\cdot}CaCl_2{\cdot}H_{10}$), illetve a C_4AF-ből a Friedel-só vas-analógja ($C_3F{\cdot}CaCl_2{\cdot}H_{10}$) is keletkezik, ezen kívül keletkezhet még Kuzel-só ($C_3A{\cdot}0{,}5CaSO_4{\cdot}0{,}5CaCl_2{\cdot}H_{12}$), illetve a C_4AF-ből a Kuzel-só vas-analógja ($C_3F{\cdot}0{,}5CaSO_4{\cdot}0{,}5CaCl_2{\cdot}H_{12}$) is (Friedel, 1897; Kuzel, 1966).

A különböző tömegarányú aluminát és gipszkő tartalmú mintákon a kutatást kiterjesztettük:

- a szilárdítási folyamat hatásának tanulmányozására (természetes szilárdítás és gőzölés),
- a kloridion megkötő képesség tanulmányozására,
- a kor hatásának vizsgálatára és
- a szilárdság vizsgálatára.

2. A KÍSÉRLETEK LEÍRÁSA

2.1 Felhasznált anyagok

A kísérletekhez felhasznált próbatestek alapanyagai szintetikusan gyártott trikalcium-aluminát (C_3A) és tetrakalcium-aluminát-ferrit (C_4AF) klinkerásványok voltak. A C_3A klinkerásványt kalcium-karbonát és alumínium-oxid porból, C_4AF klinkerásványt analitikai tisztaságú kalcium-karbonát, vas(III)-oxid és alumínium-oxid porból állították elő a Cemkut Kft-ben. Az alapanyagokból kisméretű hengereket préseltek, és egy elektromos kemencében, oxidatív atmoszférában többször kiégették. Minden egyes égetést őrlés követett. A műveleteket a szabad mészmentes állapotig folytatták. A C_3A és C_4AF tisztaságát és sztöchiometriáját röntgendiffrakciós vizsgálattal és kémiai analízissel ellenőrizték.

2.2 Kísérleti terv

Mindkét klinkerásványból hat mintasorozatot készítettünk. A minták összetételét, valamint a különböző szilárdítási és kezelési módokat az *1. táblázat* tartalmazza, amelyben a jelölésként alkalmazott törtszám számlálója a klinkerásvány, nevezője pedig a gipsz tömegarányát jelzi. A keverékekből vízzel azonos konzisztenciájú, kissé képlékeny pépeket készítettünk, majd 10·10·50 mm méretű sablonokba dolgoztuk be. Az 1–2. mintasorozat így előkészített próbatesteit szobahőmérsékleten (22±1 °C) tároltuk, közel 100% relatív páratartalmú térben, és 24 óra természetes szilárdulás után zsaluztuk ki. A próbatesteket ezután hasonló körülmények között (exszikkátorban 22±1 °C hőmérsékleten, desztillált víz felett) tároltuk tovább.

A 3–6. mintasorozat hasábjait úgy készítettük, hogy az előkészítés és pihentetés után a pépet 3 órán át gőzöltük 60 °C (3–4. mintasorozat), illetve 90 °C hőmérsékletű atmoszférikus nyomású gőztérben (5–6. mintasorozat). A C_3A klinkerásvány esetében 1 órás, a C_4AF klinkerásvány esetében 2 órás pihentetés után kezdtük el a pépek gőzérlelését. Gőzölés után a próbatestek a gőzölő berendezésben hűltek ki, majd azokat 24 órás korban zsaluztuk ki. A próbatesteket továbbiakban szobahőmérsékleten tároltuk (22±1 °C), közel 100% relatív páratartalmú térben (exszikkátorban).

A 2., 4. és 6. mintasorozat hasábjait sókezelésnek vetettük alá. A sókezelés során a próbatesteket váltakozva 24 órán át tároltuk 10%-os NaCl oldatban (10g NaCl 100 ml vízben), majd 24 órán át 100% relatív páratartalmú térben. A műveletet mind a természetesen szilárdult, mind a gőzölt mintákon 28 és 38 napos kor között végeztük. A sókezelést követően a hasábokat szobahőmérsékleten (22±1 °C) és közel 100% relatív páratartalmú térben tároltuk.

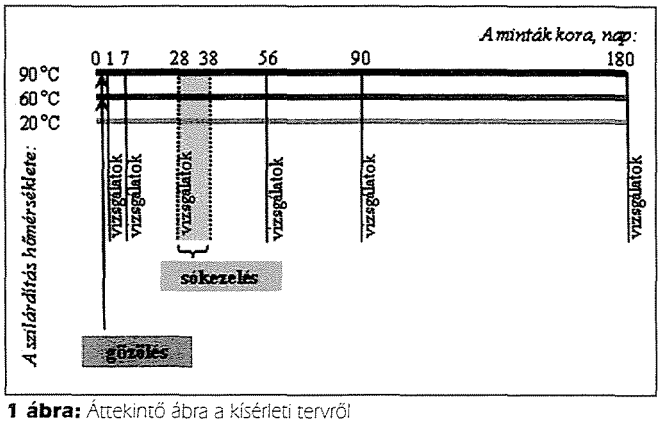
1. táblázat: Az aluminát minták összetételei, valamint a minta előkészítési és kísérleti körülmények

Minta-sorozat	Klinkerásvány és gipsz tömegaránya	Minták kezelése és tárolása
1.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	22 °C, 100% r.p.,
2.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	22 °C, 100% r.p. és sókezelés
3.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	gőzölés 60 °C-on, majd 100% r.p.
4.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	gőzölés 60 °C-on és sókezelés
5.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	gőzölés 90 °C-on, majd 100% r.p.
6.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	gőzölés 90 °C-on és sókezelés

A megszilárdult próbatestek hidrátösszetételét *röntgendiffrakciós és derivatográfiás fázisanalitikai módszerekkel* vizsgáltuk meg. A vizsgálatokat C_3A klinkerásvány esetén 1, 7, 28, 90 és 180 napos korban, a C_4AF klinkerásvány esetén 1, 7, 28, 56, 90 és 180 napos korban végeztük el. A különböző szilárdítású, összetételű, korú, és kezelésű minták fázisanalitikai vizsgálata a kétféle aluminát klinkerásvány esetére közel 900 db mérést jelentett. Az 1., 3. és 5. sorozatok vizsgálata lehetőséget nyújtott az aluminátok hidratációjának, a természetes szilárdulás és gőzöléses szilárdítás hatásainak vizsgálatára különböző körülmények között. A 2., 4. és 6. sorozatok vizsgálatával pedig a kloridion megkötő képességet tanulmányoztuk, a téli jégmentesítő sózás hatásának modellezésével.

A *hasító-húzószilárdságot* a következőképpen vizsgáltuk: a próbatestekből – a különböző vizsgálati korokban – a fázisanalitikai vizsgálatokra a mintát hasítással választottuk le, és a hasítóerőt mértük. A C_3A esetén minden esetben egy hasítást tudtunk elvégezni. A C_4AF esetében az összes mintasorozat valamennyi összetételéből két péphasábot készítettünk, melyből átlagos értéket számolhattunk. A hasítóerőből számítható a hasító-húzószilárdság. Kísérleteinkben azonos méretű sablonokat használtunk, így a péphasáb méreteit állandónak tekintettük. A vizsgált próbatestek méreteihez tartozó hasítóerőket értékeltük összehasonlító eredményekként.

A kísérleti tervet az *1. ábrán* mutatjuk be.



1 ábra: Áttekintő ábra a kísérleti tervről

3. A C_3A – GIPSZ MINTÁK VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI

3. 1 A fázisanalitikai vizsgálatok eredményei

3.1.1 Vizsgálatok röntgendiffraktométerrel

Röntgendiffrakcióval a hidratáció során keletkezett kristályos hidrátfázisok, illetve a hidratálatlan, kristályos kiindulási anyagok mutathatók ki. Ezeknek a többfázisú mintáknak az elemzése a tiszta (ún. referencia) fázisokról felvett, ujjlenyomatszerű röntgendiffraktogramok segítségével lehetséges. A rendezettség alacsony foka vagy hiánya esetén röntgenamorf vagy amorf fázisokról beszélhetünk, melyekről nem a jellegzetes, vonalas diffrakciós képet kapjuk. A röntgenamorf vagy amorf fázisok esetén az alapvonal nem egyenletesen megemelkedik. Meg kell jegyezni, hogy a cement hidratációja során jelentős mennyiségű amorf fázis is keletkezik (Talabér, 1966).

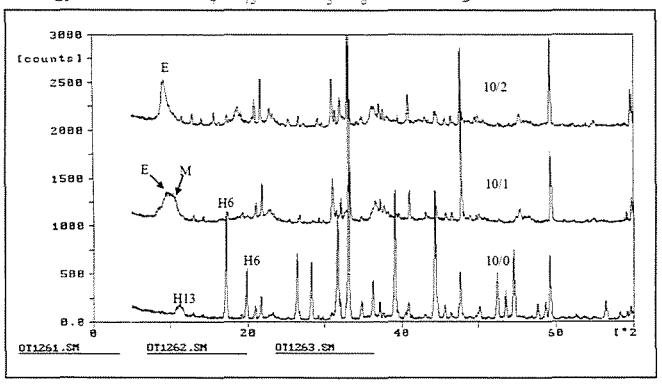
A gipszmentes (10/0 C_3A/gipsz tömegarányú), természetesen szilárdult mintában a rosszul kristályosodó (kis intenzitású és nagy félértékszélességű) C_4AH_{13} hexagonális hidrát és a szabályos hidrogránát (C_3AH_6) intenzív és kis félértékszélességű csúcsai mellett a hidratálatlan C_3A is kimutatható. A hidrogránát már az 1 napos korú mintákban nagy intenzitással megtalálható, és ezt az intenzitását 180 napos korig megtartja. A monokarbo-aluminát (monokarbonát, $C_3A{\cdot}CaCO_3{\cdot}H_{11}$) fázis mennyisége a korral növekvő tendenciát mutat.

A különböző összetételű (10/0-10/5 tömegarányú), 1 napos C_3A/gipsz minták röntgendiffraktogramjait, természetes szilárdulás esetén, a *2.* és *3. ábrákon* mutatjuk be. A mintákban monokarbonátot, mint a karbonátosodás következményét mutattunk ki. Meg kell jegyezni, hogy a szilikát klinkerek hidratációjától eltér az aluminátok hidratációja, a reakció során nem szabadul fel portlandit (kalcium-hidroxid, $Ca(OH)_2$). A gipsztartalmú mintákban a monokarbonát képződésével párhuzamosan ettringit ($C_3A{\cdot}3CaSO_4{\cdot}H_{32}$) AFt (aluminát-ferrit triszubsztituált) fázis képződést is megfigyeltük. Ez összhangban van Kuzel és munkatársai (1991), valamint Glasser és munkatársai (1999) megfigyelésével. A monoszulfát AFm (aluminát-ferrit monoszubsztituált) fázis CO_2 jelenlétében instabil, és a szulfát csoport kicserélődhet karbonát csoportra. Ez monokarbonát ($C_3A{\cdot}CaCO_3{\cdot}H_{11}$) AFm (aluminát-ferrit monoszubsztituált) fázis képződésével jár. A felszabaduló szulfátionok megnövelik a pórusoldat szulfátion koncentrációját, mely ún. másodlagos (vagy késleltetett) ettringit képződést (DEF) okoz.

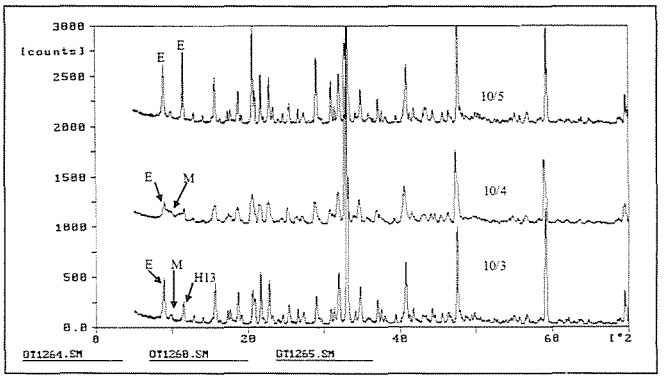
A 10/1 C_3A/gipsz tömegarányú *gőzölt* mintákban a hidrogránát fázis dominál, a többi fázis (monoszulfát, ettringit és C_4AH_{19}) intenzitásának növekedése is megfigyelhető 180 napos korig. A 10/2 C_3A/gipsz tömegarányú mintánál a természetesen szilárdult és a 90 °C hőmérsékleten gőzölt mintákban az ettringit a legintenzívebb fázis, a 60 °C hőmérsékleten gőzölt mintában a monoszulfát. 10/3 C_3A/gipsz tömegarányú mintában 1 napos korban a 60 °C-on gőzölt mintában a monoszulfát független, intenzív és viszonylag széles csúcsként jelenik meg, ettringit csak 180 napos korban mutatható ki különválva ettől a széles csúcstól. Az ugyanilyen összetételű, 90 °C hőmérsékleten gőzölt mintában viszont az ettringit mutatható ki nagy intenzitással és nagy félérték szélességgel, mely utóbbi az AFt (aluminát-ferrit triszubsztituált) és a AFm (aluminát-ferrit monoszubsztituált) fázisok szilárd oldatának képződésére utal (Taylor, 1990). Korábbi kutatások alapján megállapítható, hogy a C_3A/SO_3 (ill. C_3A/gipsz) aránytól függetlenül termodinamikailag lehetséges mindkét szulfáttartalmú vegyület (ettringit és monoszulfát) képződése. 25°C-on elsősorban ettringit kép-

ződik, lévén, hogy ennek a képződési reakciója a monoszulfát reakciójához viszonyítva alacsonyabb képződési entalpiát mutat (Rickert, 2004). Termodinamikai számítások szerint az átalakulási hőmérséklet ettringitből monoszulfátba 90°C körül van tiszta vízben (Mtschedlov-Petrosjan et al., 1985).

2. ábra: 1 napos korú, 10/0, 10/1 és 10/2 tömegarányú C_3A/gipsz minták röntgendiffraktogramjai, természetes szilárdulás esetén
Jelmagyarázat: H13 – C_3AH_{13}, H6 – C_3AH_6, E – etttringit, M - monoszulfát



3. ábra: 1 napos korú, 10/3, 10/4 és 10/5 tömegarányú C_3A/gipsz minták röntgendiffraktogramjai, természetes szilárdulás esetén
Jelmagyarázat: H13 – C_3AH_{13}, E – etttringit, M - monoszulfát

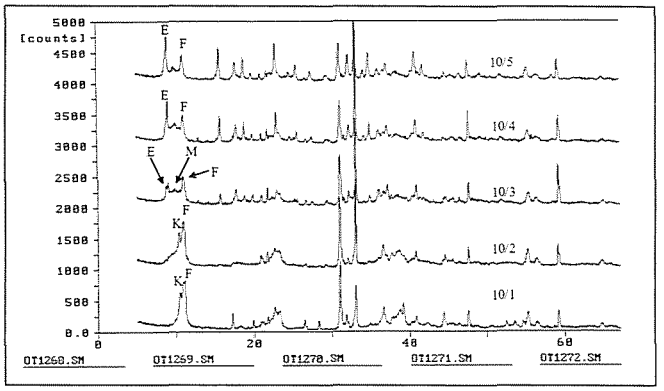


Megállapítottuk, hogy a gipsz hatására lelassuló hidratáció mértéke a hidratáció stabil végtermékével, a hidrogránát képződésével csak korlátozottan követhető nyomon. Ugyanis a 180 napos korig vizsgált mintákban nagyobb gipszadagolás mellett hidrogránát egyáltalán nem képződik. A 60 °C és a 90 °C hőmérsékleten végzett gőzölés eltérő hatással volt a fázisok kialakulására. Az 1 napos 60 °C-on gőzölt mintában a monoszulfát jelenléte és szilárd oldat képződése jellemző, míg a 90 °C-on gőzölt mintában az ettringit dominál. Az 1 napos 10/5 C_3A/gipsz tömegarányú, gőzöletlen mintában a szulfátutánpótlás, vagyis a gipsz teljes elfogyása előtt már kimutatható az ettringit mellett a monoszulfát.

A sókezelés hatására Friedel-só keletkezik minden gipszmentes mintában. A Friedel-só a 90 °C-on gőzölt, 90 napos mintában a legintenzívebb. A többi mintában a Friedel-só mennyisége növekszik 180 napos korig. A sókezelés után a mintákban a hidrogránát mennyisége csökken. A gipszmentes mintákban nem képződhet monoszulfát, tehát e szulfáttartalmú AFm (aluminát-ferrit monoszubsztituált) fázis hiányában valamelyik aluminát-hidrát köti meg a kloridionokat. Kimutattuk, hogy a sókezelés után a jelenlevő hidrogránát mennyisége csökken, ugyanakkor a sókezelt mintákban kloridtartalmú AFm (aluminát-ferrit monoszubsztituált) fázis, a Friedel-só keletkezik. Mindebből arra következtettünk, hogy a stabil hidrát, a hidrogránát is képes megkötni a kloridiont.

A sókezelt 10/1 és 10/2 tömegarányú, gőzöletlen C_3A/gipsz mintákban mind Friedel-só, mind Kuzel-só keletkezik. A Kuzel-só intenzitása nagyobb. Ettringit és monoszulfát szintén kimutatható a 10/2, 10/3, 10/4 és 10/5 C_3A/gipsz tömegarányú mintákban. A 10/3 és 10/4 tömegarányú mintákban a röntgendiffrakciós csúcsok kombinációja szilárd oldat keletkezését jelzi (*4. ábra*).

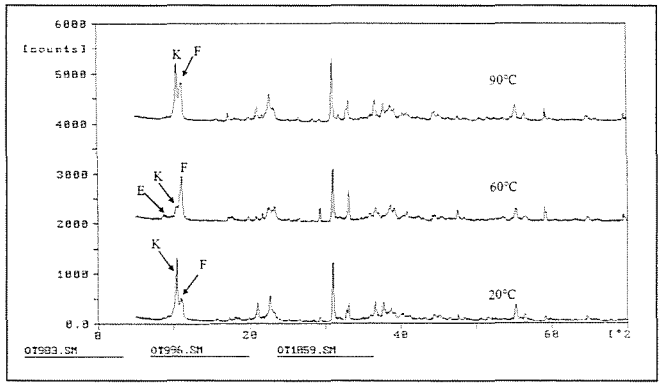
4. ábra: Természetes szilárdult, majd sókezelt, 56 napos korú 10/1-10/5 C_3A/gipsz tömegarányú minták röntgendiffraktogramjai (sókezelés 28 és 38 napos kor között)
Jelmagyarázat: K – Kuzel-só, F – Friedel-só, E – etttringit, M - monoszulfát



A sókezelt 10/1 C_3A/gipsz tömegarányú, 60 °C-on gőzölt mintában a Friedel-só mellett nem mutatható ki Kuzel-só. A 10/2 és 10/3 C_3A/gipsz tömegarányú mintákban Kuzel- és Friedel-sót is kimutattunk, utóbbi intenzitása alacsonyabb volt mindkét mintában. A 10/4 és 10/5 C_3A/gipsz tömegarányú, 60 °C-on gőzölt mintában e két kloridtartalmú fázis közül a Kuzel-só eltűnik, ugyanakkor megjelenik a monoszulfát.

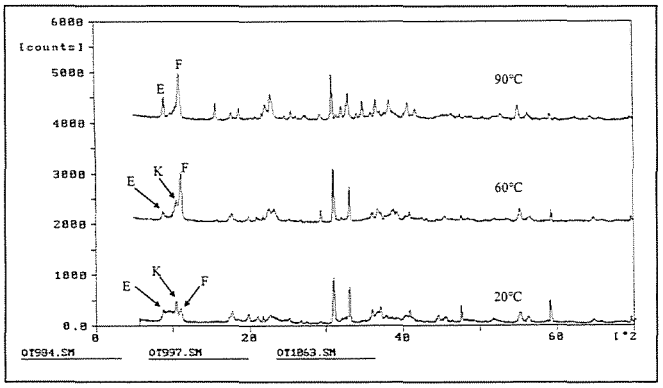
A sókezelt 10/1 C_3A/gipsz tömegarányú, 90°C-on gőzölt mintában Friedel-só keletkezik. Kuzel-só csak a 10/2 C_3A/gipsz tömegarányú mintában mutatható ki és ebben a mintában intenzitása kétszerese a párhuzamosan keletkező Friedel-sóénak (*5 – 7. ábrák*). A 10/3, 10/4 és 10/5 C_3A/gipsz tömegarányú mintákban monoszulfát képződése kimutatható kis intenzitással, ugyanakkor az ettringit intenzitása növekszik a gipsztartalom növelésével és a minta korával.

5. ábra: Különböző szilárdítású, majd sókezelt, 90 napos korú 10/2 C_3A/gipsz tömegarányú minták röntgendiffraktogramjai (sókezelés 28 és 38 napos kor között)
Jelmagyarázat: K – Kuzel-só, F – Friedel-só, E - ettringit

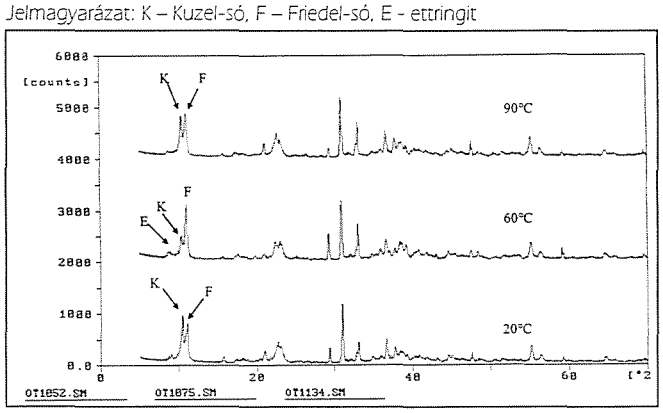


A röntgendiffrakciós vizsgálatok eredményeinek összefoglalása: a sókezelés hatására a hidrogránát fázis mennyisége jelentősen csökken. A sókezelés után a hidrogránát csak a 10/1 C_3A/gipsz tömegarányú, gőzöletlen, valamint a 10/1 és 10/2 C_3A/gipsz tömegarányú, gőzölt mintákban mutatható ki. Kuzel-sót azokban a mintákban mutattunk ki nagyobb intenzitással, ahol a sókezelés előtti, 28 napos korú mintában nem az ettringit, hanem a monoszulfát volt az uralkodó szulfáttartalmú hidrátfázis. A Friedel-só, mint egyedüli kloridtartalmú fázis keletkezése akkor tapasztalható, amikor a sókezelés előtti, 28 napos korú mintában az ettringit a jelentősebb. A Friedel-só és az ettringit mennyisége

6. ábra: Különböző szilárdítású, majd sókezelt, 90 napos korú 10/3 C_3A/gipsz tömegarányú minták röntgendiffraktogramjai (sókezelés 28 és 38 napos kor között)
Jelmagyarázat: K – Kuzel-só, F – Friedel-só, E - ettringit



7. ábra: Különböző szilárdítású, majd sókezelt, 180 napos korú 10/2 C_3A/gipsz tömegarányú minták röntgendiffraktogramjai (sókezelés 28 és 38 napos kor között)
Jelmagyarázat: K – Kuzel-só, F – Friedel-só, E - ettringit



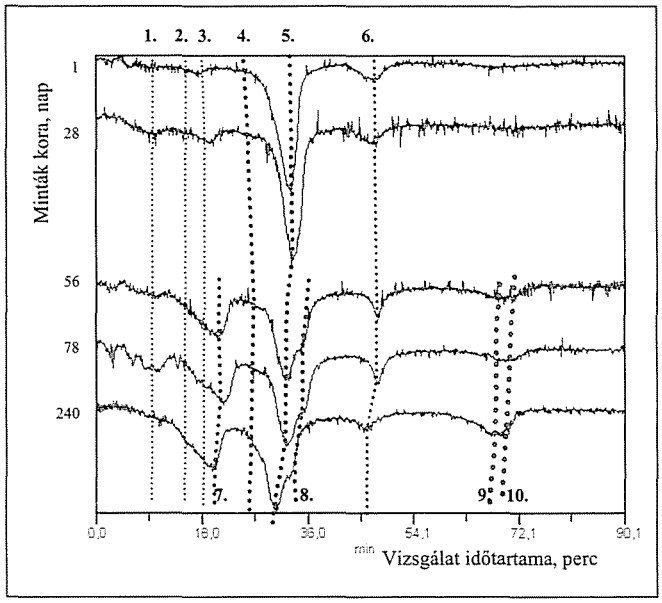
a sókezelt mintákban a vizsgált 180 napos korig növekedett. A sókezelés hatására a mintákban a monokarbo-aluminát fázis megszűnt, a sókezelést követően kalcium-, illetve nátrium-karbonátot lehetett kimutatni.

3.1.2 Vizsgálatok derivatográffal

Míg a röntgendiffrakciós módszerrel a keletkezett hidrátok minőségi elemzését végezhetjük el, a derivatográfos vizsgálati módszer ezek mennyiségi elemzését teszi lehetővé. Ez szimultán termoanalitikai módszer, mely egyidejűleg hoz létre TG (termogravimetriás), DTA (differenciál termoanalízis) és DTG (derivált termogravimetriás) jelet. A vizsgálat során kis mennyiségű (200 mg), porított mintát kemencetérben egyenletes felfűtési sebességgel kiizzítunk. Eközben analitikai mérleg méri a minta tömegében bekövetkező változásokat (TG-görbe), valamint termoelemek mérik a mintában bekövetkező hőreakciókat egy inert anyag kemencetérbeli hőmérsékletéhez képest (DTA-görbe). A TG görbe első deriváltját, a DTG görbét analóg módon állítja elő a készülék, mely a párhuzamosan zajló, tömegváltozással is járó reakciók elemzésében, a fázisok tömegváltozásainak szétválasztásában segít. A fenti három görbét, valamint a hőmérséklet (T) jelet is tartalmazó vizsgálati eredményt derivatogramnak nevezzük. A különböző hőmérsékleteken jelentkező hőreakciók, fázisátalakulások és tömegváltozások segítségével lehetséges a minta eredeti fázisösszetételének elemzése.

Példaként a gipszmentes minták derivatográfos vizsgálati eredményeit szemléltetjük. A sókezelés nélkül tárolt 1 és 28 napos korú, gipszmentes C_3A minták DTG görbéit, valamint a sókezelt mintákról 56, 78 és 240 napos korban készült DTG görbéket hasonlítjuk össze a *8. ábrán*. A legfontosabb különbség a Friedel-só dehidratációs reakcióiból származó DTG csúcsok megjelenése. Ez a kloridtartalmú AFm fázis összes víztartalmának közelítőleg 40%-át 120 °C hőmérsékletnél adja le (*7. jelű pontvonal a 8. ábrán*), és további (60%) vízleadást jelez a 310 °C-os DTG csúcs (*8. jelű pontvonal a 8. ábrán*).

8. ábra: Gipszmentes C_3A minták DTG görbéi különböző korokban, természetes szilárdulás esetén, sókezelés 28 és 38 napos kor között
Jelmagyarázat: 1. nedvességtartalom, 2 és 3. hexagonális hidrátok, 4. $Al(OH)_3$, 5 és 6. hidrogránát, 7 és 8. Friedel-só, 9. Na_2CO_3, 10. $CaCO_3$



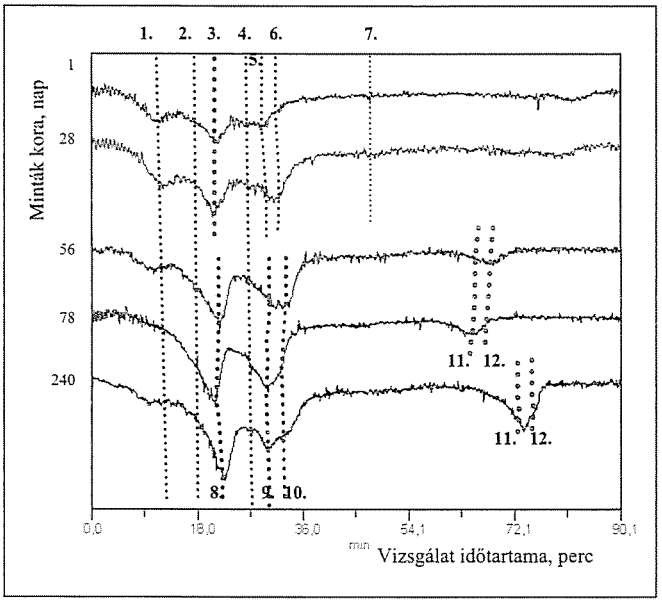
A monokarbonát hőbomlásához tartozó nagy hőmérsékletű (760 °C) DTG csúcs a sókezelt mintákban nem jelentkezik, helyette egy másik, általában kettős csúcs jelenik meg ~650 °C-nál. Ez a kettős DTG csúcs a nátrium- és kalcium-karbonát hőbomlásának tulajdonítható (*9 és 10. jelű pontvonal a 8. ábrán*).

A sókezelt 10/1 és 10/2 C_3A/gipsz tömegarányú mintákban röntgendiffrakcióval Friedel-són kívül a másik klorid-tartalmú AFm fázist, a Kuzel-sót is kimutattuk. Ez segítette a rendkívül összetett DTG görbék elemzését, valamint a Kuzel-só dehidratációs lépcsőinek azonosítását. *A szakirodalomban nem található a szintetikusan előállított, tiszta Kuzel-sóra vonatkozó termoanalitikai adat. A derivatográfiás vizsgálatok értékelése során a következőket állapítottuk meg: a 279 °C-os DTG csúcs a Kuzel-só dehidratációjának valószínűleg már a második lépcsője (9. jelű pontvonal a 9. ábrán). Az első dehidratációs reakció a Friedel-só hasonló, első dehidratációs lépcsőjéhez tartozó DTG csúcsával együtt jelentkezik. Ezért ennek a csúcsnak az intenzitása megnő (8. jelű pontvonal a 9. ábrán). Ennek az első dehidratációs lépcsőnek a DTG csúcshőmérséklete a monoszulfát dehidratációjának csúcshőmérsékletével közel azonos. A monoszulfátot a sókezelés mentes (1 és 28 napos korú) minták DTG görbéin a 3 és 5. jelű pontvonallal jelöltük (9. ábra). Röntgendiffrakciós vizsgálattal igazoltuk, hogy a sókezelést követően ezekben a (56, 78 és 240 napos korú) mintákban nincs monoszulfát. A monoszulfát és a Kuzel-só összetétele mindössze fél mólnyi szubsztituensben ($0,5\ Cl^-$) különbözik, ez ad magyarázatot a fent leírt, Kuzel-sóra vonatkozó termoanalitikai megállapításoknak* (*9. ábra*).

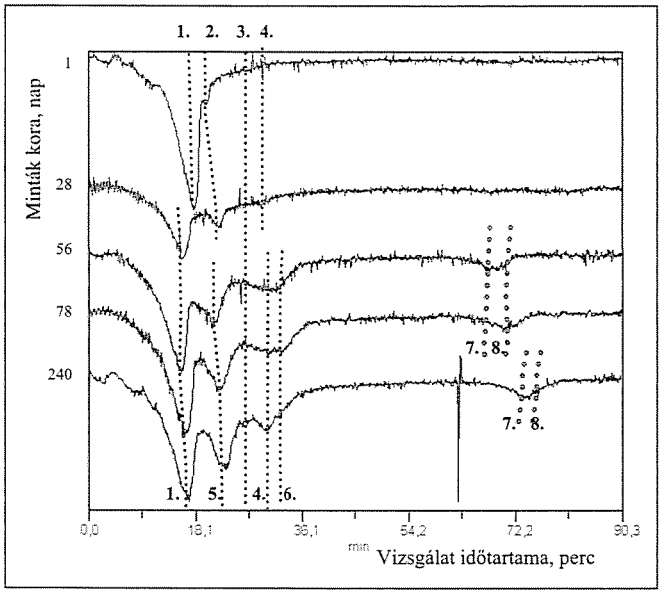
A nagyobb gipsztartalmú (10/4 és 10/5 C_3A/gipsz tömegarányú), sókezelt mintákban a szilárdítási módtól függetlenül csak Friedel-só keletkezik, Kuzel-sót nem lehetett kimutatni, ugyanakkor a sókezelést után is megjelenik a monoszulfát önálló fázisként (*4 és 5. jelű pontvonal a 10. ábrán*). Megfigyelhető, hogy a 28 napos (sókezelés előtti) mintáéhoz képest a sózott

minták ettringit tartalma nő (másodlagos ettringit képződés, DEF), a Friedel-só képződésekor felszabaduló szulfátionok hatására (*1. jelű pontvonal a 10. ábrán*). Meg kell jegyeznünk, hogy az 1. napos korú, 10/4 C_3A/gipsz tömegarányú minta erőteljes ettringit dehidratációja (*1. jelű pontvonal a 10. ábrán*) még az elsődlegesen, a minta bekeverésének pillanatában keletkező ettringitből származik. Ez a fázis 28 napos korra, a

9. ábra: A 10/1 C_3A/gipsz tömegarányú minták DTG görbéi különböző korokban, természetes szilárdulás esetén, sókezelés 28 és 38 napos kor között
Jelmagyarázat: 1. nedvességtartalom és ettringit, 2. hexagonális hidrátok, 3 és 5. monoszulfát, 4. $Al(OH)_3$, 6 és 7. hidrogránát, 8 és 10. Friedel-só, 9. Kuzel-só, 11. Na_2CO_3, 12. $CaCO_3$



10. ábra: A 10/4 C_3A/gipsz tömegarányú minták DTG görbéi különböző korokban, természetes szilárdulás esetén, sókezelés 28 és 38 napos kor között
Jelmagyarázat: 1. nedvességtartalom és ettringit, 2 és 4. monoszulfát, 3. $Al(OH)_3$, 5. monoszulfát és Friedel-só, 6. Friedel-só, 7. Na_2CO_3, 8. $CaCO_3$



szulfátok (gipsz) elfogyasztása után már részben monoszulfáttá alakult át (*10. ábra*).

Sókezelés után a monokarbonát nem mutatható ki, helyette nátrium- és kalcium-karbonát van jelen a rendszerben. Tehát a kloridionokat nemcsak a monoszulfát AFm fázis, hanem a monokarbonát AFm fázis is meg tudja kötni.

$$C_3A{\cdot}CaCO_3{\cdot}H_{11} + 2\ NaCl = C_3A{\cdot}CaCl_2{\cdot}H_{10} + H_2O + CO_3^{2-} + 2Na^+$$
$$C_3A{\cdot}CaSO_4{\cdot}H_{12} + 2\ NaCl = C_3A{\cdot}CaCl_2{\cdot}H_{10} + 2H_2O + SO_4^{2-} + 2Na^+$$

A derivatográfiás eredményeket a röntgendiffrakciós eredményekkel összevetve megállapítottuk, hogy a kloridionok egy részét a monokarbonát ($C_3A{\cdot}CaCO_3{\cdot}H_{11}$) AFm fázis, másik részét – a gipsztartalmú mintákban – a monoszulfát ($C_3A{\cdot}CaSO_4{\cdot}H_{12}$) AFm fázis köti meg:

Továbbá arra a következtetésre jutottunk, hogy a gipsztartalmú és sókezelés mentes mintákban a monokarbonát keletkezése, a gipsztartalmú és sókezelt mintákban pedig a Friedel-só keletkezése vezet másodlagos (késleltetett) ettringit képződéshez. A sókezelés hatására a monokarbonát kloridkötésekor felszabaduló karbonátionok és a sóoldatból származó Na^+-ionok reakciójából nátrium-karbonát keletkezik. A Ca^{2+}-ionok a hidratált kalcium-aluminát fázisok Ca^{2+}-ionjai, valamint a sókezelésből származó Na^+-ionok részleges ioncseréjével kerülhetnek a kalcium-karbonát képződésének reakciójába.

A TG és DTG görbék segítségével a dehidratációs tömegveszteségekből, valamint a Friedel-só sztöchiometriai adatai segítségével kiszámoltuk a Friedel-só tartalmat az izzítási maradékokra vonatkoztatva, majd ezekből kiszámoltuk a Friedel-só formájában kötött kloridtartalmat, szintén az izzítási maradékra vonatkoztatva (*2 és 3. táblázatok*).

2. táblázat: A sókezelt, különböző C_3A/gipsz tömegarányú minták Friedel-só ($C_3A{\cdot}CaCl_2{\cdot}H_{10}$) tartalma, a minták izzítási maradékára vonatkoztatva, a minták kora 90 nap, tömeg %

C_3A/gipsz tömegarány	A szilárdítás hőmérséklete		
	20 °C	60 °C	90 °C
10/0	23,0	33,4	39,5
10/1	18,9	32,7	42,2
10/2	18,4	44,3	44,5
10/3	16,7	46,9	39,9
10/4	16,5	34,3	32,3
10/5	15,3	27,1	32,2

3. táblázat: A sókezelt, különböző C_3A/gipsz tömegarányú minták Friedel-só formájában ($C_3A/F{\cdot}CaCl_2{\cdot}H_{10}$) kötött kloridion tartalma, a minták izzítási maradékára vonatkoztatva, a minták kora 90 nap, tömeg %

C_3A/gipsz tömegarány	A szilárdítás hőmérséklete		
	20 °C	60 °C	90 °C
10/0	2,9	4,2	5,0
10/1	2,4	4,1	5,3
10/2	2,3	5,6	5,6
10/3	2,1	5,9	5,0
10/4	2,1	4,3	4,1
10/5	1,9	3,4	4,0

Az eredményeket értékelve látható, hogy a megszilárdult minták sókezelését követően a gőzöléssel szilárdított mintákban keletkezett több Friedel-só. Továbbá, a természetesen szilárdult 10/1 és 10/2 tömegarányú mintában, ill. a gőzöléssel szilárdított 10/2 tömegarányú (60 °C és 90 °C), valamint a gőzöléssel szilárdított 10/3 C_3A/gipsz tömegarányú mintában (60 °C) a kémiailag kötött kloridtartalmat a Kuzel-só képződése is növeli. *Ez azt jelenti, hogy a 10/2 és 10/3 C_3A/gipsz tömegarányú gőzölt minták tartalmazzák a legtöbb, kémiailag kötött formában jelenlevő kloridot.*

3.3 A hasítóerő vizsgálata

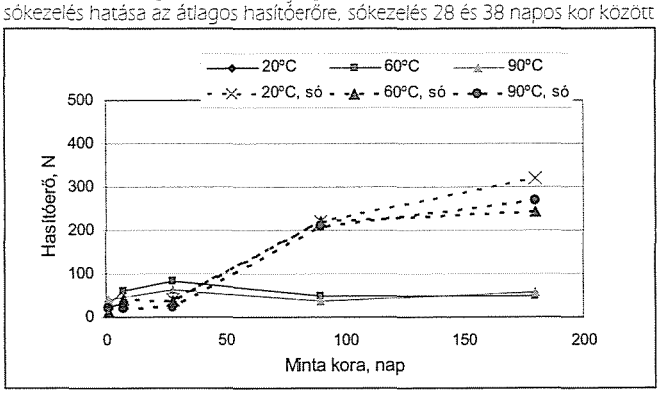
A gipszmentes (10/0) mintában a sókezelés hatására a hasítóerő (és így a hasító-húzószilárdság is) jelentősen meghaladja a sókezelés nélkül tárolt mintákét. Megfigyelhető a sókezelt minták hasítóerőinek további növekedése 180 napos korig (*11. ábra*).

A sókezelésnek legjelentősebb hatását (mindhárom szilárdulási hőmérsékleten) a gipszmentes próbatestek hasításakor tapasztaltuk. A sókezelt minták hasítóerő értékei a sókezelés nélkül tárolt mintákénak többszöröse. Ennek oka, hogy a

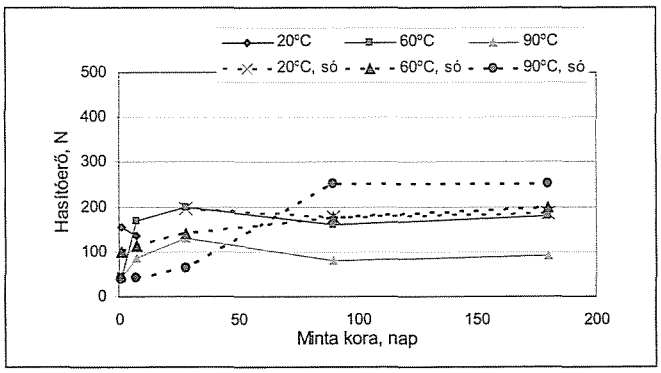
hexagonális hidrátok (pl. Friedel-só) sűrűsége kisebb, mint a szabályos rendszerben kristályosodó hidrogránáté, így a térkitöltés növekedése a porozitás csökkenését vonja maga után. A sókezelt 10/1 C_3A/gipsz tömegarányú próbatest hasítóerő értékei nagyobbak a sókezelés nélkül tárolt ugyanilyen összetételű mintákénál, de ez a különbség kevésbé számottevő, mint a gipszmentes (10/0) minta esetén (*12. ábra*).

A sókezelés hatására a 10/2, 10/3 és 10/4 C_3A/gipsz tömegarányú mintákban egyértelmű hasítóerő növekedést nem észleltünk, legfeljebb némi változást a kor hatására. 10/5 C_3A/gipsz tömegarányú minta esetén egyértelmű a csökkenés. Ez a másodlagos ettringit képződésnek tulajdonítható, mely duzzadással járó folyamat, és így a szilárdságot rontja. A gőzöléssel szilárdított próbatestek hasítóerő értékei nem térnek el egyértelműen a gőzöletlenekétől.

11. ábra: 10/0 (gipszmentes) C_3A/gipsz minta, a szilárdítási mód és a sókezelés hatása az átlagos hasítóerőre, sókezelés 28 és 38 napos kor között



12. ábra: 10/1 C_3A/gipsz tömegarányú minta, a szilárdítási mód és a sókezelés hatása az átlagos hasítóerőre, sókezelés 28 és 38 napos kor között



4. C_4AF – GIPSZ MINTÁK VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI

4.1 A fázisanalitikai vizsgálatok eredményei

Hasonlóan a *3.1 fejezetben* bemutatott, a C_3A/gipsz minták kloridion megkötő képességének megállapításához felhasznált kísérleti módszerekkel, a C_4AF/gipsz minták kloridion megkötő képességét is tanulmányoztuk. A röntgendiffrakciós és derivatográfiás vizsgálatok eredményei felhasználásával, a Friedel-só dehidratációjához tartozó tömegveszteségből kiszámoltuk a különböző tömegarányú C_4AF/gipsz minták Friedel-só tartalmát, valamint Friedel-só formájában kötött kloridion tartalmát, az izzítási maradékokra vonatkoztatva (*4 és 5. táblázatok*).

4. táblázat: A sókezelt, különböző C_4AF/gipsz tömegarányú minták Friedel-só ($C_3A/F{\cdot}CaCl_2{\cdot}H_{10}$) tartalma, a minták izzítási maradékára vonatkoztatva, a minták kora 90 nap, tömeg %

C_4AF/gipsz tömegarány	A szilárdítás hőmérséklete		
	20 °C	60 °C	90 °C
10/0	25,9	18,4	18,6
10/1	25,3	23,5	30,1
10/2	23,7	25,2	27,5
10/3	24,6	24,8	28,7
10/4	17,4	27,8	30,3
10/5	16,8	28,8	29,8

5. táblázat: A sókezelt, különböző C_4AF/gipsz tömegarányú minták Friedel-só formájában ($C_3A/F{\cdot}CaCl_2{\cdot}H_{10}$) kötött kloridion tartalma, a minták izzítási maradékára vonatkoztatva, a minták kora 90 nap, tömeg %

C_4AF/gipsz tömegarány	A szilárdítás hőmérséklete		
	20 °C	60 °C	90 °C
10/0	3,1	2,2	2,2
10/1	3,0	2,8	3,6
10/2	2,8	3,0	3,3
10/3	2,9	3,0	3,4
10/4	2,1	3,3	3,6
10/5	2,0	3,5	3,6

A vizsgált aluminát klinkerek (C_3A és C_4AF) kloridion megkötő képességének összehasonlítását, valamint a szilárdítási mód és a minták linkerásvány/gipsz tömegarányának hatását az *5. fejezetben* értékeljük.

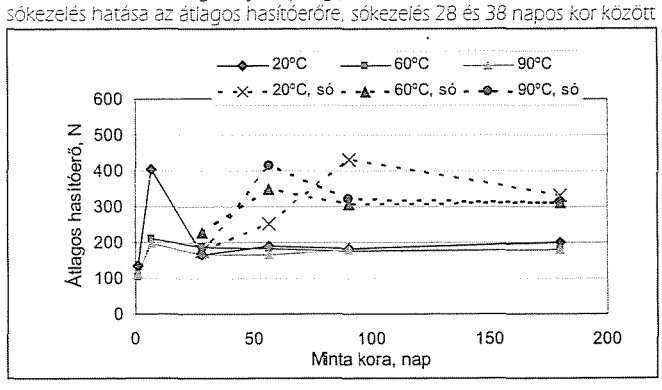
4.2 A C_4AF minták hasítóerő vizsgálati eredményei

Az *13–18. ábrákon* a különböző C_4AF/gipsz tömegarányú próbatestek hasítóerőit szemléltettük a minták kora és a szilárdítási hőmérséklet függvényében. Minthogy azonos méretű sablonokban készültek a próbatestek, az általunk vizsgált próbatestek méreteihez tartozó hasítóerők átlagát értékeljük összehasonlító eredményekként.

Minden ábrán látható a hasítóerők alakulása a sókezelés nélkül tárolt, valamint sókezelt minták esetében. A sókezelést a minták 28 és 38 napos kora között végeztük. C_4AF péphasábok esetén, minta összetételenként és vizsgálati koronként, 2-2 hasításra volt lehetőségünk. A sókezelt mintákat 28 napos korban, a sókezelést megelőzően is elhasítottuk.

A C_4AF próbatestek hasítóerői mérése alapján megállapítottuk, hogy a gipszmentes (10/0) mintában a sókezelés hatására az átlagos hasítóerő, és így az átlagos hasítószilárdság is, jelentősen meghaladja a sókezelés nélkül tárolt mintákét. A hőérlelt minták hasítóerői, a sókezelést követően, a 90 és 180 napos korú minták esetén a természetesen szilárdultétól alulmarad (*13. ábra*).

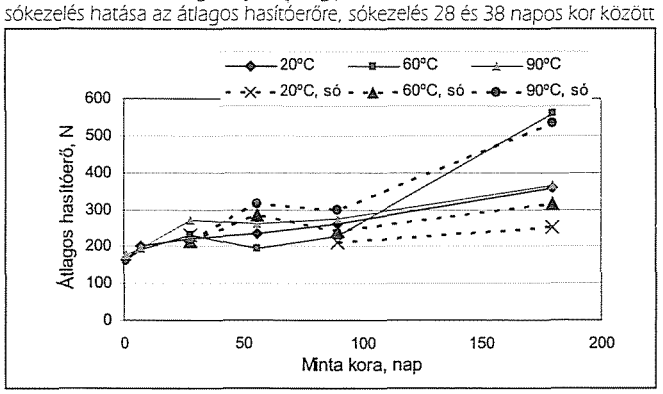
13. ábra: 10/0 tömegarányú C_4AF/gipsz minta, a szilárdítási mód és a sókezelés hatása az átlagos hasítóerőre, sókezelés 28 és 38 napos kor között



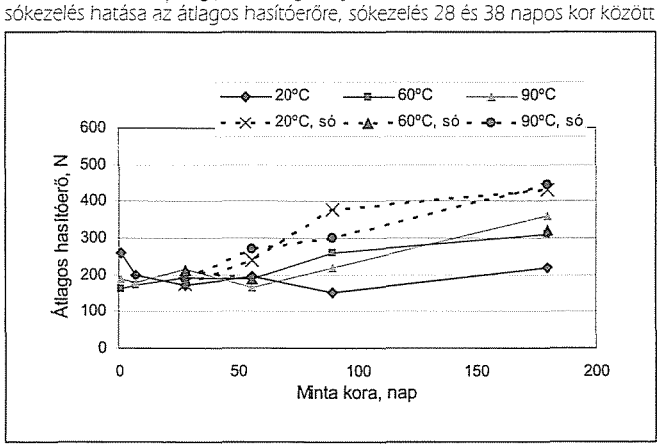
A 10/1 és 10/2 tömegarányú C_4AF/gipsz mintában az átlagos hasítóerő mind a sókezelés nélkül tárolt, mind a sókezelt minták

esetén nő az idő függvényében (*14. és 15. ábra*). A sókezelésnek nem tapasztaltuk olyan egyértelmű hatását az átlagos hasítószilárdságra, mint a 10/0 minta esetén. A 60 °C-on, ill. 90 °C-on szilárdított 10/1 tömegarányú mintákban a hidrogránát intenzitása többszöröse volt a természetesen szilárdultének. Az 56 napos korú, 60 °C-on szilárdított mintában a Kuzel-só intenzitása közel kétszerese volt a Friedel-sóénak. Monoszulfát és ettringit nem volt a mintákban. 90 napos korra főként a természetesen szilárdult mintában növekedett a Kuzel-só mennyisége, de a Kuzel-só intenzitásának növekedése a gőzölt mintákban is tapasztalható volt. Emellett a gőzölt mintákban nőtt a hidrogránát intenzitása is. A gőzölt 10/2 C_4AF/gipsz tömegarányú mintákban a Kuzel-só intenzitása többszöröse a Friedel-sóénak.

14. ábra: 10/1 tömegarányú C_4AF/gipsz minta, a szilárdítási mód és a sókezelés hatása az átlagos hasítóerőre, sókezelés 28 és 38 napos kor között

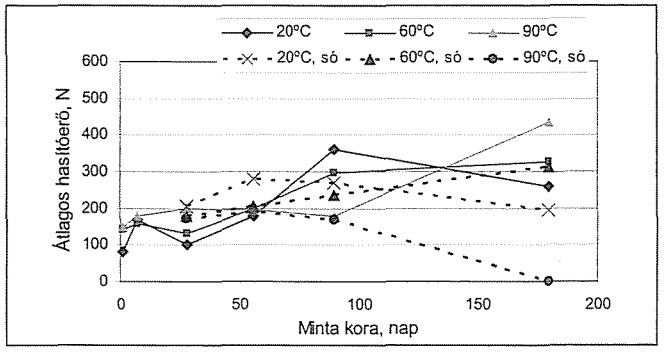


15. ábra: 10/2 C_4AF/gipsz tömegarányú minta, a szilárdítási mód és a sókezelés hatása az átlagos hasítóerőre, sókezelés 28 és 38 napos kor között



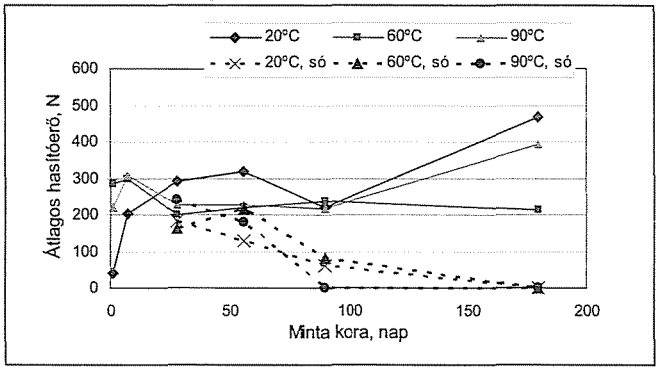
A 10/3 C_4AF/gipsz tömegarányú mintában az átlagos hasítóerő a sókezelés nélkül tárolt minták esetén kedvezőbben alakul, mint a sókezelt mintáknál. A sókezelt minták esetén a hasítószilárdság csökken a kor függvényében (*16. ábra*). A Kuzel-só már csak a 60 °C-on gőzölt mintában jelent meg, mint gyenge intenzitású önálló fázis. Ugyanakkor mindhárom szilárdítás esetén kimutattuk a monoszulfátot önálló fázisként.

16. ábra: 10/3 C_4AF/gipsz tömegarányú minta, a szilárdítási mód és a sókezelés hatása az átlagos hasítóerőre, sókezelés 28 és 38 napos kor között

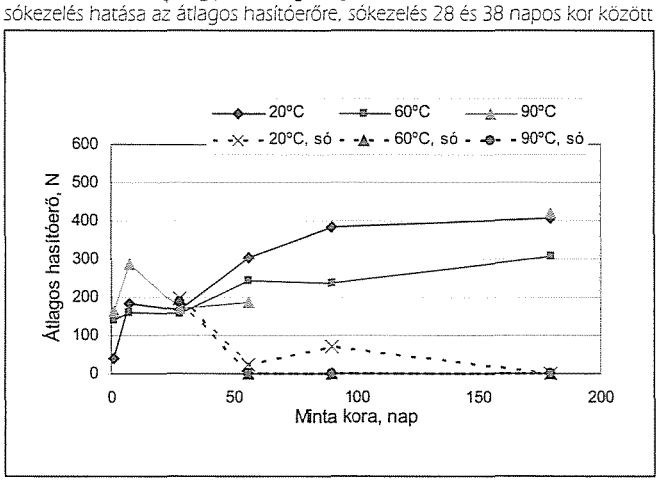


A 10/4 és 10/5 C_4AF/gipsz tömegarányú mintában az átlagos hasítóerő a sókezelés nélkül tárolt minták esetén a kor függvényében kis mértékben nő, míg a sókezelt minták esetén a csökken (*17. és 18. ábra*). A sókezelést követően a nagyobb gipsztartalmú minták szilárdsága idővel mérhetetlenné vált. Ez a 90°C-os hőérlelt minták esetén a következőképpen alakult: 10/5 klinker/gipsz összetételű minta a sókezelést követően már az első vizsgálati időpontig (56 nap) elvesztette szilárdságát, szétesett. A 10/4 minta szilárdsága a következő mérési időpontban, 90 napos korban, míg a 10/3 minta szilárdsága 180 napos korban vált mérhetetlenné.

17. ábra: 10/4 C_4AF/gipsz tömegarányú minta, a szilárdítási mód és a sókezelés hatása az átlagos hasítóerőre, sókezelés 28 és 38 napos kor között



18. ábra: 10/5 C_4AF/gipsz tömegarányú minta, a szilárdítási mód és a sókezelés hatása az átlagos hasítóerőre, sókezelés 28 és 38 napos kor között



Továbbá megállapítottuk, hogy 180 napos korra a 10/4, illetve 10/5 C_4AF/gipsz tömegarányú összetételű, sókezelés nélkül tárolt minták esetében a természetesen szilárdult minta hasítóerői megközelítették a 90 °C-on hőérlelt minta hasítóerőit, míg a 60 °C-on hőérlelt minta hasítóerői ezeknél kisebb.

A gipszmentes mintán mért átlagos hasítóerők sókezelést követően mindhárom szilárdítás esetén jelentősen nőnek a sókezelés előttihez képest (28 napos), valamint az azonos korú sókezelés nélkül tároltakéhoz képest. A gipszmentes mintában a szilárdítási mód nem befolyásolja az átlagos hasítóerő alakulását. A gipszmentes C_3A, illetve C_4AF minták hasítóeőinek növekedése a sókezelést követően a hidrogránátból keletkező klorid-AFm fázis, Friedel-só nagyobb térigényével magyarázható. A Friedel-só sűrűsége kisebb, mint a hidrogránáté, így a porozitás csökkenéssel járó átalakulás a hasítóerő növekedését okozza.

A gipsztartalmú mintákban az átlagos hasítóerők mind a sókezelt, mind a sókezelés nélkül tárolt mintákat tekintve a gőzöléssel szilárdított 10/1, valamint 10/2 C_4AF/gipsz tömegarányú mintákban alakulnak a legkedvezőbben. 10/3, 10/4 és 10/5 gőzölt minták hasítóerő értékei ugyan 180 napos korig általában nőnek, de ezek az értékek a sókezelést követően

jelentősen romlanak, vagy mérhetetlenné válnak. 10/3 és 10/4 C_4AF/gipsz tömegarányú minta esetén, a sókezelést követően a 90 °C-on gőzölt minta átlagos hasítóereje romlik nagyobb mértékben. 10/5 tömegarányú minta esetén, a sókezelést követően mindkét gőzölt minta szilárdságát gyakorlatilag elveszti, szétesik. A kisebb gipszadagolásnál, a 10/1 és 10/2 aluminátklinker/gipsz tömegarányú pépmintákban a kloridion megkötés főként a szulfáttartalmú klorid-AFm vegyületet, a Kuzel-sót hozza létre, így a másodlagos ettringit képződés nem, vagy csak kis mértékben figyelhető meg. Ez magyarázza azt, hogy ezekben e mintákban nem figyelhető meg a jelentős szilárdságcsökkenés. A nagyobb gipszadagolásnál, a 10/3, 10/4 és 10/5 tömegarányú aluminátklinker/gipsz mintákban a Friedel-só képződése a szulfát felszabadulásával jelentős, duzzadással járó másodlagos ettringit képződéshez vezet. Ez az oka a megfigyelhető szilárdságvesztésnek.

Ugyan minden vizsgálati korban csak 2-2 párhuzamos hasítási eredményünk volt, az ábrákból arra a következtetésre jutottunk, hogy a hasítóerők (és így a hasítóhúzó-szilárdság) csak akkor csökken, ha a C_4AF/gipsz tömegaránya a mintában 10/4 és 10/5. Továbbá az is megállapítható, hogy a 10/0, 10/1, 10/2 és 10/3 mintában a gőzölés nem rontja a hasítóerőt.

5. A C_3A ÉS C_4AF KLINKERÁSVÁNYOK KLORIDION MEGKÖTŐ KÉPESSÉGE

A *2 és 4. táblázatok* értékeit oszlopdiagramokon is ábrázoltuk (*19 és 20. ábrák*). A 10/0 és 10/1 klinker/gipsz tömegarányhoz tartozó értékeket összehasonlítva, látható, hogy a gipsz hozzáadása a szulfáttartalmú AFm (monoszulfát) keletkezésével, majd annak kloridkötésével először megnöveli a Friedel-só mennyiségét a mintában. 10/5 klinker/gipsz tömegarányú mintánál a szulfát növelése csökkenő Friedel-só képződéssel jár. A Kuzel-só képződése a kémiailag kötött kloridion tartalom további növekedését eredményezi, ezt a növekményt a diagramok nem tartalmazzák. A tiszta (szintetikusan előállított) Kuzel-só szakirodalmi, termogravimetrikus adatainak hiányában a Kuzel-só mennyiségének számítására nem vállalkoztunk.

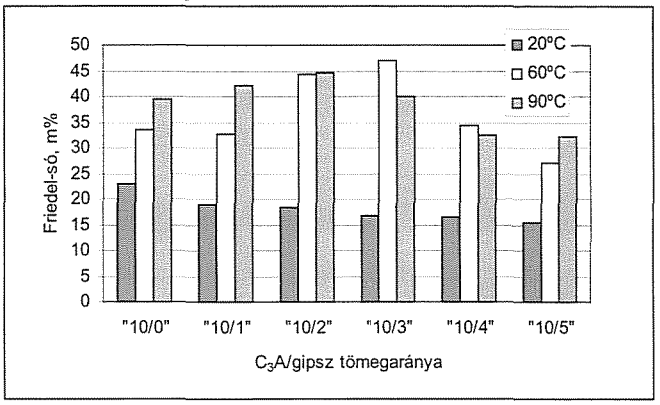
Megállapítottuk, hogy

- *a kis gipsztartalmú (10/1, 10/2 és 10/3 aluminát/gipsz tömegarányú) mintákban keletkezik több Friedel-só, valamint a kimutatott Kuzel-só a kémiailag kötött formában jelenlevő kloridtartalom további növekedését eredményezi ezekben a mintákban;*
- *a C_3A és C_4AF klinkerásványok kloridion megkötő képességét a gőzölés javítja;*
- *a kloridion megkötő képesség növekedése a gőzölés hatására C_3A klinkerásvány esetén nagyobb (13. ábra), mint a C_4AF klinkerásvány esetén (14. ábra);*
- *C_4AF klinkerásvány esetén a 90 °C-on hőérlelt, gipsztartalmú mintákban keletkezik több Friedel-só.*

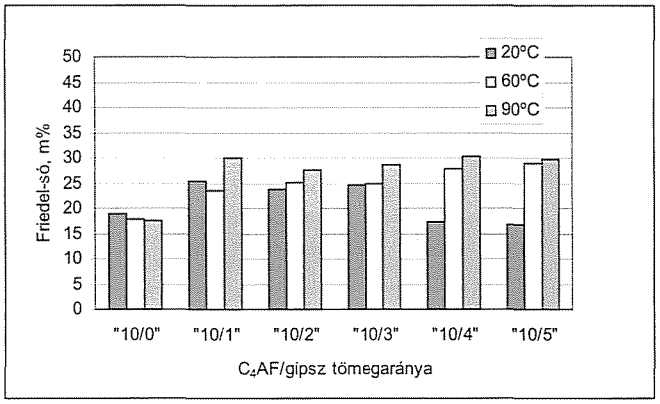
6. MEGÁLLAPÍTÁSOK

Laboratóriumi kísérleteink során különböző tömegarányú aluminát és gipszkő tartalmú minták hidratációs folyamatát vizsgáltuk. A minták természetes körülmények között szilárdultak, vagy gőzöléssel szilárdítottuk azokat 60 °C, illetve 90 °C hőmérsékleten. Elemeztük a szilárdítási mód hatását, valamint a 28 napos, megszilárdult mintákon végzett sókezelés hatását. Ez utóbbival a téli jégmentesítő sózás hatását modelleztük. A minták korának függvényében vizsgáltuk a kémiailag kötött

19. ábra: A Friedel-só mennyisége a mintaösszetétel (C_3A/gipsz tömegaránya) és a szilárdítási hőmérséklet függvényében, az izzítási maradékokra vonatkoztatva, tömeg %



20. ábra: A Friedel-só mennyisége a mintaösszetétel (C_4AF/gipsz tömegaránya) és a szilárdítási hőmérséklet függvényében, az izzítási maradékokra vonatkoztatva, tömeg %



kloridionok mennyiségének változását valamint a hasítóerő alakulását.

1. A gipsztartalmú aluminát (C_3A, valamint C_4AF) pépmintákban, nagyobb gipsztartalom esetén (10/3, 10/4 és 10/5 klinker/gipsz tömegarányú mintánál) a gőzölés hidratációt gyorsító hatása következtében sem jön létre a vizsgált 180 napos korig a stabil fázisnak tekintett hidrogránát. A hidratációt az ettringit – monoszulfát (AFt – AFm) fázisok egyensúlya jellemzi.
2. Igazoltuk, hogy a hidratált, gipszmentes C_3A, illetve C_4AF pépmintákban sókezelést követően a Friedel-só a szulfáttartalmú AFm fázisból (a monoszulfátból) nem jöhet létre, hanem a stabil fázisnak tekintett hidrogránátból képződik. A sókezelést követően a hidratált, gipszmentes C_3A, illetve C_4AF pépminták jelentős hasító-húzószilárdság növekedését tapasztaltuk, ami a hidrogránátból keletkező Friedel-só nagyobb térigényével, és így a porozitás csökkenésével magyarázható.
3. Felismertük, hogy a monokarbonát (kalcium-monokarboaluminát) is megköti a kloridionokat, és ez a kloridkötés a hidratált aluminát/gipsz mintákban nátrium- és kalciumkarbonát képződését vonja maga után.
4. Kísérletileg igazoltuk, hogy a C_3A és C_4AF klinkerásványok kloridion megkötő képességét a gőzölés javítja. A kloridion megkötő képesség növekedése a gőzölés hatására C_3A klinkerásvány esetén nagyobb, mint a C_4AF klinkerásvány esetén.
5. Kis gipsztartalom esetén (10/1 és 10/2 aluminátklinker/gipsz tömegarányú mintákban), sókezelést követően Friedel-són kívül Kuzel-só (szulfáttartalmú klorid-AFm vegyület) is keletkezik, mely a kémiailag kötött formában jelenlevő kloridtartalom további növekedését eredményezi. A Kuzel-só keletkezése nem jár másodlagos ettringit képződéssel és nem okozza a hasító-húzószilárdság csökkenését. Nagyobb

gipsztartalom esetén (10/3, 10/4 és 10/5 aluminátklinker/gipsz tömegarányú mintákban), sókezelést követően Kuzel-só nem keletkezik, a kloridionok csak Friedel-só formájában kötődnek meg, amit szulfátionok felszabadulásával másodlagos ettringit képződéshez vezet. A másodlagos ettringit képződés duzzadással járó folyamat, ez az átalakulás a hasítóerő értékek csökkenését is eredményezi.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Megköszönjük az OTKÁ-nak a T 034467 számú a „Téli sózásnak kitett, gőzölt vasbeton szerkezetek tartósságának elvi kérdései" című kutatási projekt támogatását. A szerzők köszönetet mondanak Felszeghy Csabánénak és Kovács S. Bélánénak a mintaelőkészítésben és a vizsgálatok elvégzésében nyújtott segítségéért.

8. HIVATKOZÁSOK

Balázs Gy., Kopecskó K. (2003), „A beton kloridion megkötő képessége", *Vasbetonépítés*, V. évf. 1. szám, 2003/1, pp. 4-9.

Friedel, P. M. (1897), „Sur un Chloro-aluminate de Calcium Hydraté se Maclant par Compression", *Bulletin Soc. Franc. Minéral*, Vol 19, pp. 122-136.

Glasser, F. P.; Kindness, A. and Stronach, S. A. (1999), „Stability and solubility relations in AFm phases, Part I. Chloride, sulfate and hydroxide", *Cement and Concrete Research*, Vol. 29 (6), 861-866.

Kopecskó K. (2006), „A gőzölés hatása a cement klinkerek és cementek kloridion megkötő képességére", PhD értekezés, Budapest 2006, p. 100.

Kuzel, H.-J. (1966), „Röntgenuntersuchung im System $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot nH_2O - 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot nH_2O - H_2O$", *Neues Jahrbuch Mineralog. Monatsh.*, pp. 193-200.

Kuzel, H.-J. and Pöllmann, H. (1991), „Hydration of C_3A in the presence of $Ca(OH)_2$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ and $CaCO_3$", *Cement and Concrete Research*, Vol. 20 (6), pp. 885-895.

Mtschedlov-Petrosjan, O. P.; Babuskin, V. J. and Matveev, G. M. (1985), „Thermodynamics of Silicates", *Springer Verlag*, New York, Heidelberg

Rickert, J. (2004), „Zum Einfluss von Langzeitverzögerern auf der Basis von Phosphonsäure auf die Hydratation einzelner Klinkerphasen, Portlandzementklinker und Portlandzemente", *Schriftenreihe der Zementindustrie*, Heft 65/2005, Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf, pp. 5-6.

Talabér J. (1966), „Cementipari kézikönyv", *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest, pp. 25-27, 167, 239.

Taylor, H. F. W. (1990), „Cement Chemistry", *Academic Press Ltd*, London and San Diego, pp. 173-174.

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
$c = CO_2$	CO_2-vel kifejezett karbonát
$s = SO_3^{2-}$	SO_3^{2-}-mal kifejezett szulfát
$H = H_2O$	víz

Szilikátkémiai képletek és a nekik megfelelő sztöchiometriai képlet:

C_3A	$(3CaO \cdot Al_2O_3)$	trikalcium-aluminát
C_4AF	$(4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3)$	tetrakalcium-aluminát-ferrit (brownmillerit)
CH	$(Ca(OH)_2)$	kalcium-hidroxid (mészhidrát, portlandit)
Cs	$(CaSO_4)$	kalcium-szulfát (anhidrit)
Cc	$(CaCO_3)$	kalcium-karbonát (kalcit, vaterit)
CsH_2	$(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$	gipsz
C_3AH_6	$(3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\ H_2O)$	hidrogránát
C_4AH_{13}		hexagonális hidrát
C_2AH_8		hexagonális hidrát
AH_3	$(2\ Al(OH)_3$	alumínium-hidroxid

További fontos képletek (ezeknél a fázisoknál az irodalomban a vegyes írásmód – szilikátkémiai és sztöchiometriai képletek egyidejű alkalmazása – a gyakoribb):

$C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot H_{32}$ $(C_3A \cdot 3Cs \cdot H_{32})$	ettringit
$C_3A \cdot CaSO_4 \cdot H_{12}$ $(C_3A \cdot Cs \cdot H_{12})$	monoszulfát
$C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$	Friedel-só
$C_3F \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$	Friedel-só vasanalógja
$C_3A \cdot 0{,}5CaSO_4 \cdot 0{,}5CaCl_2 \cdot H_{12}$	Kuzel-só
$C_3F \cdot 0{,}5CaSO_4 \cdot 0{,}5CaCl_2 \cdot H_{12}$	Kuzel-só vasanalógja
$C_3A \cdot CaCO_3 \cdot H_{12}$ $(C_3A \cdot Cc \cdot H_{12})$	monokarbonát (kalcium-monokarbo-aluminát)
Na_2CO_3	nátrium-karbonát
$CaCO_3$	kalcium-karbonát

Egyéb használt rövidítések:

AFt	aluminát-ferrit triszubsztituált fázis
AFm	aluminát-ferrit monoszubsztituált fázis
DEF	másodlagos vagy késleltetett ettringitképződés (Delayed Ettringite Formation)

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 derivatográfos termoanalitikai (TG/DTG/DTA) és röntgendiffrakciós porvizsgálati (XRD) módszerekkel. A *fib* Magyar Tagozata és az SZTE tagja.

CHLORIDE BINDING IN CONCRETE

1. CHLORIDE ION BINDING CAPACITY OF C_3A AND C_4AF ALUMINATE CLINKER

Dr. Katalin Kopecskó – Prof. György Balázs

The chemically bound chloride ions did not induce corrosion of steel reinforcement. Only the calcium-aluminates (C_3A and C_4AF) of cement clinker minerals are able to bind chloride ions. The aim of research was to study the hydration process and the chloride ion binding capacities of calcium-aluminates. Samples made with different aluminate-gypsum mass ratio (from 10/0 to 10/5) 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 splitting 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). The experimental results on C_3A and C_4AF samples (prepared without gypsum) indicated that Friedel's salt can not be produced from monosulphate; however, it is produced from the stable hydrogarnet. We have experimentally shown that steam curing improves the chloride ion binding capacity of C_3A and C_4AF cement clinkers. In cases of low gypsum content (samples of 10/1 and 10/2 aluminate clinker/gypsum mass ratio) after salt treatment not only Friedel's salt but also Kuzel's salt were detected. Formation of Kuzel's salt does not lead to delayed ettringite formation causing expansion and than deterioration of cement stone.

A BETON TEHERVISELÉSI MÓDJÁNAK HATÁSA A TŰZTERHELÉST KÖVETŐ MARADÓ NYOMÓSZILÁRDSÁGRA

Majorosné Lublóy Éva – Dr. Balázs L. György

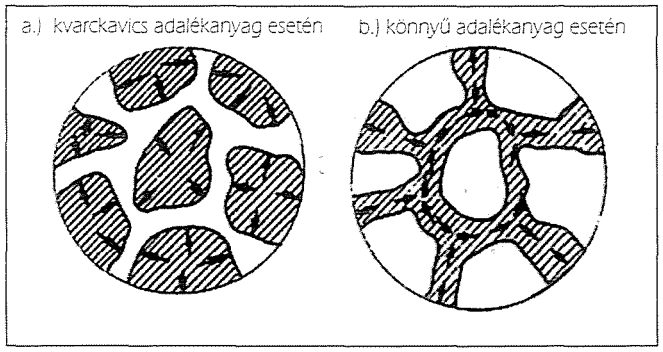
A betonok nyomószilárdságának változását a hőterhelés hatására a beton teherviselési módja is lényegesen befolyásolja. Jelen cikk kereteiben két eltérő teherviselési módú beton maradó nyomószilárdságának és kontakt zónájának (adalékanyag és cementkő határfelülete) hőhatására bekövetkező változását szeretnénk szemléltetni. A kvarckavics és a könnyűadalékos betonok között a tűzterhelés után a maradó szilárdság értékeiben különbség mutatkozik. Az eltérés okát a beton teherviselés módjában és a kontakt zóna jellegének alakulásában kereshetjük. Vizsgálataink során ezeket az okokat elemeztük.

Kulcsszavak: tűzterhelés, agyagkavics, kvarckavics, könnyűbeton, ettringit, portlandit

1. A BETON TEHERVISELÉSI MÓDJA KÖZÖNSÉGES- ÉS KÖNNYŰBETONOK ESETÉN

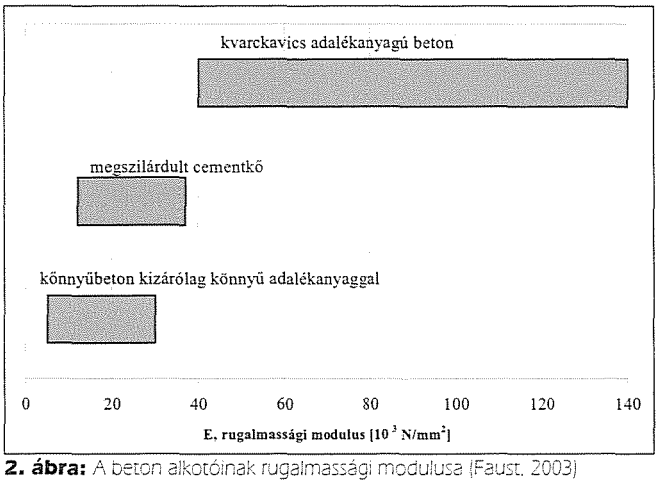
A beton tűzterhelés után maradó nyomószilárdságát nagymértékben befolyásolja a teherátadás módja. A teherátadási mód a beton egyes alkotóelemeinek egymáshoz viszonyított szilárdsági és merevségi viszonyaitól függ.

A nyomásból származó igénybevételek a nagyobb szilárdságú és nagyobb merevségű összetevőn keresztül adódnak át. A teherátadás módja lényegesen különböző *(1.a.,b. ábra)* a kvarckavics adalékanyagos és a könnyű adalékanyagos betonok esetén.



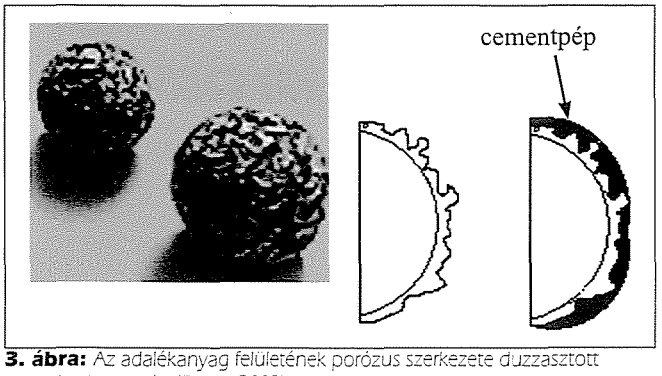
1.ábra: A belső teherátadás módja (*Romić, Lazić, 1985*)

A kvarckavics adalékanyagú betonnál a habarcsrétegnek kell közvetíti az adalékanyag szemcsék között a teher jelentős részét, de a teherviselés elsősorban az adalékszemcsék feladata. A közönséges betonok esetén a beton tönkremenetele a kontakt zónában következik be. Ezt az kvarckavics adalékanyag és cementkő rugalmassági modulusának az eltérése, illetve az adalékanyag felületén lerakodott portlandit (kalciumhidroxidok) és ettringit ($3CaOAl_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) réteg okozza. Az adalékanyag felületén egy vékony réteg víz válik ki, és itt kristályosodik ki a portlandit, illetve az ettringit. A nyomófeszültség trajektóriái az adalékanyag szemcséken keresztül futnak, ezért a közönséges betonok nyomószilárdságát alapjában véve a gyengébb cementkő-váz szilárdsága határozza meg. A kontakt zóna szilárdságát növelni lehet például szilikapor hozzáadásával. A szilikapor nagyszilárdságú betonok jellemző kiegészítő anyaga. A nagyszilárdságú betonok esetén azonban a kalcium-hidroxid a szilikaporral reakcióba lép, és kalcium-szilikahidrát képződik, ami az adalékanyag szemcsék felületén lerakódott réteg szilárdságát növeli. A nagyszilárdságú betonok jellemző tönkremeneteli helye nem a kontakt zóna, hanem a tönkremenetelt az adalékanyag szemcse tönkremenetele okozza.



2. ábra: A beton alkotóinak rugalmassági modulusa (Faust, 2003)

A könnyűbetonban az adalékanyag könnyebben összenyomható, a teherviselés elsődlegesen a habarcsváz feladata. Az adalékanyag szemcsék csak kismértékben vesznek részt a teherviselésben (Ujhelyi, 1995; Faust, 2000). A teherátadás módjának megváltozásának az oka az, hogy a cementkő és a könnyű adalékanyagok rugalmassági modulusa jóval közelebb van egymáshoz (*2. ábra*), mint a kvarckavics és a cementkő rugalmassági modulusa. Könnyűbetonok esetén az adalékanyag porózus szerkezete miatt a kontakt zóna lényegesen nagyobb szilárdságú. Az adalékanyag porózus felülete miatt az adalékanyag felületén lévő pórusokba a cementpép behatol, mintegy fogazattal ellátott kapcsolat jön létre. Az adalékanyag pórusaiba behatolt cementpép mennyisége az adalékanyag mikrostruktúrájától, a cement finomságától, és a cementpép viszkozitásától függ (Zhang, Gjorv, 1990). A nyomófeszültség trajektóriái az adalékanyag szemcséi között futnak.



3. ábra: Az adalékanyag felületének porózus szerkezete duzzasztott agyagkavics esetén (Faust, 2003)

A beton szerkezetének modellezése során a kizárólag könnyű adalékanyaggal készült betonokat kétkomponensű rendszerként (adalékanyag+cementváz) kezelhetjük, a közönséges betonokat azonban háromkomponensű (adalékanyag+cementváz+kontaktzóna) anyagként kell kezelni. A homokkal készült könnyűbetonok a könnyű adalékanyag szemcséi mellett kétkomponensű viselkedést mutatnak, a homokszemcsék mellett azonban három-komponensű a viselkedésük.

2. A BETON SZERKEZETÉNEK ÁTALAKULÁSA TŰZHATÁS KÖVETKEZTÉBEN

A beton szerkezete és ásványtani összetétele megváltozik magas hőmérséklet hatására. A betonban lejátszódó kémiai folyamatok alakulását a hőmérséklet növekedésének hatására derivatográfiás és termoanalitikai módszerrel (TG/ DTG/ DTA) vizsgáltuk. A TG (termo-gravimetriás) és a DTG (derivált-termo-gravimetriás) görbék segítségével a tömegváltozással járó átalakulások mennyiségi elemzése lehetséges. A DTA (differenciál-termo-analízis) görbékkel nyomon követjük a mintákban a hőmérséklet növekedésének hatására exoterm (hőtermelő) vagy endoterm (hőelnyelő) folyamatok alakulását.

A *4. ábrán* összefoglalva ábrázoltuk a betonban külömböző hőmérsékleten lejátszodó kémiai folyamatokat. 100°C körül a tömegveszteséget a makropórusokból távozó víz okozza. Az ettringit ($3CaOAl_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) bomlása 50°C és 110°C között következik be. 200°C körüli hőmérsékleten további dehidratációs folyamatok zajlanak le, ami a tömegveszteség kismértékű növekedéséhez vezet. A különböző kiindulási nedvességtartalommal vizsgált próbatesteknek eltérő tömegvesztesége lesz egészen addig, míg a pórusokban lévő víz és a kémiailag kötött víz távozik. Ez a különbség jelentős mértékben megmutatkozhat a könnyűbetonok esetében. 250°C-300°C között ez a hatás már nem érezhető (Khoury, Grainger, Sullivan, 1985). 450°C és 550°C között a nem karbonátosodott portlandit bomlása következik be ($Ca(OH)_2 \rightarrow CaO+H_2O\uparrow$). Ez a folyamat egy endoterm csúcsot okoz és ezzel egyidejűleg tömegveszteséget is (Schneider, Weiß, 1977). A közönséges betonok esetén a kvarc $\alpha \rightarrow \beta$ kristályátalakulás 573°C-on okoz kis intenzitású endoterm csúcsot. A kvarc átalakulása 5,7%-os térfogat növekedéssel jár (Waubke, 1973), és ezzel a beton lényeges károsodását okozza. 700°C-on a CSH (kalcium-szilikát-hidrát) vegyületek vízleadással bomlanak, ami szintén térfogat növekedéssel jár (Hinrichsmeyer, 1989). Ez a folyamat mind a könnyű, mind a közönséges betonok esetén lejátszódik és jelentős szilárdságcsökkenést okoz.

Itt megjegyezzünk, hogy a beton pórusszerkezete három részből tevődik össze: a cementkő porozitása, a porozitás az adalékanyag felülete és a cementkő között (kontakt zóna), valamint az adalékanyag porozitása. Az utóbbi csak nagy porozitású adalékanyagoknál játszik szerepet, pl.: könnyűbetonoknál.

A kvarckavics adalékanyagú betonoknál 150°C-ig a cementkő porozitása, valamint az adalékanyag és a cementkő közötti kontakt zóna porozitása nő. A kontakt zónában 150°C-ig repedések keletkezhetnek, amit az adalékanyag és cementkő különböző lineáris hőtágulási együtthatójával magyarázhatunk. A cementkő struktúrája 450°C-ig stabil, de mikrorepedések már e hőmérséklet alatt is keletkezhetnek. 450°C-550°C között azonban a portlandit bomlása miatt a pórusok száma megnő, ezután 650°C-ig a cementkő felépítése nem változik meg, e felett a CSH vegyületek bomlása megkezdődik és a kapillárisok száma megnő. 750°C felett a pórusok átmérője nagymértékben növekszik. A mikrorepedések mérete nagymértékben függ az adalékanyag legnagyobb szemnagyságától.

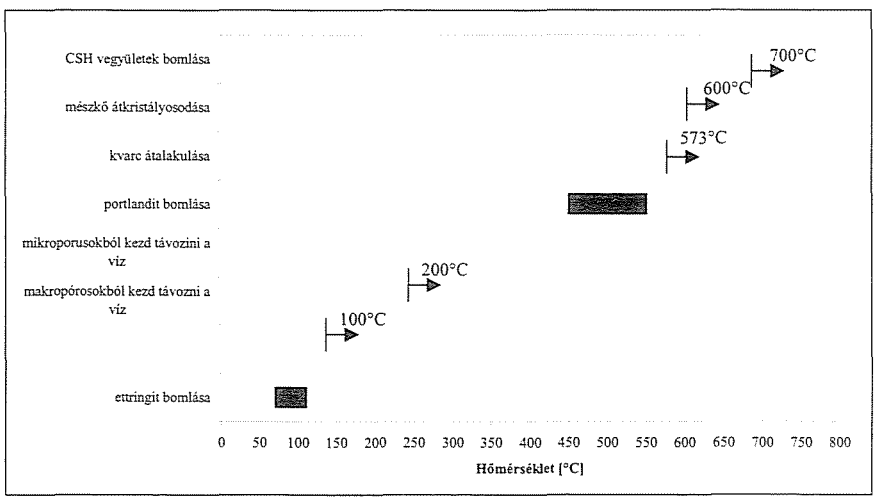
3. KÍSÉRLETI PROGRAM

Laboratóriumi vizsgálatainkat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén végeztük.

A nyomószilárdságot szabványos, 150 mm élhosszúságú kockákon határoztuk meg. A próbatesteket 1 napos korig sablonban, azt követően 7 napos korig víz alatt, majd a vizsgálatig laborlevegőn tároltuk. A próbatestek a hőterhelés időpontjában legalább 28, legfeljebb 40 naposak voltak. A nyomószilárdság vizsgálat előtt a próbakockáinkat 2 órán át különböző hőmérsékletekre melegítettük fel: 50 °C, 150 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C ill. 800 °C–ra. A próbatesteket 2 órán át a megadott hőmérsékleten tartottuk, majd a szobahőmérsékletre való visszahűlésüket követően vizsgáltuk. Etalonként minden összetételből laborhőmérsékleten (20 °C-on) tárolt próbatesteket a hőterhelt kockákkal azonos korban törtünk. A betonkockák nyomószilárdság vizsgálatát erővezérelten működő „Amsler" típusú törőgépen végeztük, a terhelés sebessége 11,5 kN/s volt.

A nyomószilárdság vizsgálatot kiegészítettük csiszolatok termo-gravimetriai és elektronmikroszkópos vizsgálatával. A csiszolatokon mikroszkóp segítségével a kontakt zóna alakulását figyelemmel kísértük.

A könnyűbeton adalékanyagának jellemzőit az *1. táblázatban* tüntettük fel.



4. ábra: A betonban lejátszódó kémiai folyamatok a hőmérséklet függvényében

1. táblázat: Az alkalmazott könnyű adalékanyagok jellemzői

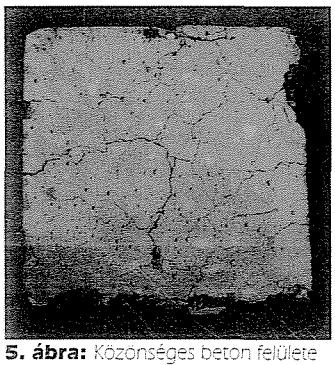
	égetési hőmérséklet [°C]	szemcse testsűrűség ρ_t [kg/m³]	szemcseméret [mm]	vízfelvétel [m%]
duzzasztott agyagkavics	1200	830	4/8	36

A vizsgálathoz minden esetben ugyanazt a cementet használtuk. A duzzasztott agyag 24 órás vízfelvétele mintegy 15% volt. A kontaktzóna kialakulásakor az adalékanyag felülete és vízfelvevő-képessége jelentős szerepet játszik, hiszen meghatározza, hogy mennyi cementpép tud az adalékanyag felületébe behatolni.

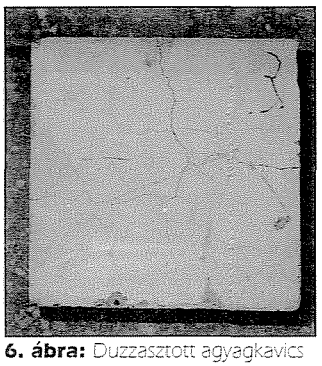
4. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEINK

4.1. Optikai vizsgálat

A hőterhelést követően szemrevételezéssel is számottevő különbséget láthatunk a különböző adalékanyagok felhasználásával készült betonok felületén. A közönséges beton felületén lényegesen több repedés keletkezett, mint a duzzasztott agyagkavics adalékanyagú betonén *(5. és 6. ábra)*.

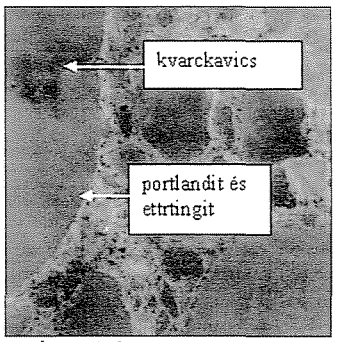


5. ábra: Közönséges beton felülete 2 órán tartó 800 °C-os hőterhelést követően

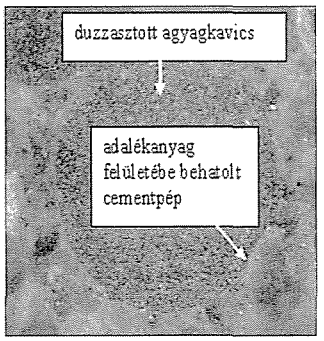


6. ábra: Duzzasztott agyagkavics adalékanyagos beton felülete 2 órán át tartó 800 °C-os hőterhelést követően

A csiszolatokról készült felvételek *(7., 8. ábra)* is igazolták, hogy a két beton szerkezete és a kontakt zónája eltérő.



7. ábra: 20°C-on a kvarckavics adalékanyaggal készült beton (csiszolatokról készült felvétel)

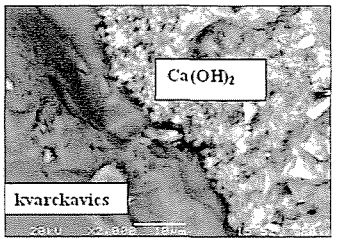


8. ábra: 20°C-on a duzzasztott agyagkavics adalékanyaggal készült beton (csiszolatokról készült felvétel)

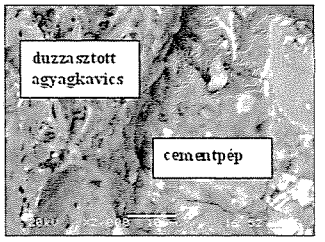
A kontakt zónában a kvarckavics *(7. ábra)* adalékanyagú beton estén egy vékony filmréteget láthatunk. Az elektronmikroszkóppal elvégzett analízis alapján megállapíthatjuk, hogy ez a csiszolatokon látszó filmréteg portlanditot, kis mértékben ettringitet tartalmaz.

A duzzasztott agyagkavics *(8. ábra)* külső felületén lévő pórusaiba behatolt cementpép teljesen más jellegű kapcsolatot biztosít az adalékanyag és a cementkő között. A felvételeken jól látható, hogy a két adalékanyag belső szerkezete is lényegesen különböző, hiszen az agyagkavics szerkezete porózus, a kvarckavicsban pedig nincsenek pórusok.

Az elektronmikroszkópos felvételeken jól látható a kvarckavics adalékanyagú betonnál *(9. ábra)* a kontakt zóna mellett kikristályosodott portlandit $Ca(OH)_2$. A duzzasztott agyagkavics esetén látszik a porózus szerkezetű adalékanyagba behatolt cementpép *(10. ábra)*.

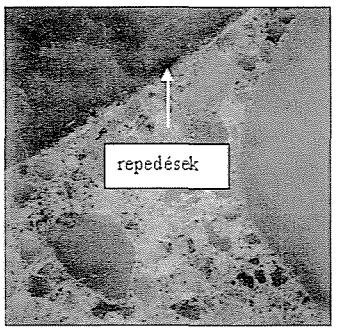


9. ábra: 20°C-on a kvarckavics adalékanyaggal készült beton (elektronmikroszkópos felvétel)

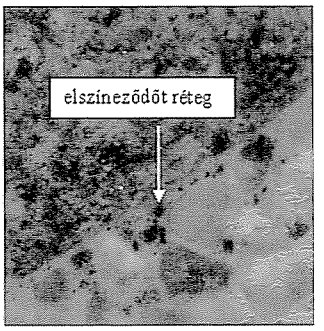


10. ábra: 20°C-on a duzzasztott agyagkavics adalékanyaggal készült beton (elektronmikroszkópos felvétel)

400°C-os hőterhelést követően készült csiszolatokon a kvarckavicsos beton esetében repedéseket, a duzzasztott agyagkavics esetén pedig egy piros színű elszíneződött réteget figyelhetünk meg. A kontakt zónáról készült felvételeken látható, hogy a kvarckavics adalékanyagos betonban a kvarckavics mellett repedések keletkeztek. A duzzasztott agyagkavics esetén viszont a kontakt zóna jellege változott meg *(11.és 12. ábra)*.



11. ábra: A kvarckavics adalékanyaggal készült beton 400°C-os hőterhelés után (csiszolatokról készült felvétel)



12. ábra: A duzzasztott agyagkaviccsal készült beton 400°C-os hőterhelés után (csiszolatokról készült felvétel)

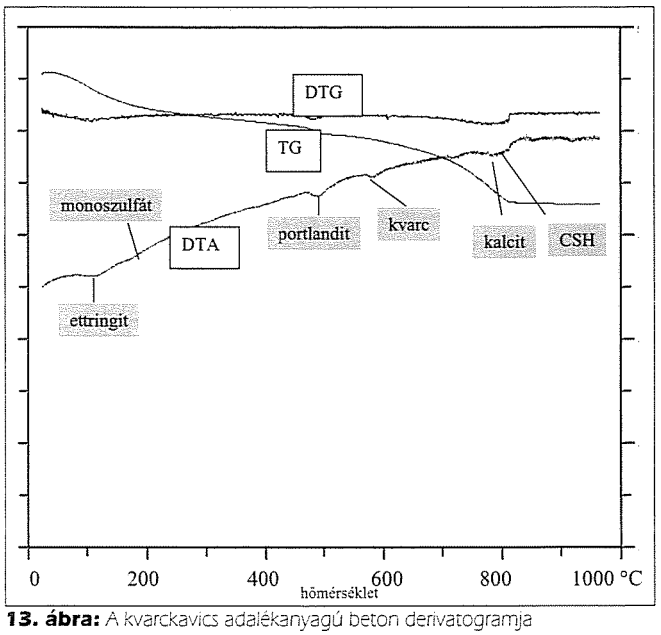
4.2 Termoanalitikai vizsgálat

A derivatográfon *(13. ábra)* láthatjuk, hogy milyen kémiai változások hány fokon következnek be, az általunk alkalmazott kvarckavics adalékanyagú beton esetén. Jól látható csúcsok jelentkeznek az ettringit, a monoszulfát, a portlandit, a kvarc, kalcit és a kalcium-szilikát hidrátok átalakulásánál.

4.3 Nyomószilárdsági vizsgálat

A nyomószilárdsági vizsgálat eredményeit megadjuk a szobahőmérsékletre vonatkoztatott szilárdságdiagramban ábrázolva *(14. ábra)*.

- 500°C felett a könnyűbetonok és a kvarckavics adalékanyagú betonok estén is jelentős szilárdságcsökkenéssel kell számolnunk a portlandit, majd 700°C körül a CSH-vegyületek bomlása miatt.
- A duzzasztott agyagkavics adalékanyagú betonok maradó nyomószilárdság szempontjából 400°C felett kedvezőbben viselkedtek, mint a kvarckavics adalékanyagú betonok. A maradó nyomószilárdság csökkenése a két órás hőterhelést követően, majd szobahőmérséklete visszahűtött állapotban vizsgálva, a kvarckavics adalékanyagú beton nyomószilárdságcsökkenésénél mintegy 5-10%-kal kisebb volt. Ezt az eltérést a két, lényegében eltérő teherviselési mód és a cementkő-adalékanyag kapcsolat különböző jellege indokolhatja.



13. ábra: A kvarckavics adalékanyagú beton derivatogramja

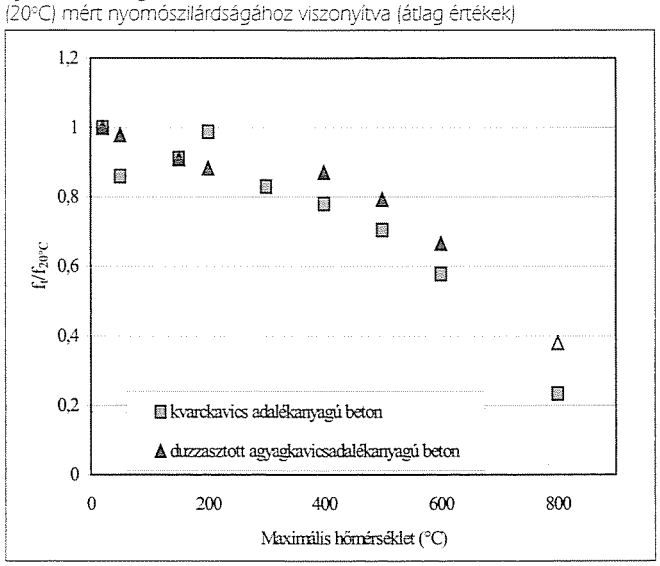
– A duzzasztott agyagkavics adalékanyagos beton esetén 800°C-on előfordult a próbatest robbanásszerű tönkremenetele. A próbatestek 800°C-on a kemencében szétestek, ezt az adalékanyag nagy, mintegy 36% vízfelvevő képességével magyarázhatjuk. A könnyűbetonok esetén meg kell jegyezni, hogy a felületek réteges leválásának az esélye jelentősen megnő. A könnyűbetonok felületének réteges leválása három okra vezethető vissza: a keresztmetszet egyenlőtlen átmelegedése a különböző hővezetési tényező miatt, a betonacél és a könnyűbeton különböző hőtágulása, az adalékanyag nedvességtartalmából származó vízgőz feszítő hatása (Faust, 2003).

5. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Laboratóriumi kísérleteink keretein belül a kvarckavics és a duzzasztott agyagkavics adalékanyagú betonok maradó nyomószilárdságának és kontakt zónájának hőterhelés hatására bekövetkező változásait vizsgáljuk.

Általánosan megállapítható, hogy az adalékanyag típusától függetlenül 400°C felett a szilárdságcsökkenés mértéke fokozatosan növekszik. A fokozatos szilárdságcsökkenést a cementkő átalakulása (portlandit bomlása 450°C, CSH vegyületek bomlása 750°C) és a kvarc 573°C-on bekövetkező átkristályosodása indokolja. A duzzasztott agyagkavics esetén ez a csökkenés kisebb mértékű volt.

14. ábra. A kvarckavics és a duzzasztott agyagkavics adalékanyagú beton nyomószilárdságának változása a hőterhelés hatására a laborhőmérsékleten (20°C) mért nyomószilárdságához viszonyítva (átlag értékek)



A csiszolatokon megfigyelhető, hogy 400°C-os hőterhelést követően a duzzasztott agyagkavics adalékanyaggal készült beton kontaktzónája átalakult, elszíneződött, de a zónában repedések nem keletkeztek.

800°C-ra felmelegítve, majd szobahőmérsékletre lehűtve mind a kvarckavics, mind a duzzasztott agyagkavics adalékanyaggal készült beton esetén a szilárdságcsökenés jelentős volt. A duzzasztott agyagkavics adalékanyagos beton robbanásszerű tönkremenetelét 800°C-on, a próbatest víztartalma okozhatta. További kísérleteink során igyekezünk ezt kiküszöbölni, amelyre vonatkozóan kiegészítő kísérleteinkre és irodalmi adatokra támaszkodunk. A próbatestek felrobbanásának esélye az adalékanyag és cement arányának csökkentésével és műanyag szálak alkalmazásával csökkenthető.

Megállapíthatjuk, hogy a beton teherviselési rendszere és a cementkő-adalékanyag kapcsolatának módja jelentősen befolyásolja a beton tűzhatás utáni viselkedését.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak a Duna-Dráva Cement Kft-nek a kísérlethez szükséges cement és a LiaBau Kft.- nek a szükséges könnyűadalékanyag biztosításáért.

7. HIVATKOZÁSOK

Faust, T. (2000), "Herstellung, Tragverhalten und Bemessung vom konstruktiven Leichtbeton"- *Dissertation*, Universität Leipzig

Faust T.(2003), "Leichtbeton im konstruktiven Ingenieurbau" -*Ernst und Sohn*, 2003

Hinrichsmeyer, K. (1989), "Strukturorientierte Analyse und Modellbe -schreibung der thermischen Schädigung von Beton" -*IBMB, Braunschweig*

Khoury, G. A., Grainger, B. N , Sullivan P. J. E. (1985), "Transient thermal strain of concrete: literature review, conditions within specimen and behaviour of individual constituents" –*Magazine of Concrete Research*, Vol 12, pp.45-49

Maultzsch, M. (1988), "Die thermogravimetrische Analyse (TGA) in der Materialprüfung kunststoffmodifizierter Zementmörtel" – Materialprüfung Band

Romić, S, Lazić, M. (1985), "Armirani lakoagregati beton" *IRO Gradevinska knjiga*, Beograd

Schneider, U, Weiß, R. (1977), "Kinetische Betrachtungen über den thermischen Abbau zementgebundener Betone und dessen mechanische Auswirkungen" *Cement and Concrete Research*, Vol 11, pp. 22-29

Ujhelyi J. (1995), "Műszaki előírás – Beton és vasbeton készítése (MÉASZ ME-04.19:1995)" 14.fejezet- Könnyűbetonok, *Magyar Építőanyagipari Szövetség*, Budapest

Ujhelyi J. (2005), "Betonismeretek" – Műegyetemi Kiadó, ISBN 9634208339

Waubke, N. V. (1973), "Über einen physikalischen Gesichtspunkt der Festigkeitsverluste von Portlandzementbetonen bei Temperaturen bis 1000°C-Brandverhalten von Bauteilen" , *Dissertation* TU Braunschweig

Zhang, M., H, Gjorv, O. E. (1990), "Microstructure of the interfacial zone between lightweight aggregate and cement paste" - *Cement and Concrete Research*, Vol 20, pp. 32-38.

RESIDUAL COMPRESSIVE STENGTH OF CONCRETE OF VARIOUS AGGREGATES AFTER HIGH TEMPERATURES

Éva Lublóy - Prof. György L. Balázs

During our experiments the behaviour of concrete made with quartz gravel aggregates or expanded clay aggregates were analysed. The compressive strength has changed differently. The different behaviours of the various concrete mixes can be explained by the differences in the contact zones of aggregates and cement stone. It can be well observed on the pictures that a layer of crystal structure can be found beside the quartz gravel. The contact zone of the expanded clay is quite different. The cement paste penetrates into the external pores of the aggregates of porous structure.

VASBETON LEMEZEK NYOMATÉK-GÖRBÜLET ÖSSZEFÜGGÉSE ILLINOIS-I KÍSÉRLETEK ALAPJÁN

Dr. Németh Ferenc

A hajlítási merevség kétdimenziós, negyedrendű tenzor mennyiség, amelynek egy elemét vizsgáljuk kísérleti eredmények értékelésével. Az illinois-i kísérletek nyomaték-görbület összefüggései primér terhelési folyamat alapján készültek. A hajlítási állapot egyértelműen meghatározott volt. A három irányú görbületméréssel megállapítható volt a görbületi tenzor. Minden lemeznél dokumentálták a főnyomaték irányában a nyomaték-görbület összefüggést. Az acélbetétek elforgatása révén különböző irányokban is meghatározható a hajlítási merevségi tényező.

Kulcsszavak: vasbeton lemez, ortotróp vasalás, primér terhelés, hajlítási merevség, feszültségi állapot

1. A FIGEYELEMBE VETT KÍSÉRLETEK

A vasbeton lemezekkel végrehajtott nagyon sok kísérlet legtöbbje nem alkalmas a merevség vizsgálatára, erre csak azok alkalmasak, amelyeknél a hajlítási állapot egy mérési mezőn belül mindenütt azonos, és jól mérhető, továbbá amelyeknél ugyanott mérhető az alakváltozási állapot és a görbületi tenzor a főirányaival együtt.

E cikkben az Illinois-i Egyetemen az 1960-as években végzett kísérletek eredményeit dolgozzuk fel Lenschow, Sozen (1966) és Cardenas, Sozen (1968) eredményei alapján. Részletes kutatási jelentéseik mellett tanulmányozhatók Lenschov, Sozen (1967), továbbá Cardenas, Lenschow, Sozen (1972) összefoglaló cikkei is.

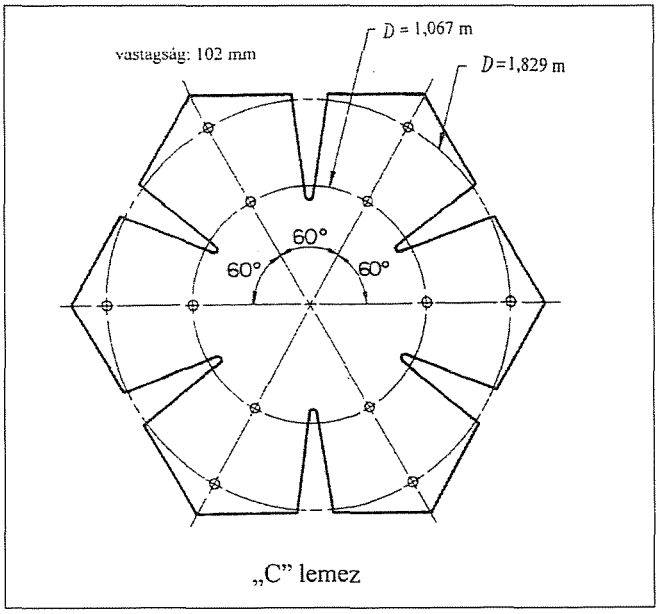
Ezekkel a kísérletekkel a szerzők megelőzték a korukat, mert a vasbeton lemezek méretezésénél akkor még nem tudták felhasználni a kísérletek eredményeit, a hajlítási merevség változását nem tudták beépíteni a számításokba, mint ahogy az ma már lehetséges. Talán ezért a kísérletek nem keltettek elég visszhangot, és nem is található az irodalomban ilyen jellegű kísérletsorozat. Csak e cikk szerzőjének kísérletsorozatait lehet megemlíteni, amit Palotás László professzor tanszékén végzett, igaz kisebb léptékű (v= 25 mm) vasbeton lemezekkel az 1960-as években (Németh 1967, 1968/1, 1968/2, 1974).

1.1 A lemezek alakja és igénybevétele

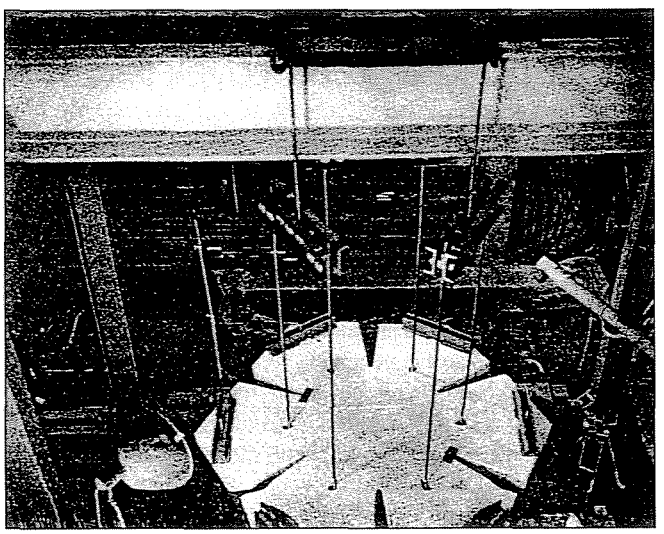
Az 1966-os kísérletekben 22 darab lemezt, 1968-ban pedig 41 db lemezt készítettek és vizsgáltak.

A lemezek 100 mm vastagságúak voltak. A lemezek egy részét, a C jelűeket, virágszirom alakúra tervezték (*1. ábra*). Ezek középső 1,37 m átmérőjű mezőjében *izotróp nyomatéki állapotot* ($m_1 = m_2$) lehetett előállítani.

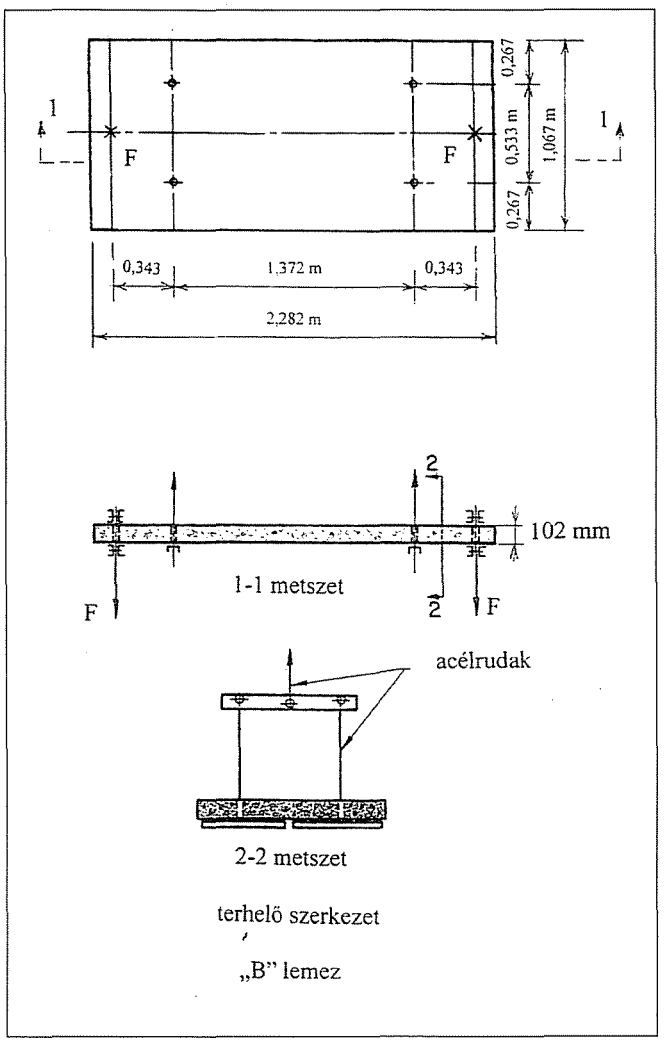
A lemezek többsége (a B jelűek) téglalap alakúak voltak (*2. ábra*). Ezek szélessége 1,067 m, a középső, azonos igénybevételű mérési tartomány hossza 1,372 m volt. E lemezeken egyirányú hajlítást ($m_2 = 0$), tiszta csavarást ($m_1 / m_2 = -1$) és olyan kombinált igénybevételt alkalmaztak, amelynél az m_2 / m_1 arány –0,14 és –0,45 volt, vagyis az egyirányú (parabólikus) hajlítás mellett hiperbolikus hajlításokat is létrehoztak.



„C" lemez



1. ábra: C típusú lemezek és terhelési berendezésük



2. ábra: B típusú lemezek terhelési módja

I. 2 A lemezek vasalása

A vasalás minden esetben derékszögű volt. Készültek *izotróp* vasalású lemezek, ezek törőnyomatéka mindkét vasbetét irányában (következésképp valamennyi irányban) ugyanakkora volt. Ezt úgy érték el, hogy a lemez középsíkjához közelebb lévő rétegben a betétek egy kissé, megfelelő mértékben sűrűbben voltak elhelyezve: 1,5 in./1,375 in., azaz 38,1 mm/34,9 mm. Készítettek továbbá *ortotróp* vasalású lemezeket is, ezekben az egymásra merőleges acélbetétek különböző távolságban voltak kiosztva, úgy, hogy a betétek irányában a törőnyomatékok eltérő nagyok voltak.

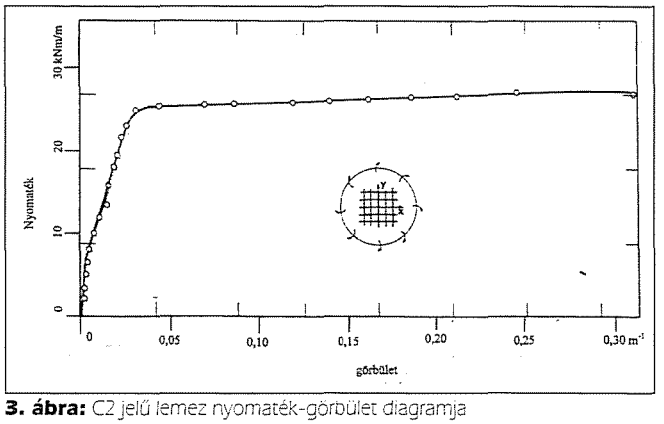
Az acélbetétek átmérője 0,25 in. = 6,35 mm, szakítószilárdsága 420 MPa, a beton hengerszilárdsága 35 MPa volt.

1. 3 A mérési eredmények ismertetése

A mérési berendezés legfontosabb része a mechanikus lehajlás mérő órákból álló rendszer volt, amellyel három irányban mérték az elmozdulásokat. Ily módon minden irányban meghatározható volt a görbület, a főirányokkal együtt. Ezen kívül elektromos nyúlásmérő bélyegekkel is mértek nyúlásokat a beton felületén is és az acélbetéteken is. Továbbá egyéb kiegészítő méréseket is végeztek.

Az alábbiakban néhány jellegzetes mérési eredmény ábráját mutatjuk meg, a következtetéseket azonban valamennyi mérési eredmény ismeretében fogalmazzuk meg. Ezeken az ábrákon nyomaték-görbület összefüggéseket adtak meg a szerzők.

A *3. ábrán* izotróp vasalású lemez szerepel, e lemez kör

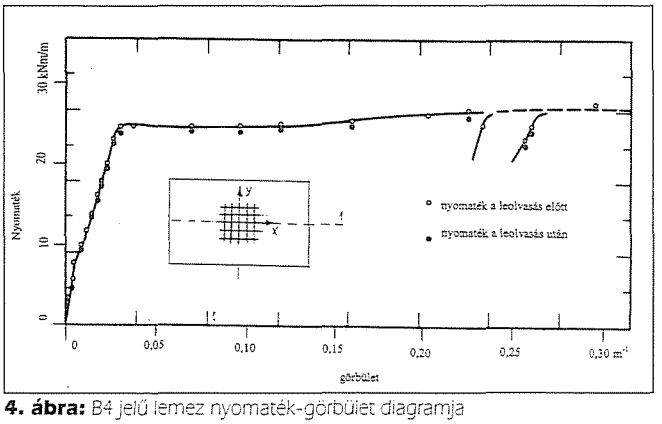


3. ábra: C2 jelű lemez nyomaték-görbület diagramja

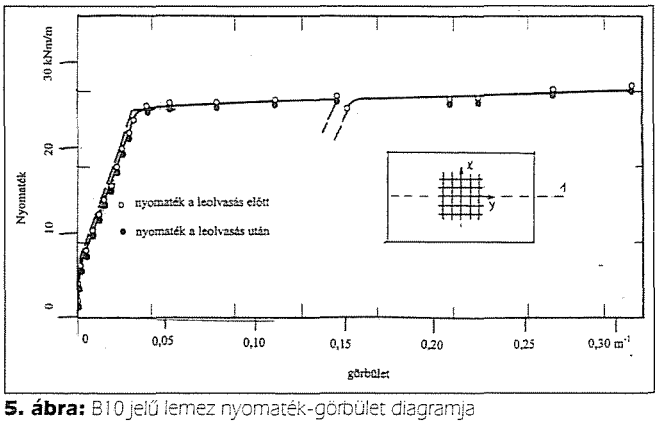
alakú mérési tartományában izotróp a nyomatéki állapot ($m_1 = m_2$).

A *4. és 5. ábrán* is izotróp a lemezek vasalása, de ezek a lemezek egyirányú hajlításra vannak igénybe véve ($m_2 = 0$). Az 1-tengely a nyomatéki főirányt mutatja. E lemezek alsó acélbetétei az m_1 nyomatéki főiránnyal rendre 0°és 90° szöget zárnak be.

A további *6. és 7. ábrákon* ortotróp vasalásúak a lemezek, az egyik irányban ritkább az acélbetétek kiosztása úgy, hogy fele akkora a törőnyomaték, mint a másik irányban. Az igénybevétel itt is egyirányú hajlítás ($m_2 = 0$), az m_1 főnyomaték rendre 22,5° és 67,5° szöget zár be az alsó acélbetétekkel.



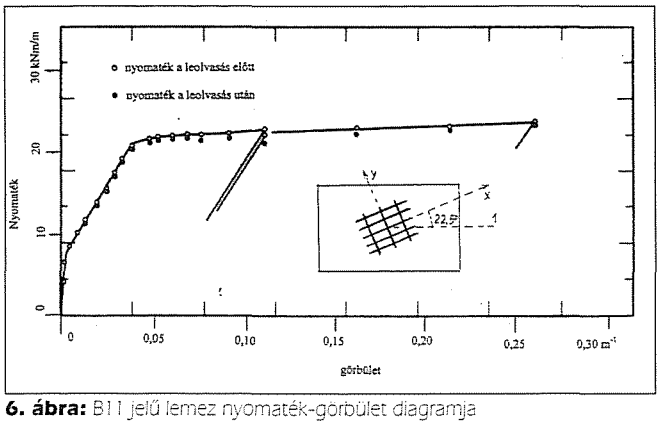
4. ábra: B4 jelű lemez nyomaték-görbület diagramja



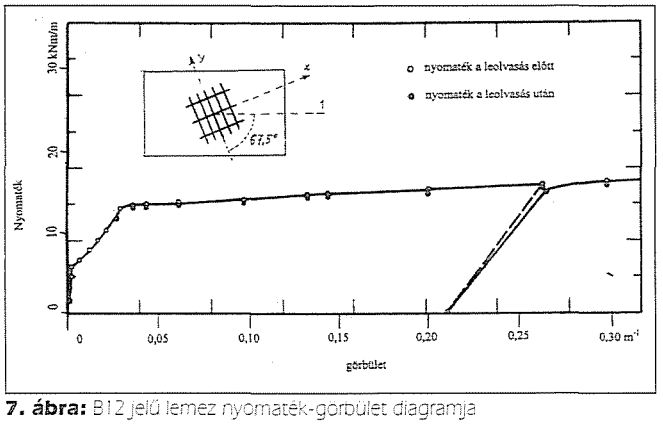
5. ábra: B10 jelű lemez nyomaték-görbület diagramja

A következő három ábrában a szerzők olyan nyomaték-görbület ábrái láthatók, ahol egymásra rajzolták a különböző lemezek mérési eredményeit, így jól láthatók az egyezések és a különbözőségek.

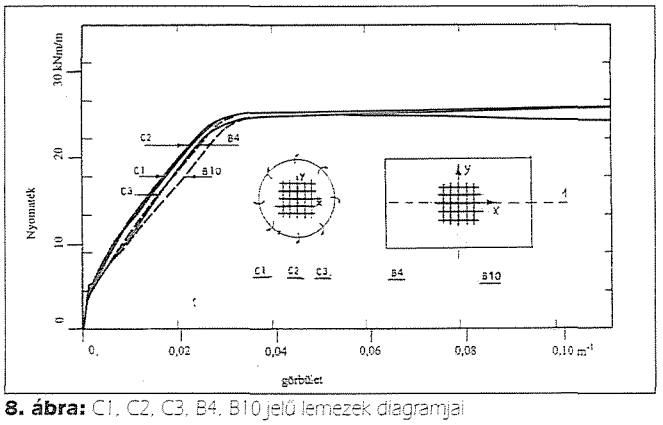
A *8. ábrában* három C jelű izotróp igénybevételű lemez, valamint két B jelű, egyirányban hajlított lemez görbéi láthatók. Valamennyi lemeznek azonos volt a vasalása. A C jelű lemezek betonszilárdsága rendre kisebb volt, mint a C1 lemezé. Ennek hatása elsősorban a repesztő nyomaték nagyságában mutatkozott meg. A két B jelű lemez közül egyik a szélső



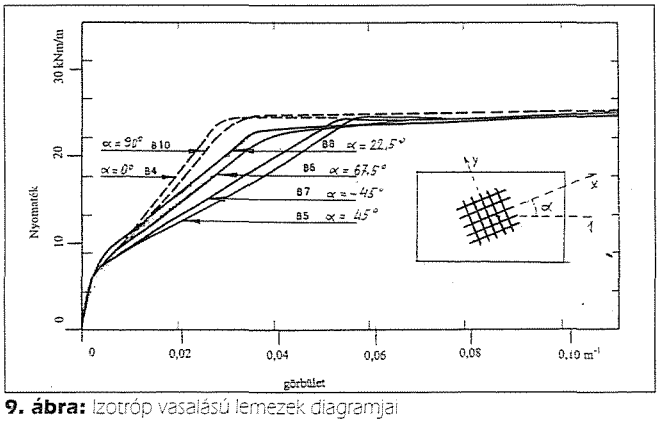
6. ábra: B11 jelű lemez nyomaték-görbület diagramja



7. ábra: B12 jelű lemez nyomaték-görbület diagramja



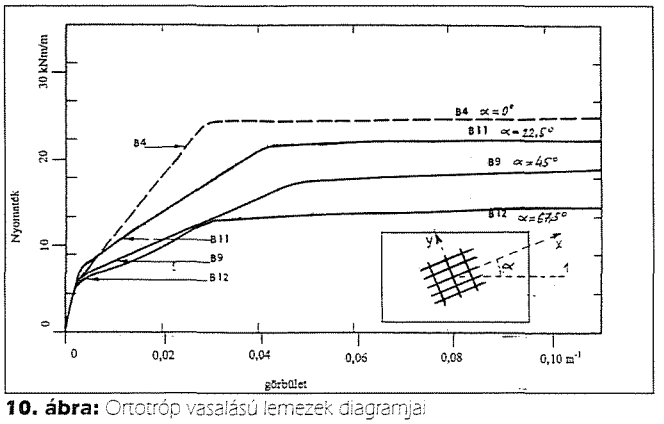
8. ábra: C1, C2, C3, B4, B10 jelű lemezek diagramjai



9. ábra: Izotróp vasalású lemezek diagramjai

vasalás, a másik a beljebb lévő vasalás irányában volt hajlítva. Ennek az öt lemeznek a viselkedése közel azonos volt berepedt állapotban. A három C típusú lemez hajlítási merevségére nincs észlelhető hatással a betonszilárdság eltérő volta. Továbbá annak sincs hatása a hajlítási merevségre, valamely vasalás irányában, hogy a másik vasalás irányában van-e hajlítás (a C jelű lemezeknél van hajlítás, a B jelű lemezeknél nincs).

A *9. ábrában* hat lemez nyomaték-görbület ábrája látható, ezek mindegyike izotróp vasalású, azaz minden irányban



10. ábra: Ortotróp vasalású lemezek diagramjai

azonos nagyságú a törőnyomatékuk. Ugyanakkor azonban az acélbetétek különböző szöget zárnak be az 1-jelű igénybevételi főiránnyal. A görbületmérés minden lemezen az 1-jelű nyomatéki főirányban történt. Így az acélbetétekhez képest ferde irányokban határozhatjuk meg a hajlítási merevséget.

Az x irányú betétek a szélső rétegben vannak, az y irányúak a beljebb lévő rétegben. Az α szög az x irányú betétek helyzetét jelzi. Ezek az izotróp vasalású lemezek az I. és III. feszültségi állapotban azonos módon viselkedtek, de a II. feszültségi állapotban nagyon jellegzetesen mutatják, hogy az acélbetétek irányához képest ferde irányokban sokkal kisebb a hajlítási merevség, mint a betétek irányában.

A *10. ábra* ortotróp vasalású lemezek mérési eredményeit teszi összehasonlíthatóvá. Ezeknél az egyirányban hajlított lemezeknél különböző az igénybevételi főiránynak az acélbetétekkel bezárt szöge. A B4 jelű lemez összehasonlításul szerepel itt, mivel $\alpha = 0°$, az y-irányú acélbetétek nem játszanak szerepet. A többi lemeznél az x-irányú betétek távolsága 1,5 in. (38,1 mm), az y-irányúak 2,75 in. (69,8 mm) távolságra vannak kiosztva. E lemezekre az jellemző, hogy csak az I. feszültségi állapotban viselkednek egyformán, a hajlítási merevségük egyenlő. A II. feszültségi állapotban nagyon különböző a hajlítási merevségük, aszerint, hogy a vasaláshoz képest milyen irányban vizsgáljuk. A III. feszültségi állapotban ezeknek az ortotróp lemezeknek közelítőleg nulla a hajlítási merevségük, miközben a vizsgálati iránytól függően eltérő nagyságú a törőnyomatékuk.

2. A KÍSÉLETI EREDMÉNYEKBŐL LEVONHATÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK

Előre bocsátjuk, hogy a kísérleteket *alulvasalt lemezekkel* végezték, amelyeknél a törés az acélbetétek megfolyása miatt következett be. Ilyen a gyakorlatban alkalmazott vasbeton lemezek többsége is. A túlvasalt lemezek, amelyeknél a törés a beton összemorzsolódása miatt következik be, a gyakorlatban csak ritkán fordulnak elő, a törési mechanizmusuk pedig egyszerűbb, nem függ az acélbetétek elrendezésétől, izotróp módon következik be: a törésvonal általában az igénybevételi főnyomatékra merőlegesen következik be, a hajlítási merevség pedig főleg a betontól függ, így minden irányban egyenlőnek tekinthető.

2.1 Három feszültségi állapot

Valamennyi kísérleti lemez nyomaték-görbület diagrammja három *egyenes* szakaszból áll.

I. **feszültségi állapot.** Repedés előtt a vasalás mennyisége és iránya elhanyagolható hatást gyakorol mind a repesztő

nyomatékra, mind a berepedéshez tartozó görbületre. Ez megfigyelhető a *3-10. ábrák* mindegyikén. Ez abból következik, hogy a vasalás különbözőségétől függetlenül valamennyi lemeznek ugyanakkora a repesztő nyomatéka, továbbá ugyanakkorának tekinthető a hajlítási merevségi tényezőjük is, ami az ábrabeli egyenesek iránytangense.

II. **feszültségi állapot.** Repedés után is egyenes a lemez nyomaték-görbület diagrammja, de iránytangense, a hajlítási merevség a vasalás mennyiségétől, továbbá irányától függ. Ugyancsak a vasalástól függ e stádium felső határa, a törőnyomaték is.

III. **feszültségi állapot,** a folyás állapota. Első közelítésben vízszintes egyenes ábrázolja, a görbület növekedése mellett is konstans marad a nyomaték. Ez azt jelenti, hogy a hajlítási merevség a repedésre merőleges irányban nulla. Pontosabb megfogalmazás szerint a törőnyomaték elérésekor drasztikusan lecsökken a hajlítási merevség a repedésre merőleges irányban, és kis nyomaték növekedés nagy görbület növekedéssel jár. E feszültségi állapotban is konstans a hajlítási merevség. Ha azonban csökken a teher, illetőleg a törésvonalban a hajlító nyomaték, akkor a II. feszültségi állapotban érvényes merevségi tényezővel arányosan csökken ott a görbület. A kísérletezők ezt több nyomaték-görbület diagrammon jelölték is.

2. 2 A hajlítási merevség irányfüggősége a berepedt állapotban

A *9. ábrán* izotróp vasalású, egyirányban hajlított lemezek egymásra rajzolt nyomaték-görbület összefüggését láthatjuk. A lemezek annyiban különböztek egymástól, hogy az acélbetétek a jelölés szerint eltérő szöget zártak be a nyomatéki főiránnyal. Megfigyelhető, amint már fentebb leírtuk, az I-es és III-as feszültségi állapotban egyformán viselkedtek a lemezek: a repesztő nyomatékuk és görbületük egyenlőnek tekinthető, a törőnyomatékuk is egyenlőnek mondható. Élesen különbözik azonban a berepedt II. feszültségi állapotban a hajlítási merevségük. Ha az acélbetétek szögfelezőjében (45°) van az igénybevételi főnyomaték, akkor mintegy a fele a hajlítási merevségi tényező annak, ami az acélbetétek irányában adódik. Ez a jelenség még inkább megmutatkozik az anizotróp vasalású lemezeknél (lásd a *10. ábrát*).

2.3 A kétirányú hajlítás hatása a merevségi tényezőre

A *8. ábrán* izotróp vasalású lemezek nyomaték-görbület összefüggései láthatók. A C jelűek izotróp hajlításúak (minden irányban ugyanakkora a nyomaték), míg a B jelűek egyirányban hajlítottak. A görbék elég jól fedik egymást. Bár a B10 jelű lemez kicsit nagyobb eltérést mutat, ebben az is szerepet játszik, hogy ennél a lemeznél az elosztó acélbetétek dolgoztak. A görbék egyezése arra utal, hogy valamely irányban a hajlítási merevség nem függ attól, hogy van-e hajlítás kereszt irányban is, ami befolyásolhatja a betonfeszültséget. Ez várható is, mert alulvasalt lemezeknél nem a beton, hanem főképpen az acélbetétek határozzák meg mind a törőnyomatékot, mind a hajlítási merevséget berepedt állapotban. A szerzőknek az a megállapítása, hogy a keresztirányú, ellentétes előjelű nyomaték hatása csökkenti a merevségi tényezőt, kiegészítésre szorul. Ez a jelenség csak az I. feszültségi állapotban jöhet létre, ott sem úgy, hogy csökken a merevségi tényező, mert azt a lemez adataitól függő állandónak tekintjük, amely független az igénybevételi nyomatékoktól. Inkább úgy kell fogalmazni, hogy mivel az I. feszültségi állapotban a hajlítási merevség főképpen a betontól függ, ezért a keresztirányú, ellentétes előjelű nyomatéknak az a hatása, hogy a kereszt-kontrakció révén megnöveli a görbületet a vizsgált irányban.

2.4 Kinking

A szerzők a mérési eredmények alapján megcáfolták azt a feltevést, hogy a repedés megnyílásával a repedésen ferdén átfutó acélbetétek meggörbülhetnek és közelednek a repedésre merőleges irányhoz, ezáltal e „kinking" révén meg kellene nőni a repedésben a törőnyomatéknak. Ennek a feltételezett jelenségnek sem látható, sem mérhető jelét nem tapasztalták a szerzők.

A szerzőknek ez a megállapítása bizonyos kiegészítésre szorul. Ugyanis ortotróp vasalású lemezeknél ha az erősebb vasalás iránya nagyon eltér a repedés normálisától, akkor megmutatkozhat a „kinking", ahogy az a *10. ábrán* látható a B 12 jelű lemez esetében. Itt a sűrűbb, x-irányú vasszálak 67,5°-os szöget zárnak be az 1-es nyomatéki főiránnyal, és ennél még nagyobb szöget az ilyenkor kialakuló repedés normálisával. A „kinking" abban mutatkozik meg, hogy a II. feszültségi állapotban a mérési diagram nem egyenes, hanem felkeményedést mutat, a nyomaték növelésével a görbe meredekebb lesz, vagyis kissé megnő a hajlítási merevség. Ide kívánkozik az a megjegyzés, hogy a „kinking" ritkán előforduló jelenség, és hogy elhanyagolása a biztonság javára van.

3. A HAJLÍTÁSI MEREVSÉGI TÉNYEZŐ MEGHATÁROZÁSA A KÍSÉRLETEK MÉRÉSI EREDMÉNYEIBŐL

3.1 Izotróp vasalású lemezek

Négy lemezt teszünk vizsgálat tárgyává: B4, B10, B8 és B7 jelű lemezeket. Ezek mindegyike izotróp vasalású, derékszögben vasalt lemez, és egyirányú hajlításra voltak igénybe véve. Mint már említettük, az izotrópia a törőnyomatékokra értendő: minden irányban ugyanakkora a törőnyomték. E lemezek a szélső (alsó) rétegben lévő acélbetétei a nyomatéki főiránnyal rendre 0°, 90°, 22,5° és 45° szöget zártak be. Mivel a görbületmérés a nyomatéki főirányban történt, így az ezekben az irányokban érvényes hajlítási merevségi tényezőket határozhatjuk meg. A mérési eredmények alapján felrakott eredeti nyomaték-görbület diagrammokból a D = m/g képlet alapján (Németh, 2003) számítjuk ki a hajlítási merevséget az I. és II. feszültségi állapotban.

B4 lemez esetén:

$$D_I = 32{,}0 \cdot 10^3 \cdot 0{,}1130 = 3{,}616 \frac{MNm^2}{m}$$

$$D_{II} = 5{,}905 \cdot 0{,}1130 = 0{,}667 \frac{MNm^2}{m}$$

A négy lemez így meghatározott hajlítási merevségi tényezői az *1. táblázatban* láthatók. A táblázatban a lemez jele mellett azt a szöget is megtaláljuk, amelyet a szélső rétegben lévő acélbetétek a hajlítási főiránnyal bezárnak. A D_I és D_{II} az első és második feszültségi állapotban érvényes hajlítási merevségi tényezőt jelenti MNm^2/m egységben.

1. táblázat: Izotróp vasalású lemezek. Mérési eredményekből kiszámított hajlítási merevségi tényezők a hajlítási főirányban az I. és II. feszültségi állapotban

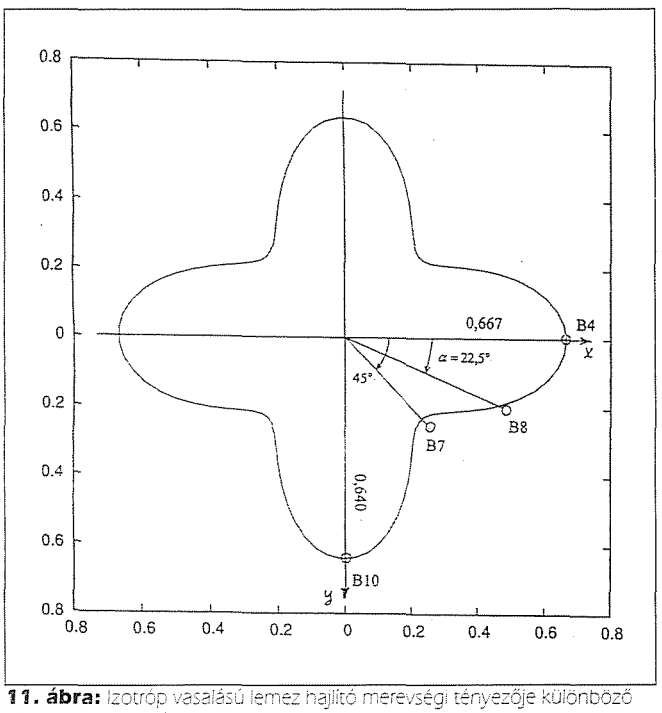
A lemez jele	α	D_I	D_{II}
B4	0°	3,616	0,667
B10	90°	3,477	0,640
B8	22,5°	3,229	0,530
B7	45°	3,085	0,366

A kiszámított merevségi tényezőket a *11. ábrában* is megszemlélhetjük. Az ábra x és y irányban vasalt izotróp vasalású (törőnyomatékú) lemezek II. feszültségi állapotbeli D_{II} hajlítási merevségi tényezőit mutatja különböző irányokban. Az ábra úgy készült, hogy az x-tengelyre felmértük a B4 jelű lemez D_{II} = 0,667 MNm²/m tényezőjét, az y-tengelyre a B10 jelű lemez D_{II} = 0,640 MNm²/m tényezőjét. Mindkét lemez a vasalás irányában volt hajlítva, de a B4 jelű lemez az alsó, míg a B10 jelű lemez a belső betétek irányában. E két lemeznek a törőnyomatéka egyenlőnek tekinthető, de a hajlítási merevségek is közel állnak egymáshoz, csak 4 %-nyi az eltérés, mind az I., mind a II. feszültségi állapotban.

Ha nem az acélbetétek irányában van a hajlítás és a merevségi tényező meghatározáva, akkor a vizsgált lemezek nagyobb eltéréseket is mutatnak. A repedés nélküli I. feszültségi állapotban a D_I merevségi tényező 11 ~ 15 %-os csökkenése mellett a berepedt II. feszültségi állapotban már jelentős, 26 ~ 45 %-os csökkenés mutatkozik a D_{II} merevségi tényezőben. De ez elméletileg is várható eredmény. Ugyanis derékszögű vasalás esetén a betétekkel α szöget bezáró irányban, ismerve a betétek irányában érvényes merevségi tényezőket, a

$$D_{II}(\alpha) = D_x \cos^4 \alpha + D_y \sin^4 \alpha$$

képlettel számítható ki a merevségi tényező (Németh, 2003). A *11. ábra* görbéje a $D_I(\alpha) = 0{,}667 \cos^4\alpha + 0{,}640 \sin^4\alpha$ képlet szerint készült. Ehhez a polárgörbéhez berajzoltuk a B7 és B8 jelű lemezek mérési eredményekből kapott 0,366 és 0,530 értékeit is, amelyek rá-, illetve közel esnek az elméleti görbéhez. Ez kísérletileg igazolja az elméletileg levezetett fenti képlet helyességét, azt is, hogy a merevségi tényező képletében a szögfüggvények a negyedik hatványon szerepelnek.



11. ábra: Izotróp vasalású lemez hajlító merevségi tényezője különböző irányokban (MNm²/m)

3.2 Ortotróp vasalású lemezek

Vizsgáljunk három ortotróp vasalású lemezt, a B11, B9 és B12 jelűeket, amelyek nyomaték-görbület diagramjait a *6., 10. és 7. ábrán* láthatjuk. Ezeknek a lemezeknek a fővasalása rendre 22,5°, 45° és 67,5° szöget zár be az m_1 nyomatéki főiránnyal (m_2 = 0). E lemezek fővasalása, az alsó, az alapesetnek megfelelő 1,5 in. (38,1 mm) távolságban volt kiosztva, míg a rá merőleges irányú betétek ritkább, 2,75 in. (69,8 mm). távolságban voltak elhelyezve, így a törő főnyomatékok aránya 2:1 volt. E lemezekhez vegyük még hozzá a B4 jelűt, melynek 1,5 in. (38,1 mm). kiosztású betétei 0°-os szöget zártak be az igénybevételi m_1 főnyomatékkal, valamint a C24 jelűt, melynek betétei mindkét irányban fele olyan sűrűségben voltak elhelyezve, és mindkét acélbetét irányában ugyanakkora a hajlítási merevsége. Így ez utóbbi lemezt tekinthetjük úgy, mint egy ortotróp vasalású lemezt, mely a gyengébb irányban (90°) van hajlítva. Határozzuk meg a diagrammok alapján a hajlítási merevségi tényezőket.

B11 lemez:

$$D_I = 0{,}2286 \cdot 10^5 \cdot 0{,}1130 \cdot 10^{-3} = 2{,}583 \frac{\text{MNm}^2}{\text{m}}$$

$$D_{II} = 0{,}0334 \cdot 10^5 \cdot 0{,}1130 \cdot 10^{-3} = 0{,}378 \frac{\text{MNm}^2}{\text{m}}$$

Ugyanígy meghatározva a többi lemez merevségi tényezőit is, a *2. táblázatban* lévő eredményekre jutunk.

2. táblázat: Ortotróp vasalású lemezek hajlítási merevségi tényezője (MNm²/m) az I. és II. feszültségi állapotban

A lemez jele	α	D_I	D_{II}
B4	0°	3,616	0,667
B11	22,5°	2,583	0,378
B9	45°	2,102	0,252
B12	67,5°	2,916	0,271
C24	90°	3,013	0,339

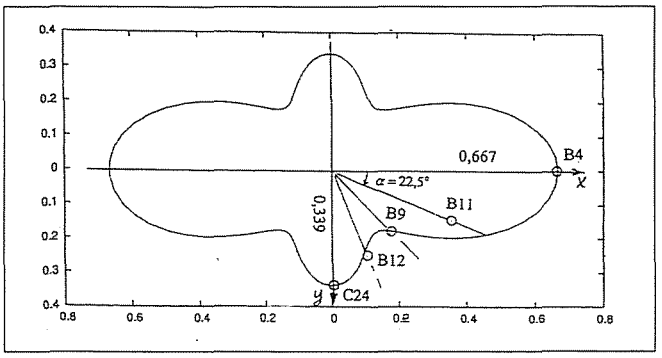
A D_I a repedés nélküli I. feszültségi állapotra érvényes, míg D_{II} a megrepedt II. feszültségi állapotra vonatkozik. Ez utóbbit ábrában is szemléltetjük (*12. ábra*). A görbe a $D_I(\alpha) = 0{,}667 \cos^4\alpha + 0{,}339 \sin^4\alpha$ függvényt ábrázolja. A B11, B9, B12 lemezek hajlítási merevségi tényezőit is berajzoltuk az ábrába. E függvény elég jól írja le a merevségi tényező irányfüggőségét.

Lenkei Péter kísérletei

Ide kívánkozik Lenkei Péter (1966) kísérleteinek megemlítése. A tanulságokban gazdag kísérleti és elméleti eredményekből itt csak néhányat említünk meg. A kísérleteknek az volt a célja, hogy feltárják a lemezek törésvonalában lejátszódó jelenségeket.

A kísérletek egyik fontos eredménye volt annak megállapítása, hogy a repedés általában nem merőleges az igénybevételi főnyomaték irányára, mivel a repedésben általában csavaró nyomaték is működik. Ezzel kísérletileg is megdőlt az akkor még többek által elfogadott álláspont, hogy a törésvonal a külső (igénybevételi) nyomaték irányára merőlegesen alakul ki. Egyben igazolódott a Gvozgyev-féle $\tilde{m}_x \tilde{m}_y - \tilde{m}_{xy}^2 \geq 0$ törési feltétel, miszerint a törés nem az igénybevételi főirányban alakul ki, hanem ahol legkisebb a tartaléknyomaték, illetve legelőbb fogy el a teher-növekedés során.

Lenkei kísérleti vizsgálati eredményeiből az a megfigyelés és megállapítás kapcsolódik e cikk témájához, hogy a vasbeton lemez alakváltozási képessége akkor a legnagyobb, ha az



12. ábra: Ortotróp vasalású lemez hajlító merevségi tényezője különböző irányokban (MNm²/m)

acélbetétek 45°-osan metszik a törésvonalat. Ez összhangban van azzal, hogy az acélbetétek szögfelezőjében jóval kisebb a lemez hajlítási merevsége, mint az acélbetétek irányában.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Lenschow, Cardenas és Sozen e cikkben tárgyalt kísérletei alapján, amelyeket derékszögű vasalással ellátott, gyengén vasalt vasbeton lemezekkel végeztek, a következő megállapításokat lehet tenni.

1. A terhelési folyamatban három feszültségi állapotot lehet megkülönböztetni, ezek mindegyikében a nyomaték-görbület összefüggés lineáris.
2. Az izotróp vasalású lemez repesztő és törő nyomatéka minden irányban ugyanakkora.
3. Az izotróp vasalású lemez hajlító merevségi tényezője az I. és III. feszültségi állapotban minden irányban ugyanakkora, a II. feszültségi állapotban azonban irányfüggő.
4. Az ortotróp vasalású lemezek repesztő nyomatéka minden irányban ugyanakkora, a törőnyomatéka azonban irányfüggő.
5. Az ortotróp vasalású lemezek hajlító merevségi tényezője az I. és III. feszültségi állapotban minden irányban ugyanakkora, a II. feszültségi állapotban azonban iránytól és vashányadtól függő.
6. A hajlítási merevség nem függ a hajlítási állapottól, csak a lemez geometriai és szilárdsági adataitól. A kísérletek igazolták, hogy kétirányú hajlítás esetén is ugyanakkora a hajlítási merevség, mint egyirányú hajlításkor.
7. A kísérleti eredményekkel igazolható, hogy a merevségi tényező irány szerinti változása a szögfüggvények negyedik hatványával írható le.

6. MEGHATÁROZÁSOK, DEFINÍCIÓK

Parabolikus hajlítás (egyirányú hajlítás): az egyik főnyomaték nulla: $m_1 \neq 0$, $m_2 = 0$, $m_1 \cdot m_2 = 0$,

Elliptikus hajlítás: $m_1 \cdot m_2 > 20$ azonos előjelűek a főnyomatékok.

Hiperbolikus hajlítás: $m_1 \cdot m_2 < 0$ ellentett előjelűek a főnyomatékok

Alulvasalt egy hajlított keresztmetszet, ha ott a törés az acélbetétek megfolyása miatt jön létre.

Túlvasalt egy hajlított keresztmetszet, ha ott a törés a beton összemorzsolódása miatt jön létre az acélbetétek megfolyása nélkül.

Izotróp hajlítási állapot: $m_1 = m_2$: az igénybevételi hajlítónyomaték minden irányban ugyanakkora.

Izotróp hajlítási teherbírás: $m_1^* = m_2^*$: a törőnyomaték minden irányban ugyanakkora.

Izotróp hajlítási merevség: minden irányban ugyanakkora a hajlítási merevségi tényező. Ez az I. stádiumban fordul elő.

Izotróp vasalás: olyan derékszögű vasalás, ahol mindkét acélbetét irányában ugyanakkora a törőnyomaték. Ilyen esetben minden irányban ugyanakkora a törőnyomaték.

Ortotróp vasalás: olyan derékszögű vasalás, ahol a vasalási irányokban különböző a törőnyomaték.

7. HIVATKOZÁSOK

Cardenas, A.E., Sozen. M.A. (1968), „Strength and Behavior of Isotropically and Nonisotropically Reinforced Concrete Slabs Subjected to Combinations of Flexural and Torsional Moments", *Civil Engineering Studies, Structural Research Series No. 336.*, University of Illinois, Urbana, 250 p.

Cardenas, A. E., Lenschow, R. J., Sozen, M. A. (1972), „Stiffness of reinforced concrete plates." *Proc. ASCE, Journal* 98 ST 9, pp. 2587-2603.

Karpenko, N. I. (1976), „Tyeorija gyeformiroványija zselezobetona sz trescsinami." *Sztrojizdat, Moszkva*

Lenkei P. (1966) „Törési határfeltételek vizsgálata vasbetonlemezek törésvonalai mentén", *ÉTI Tudományos Közlemények* 55.

Lenschow, R. J., Sozen, M.A. (1966), „ A Yield Criterion for Reinforced Concrete Under Biaxial Moments and Force", *Civil Engineering Studies, Structural Research Series No. 311.* University of Illinois, Urbana, 527 p.

Lenschow, R. J., Sozen, M. A. (1967), „A Yield Criterion for Reinforced Concrete Slabs", ACI Journal Vol., 64. pp. 266-273.

Németh F. (1967), „A ferde vasalású vasbeton lemezekkel kapcsolatos kísérletek és elméletek kritikai vizsgálata", *Kutatási jelentés* a KPM részére. pp. 96.

Németh F. (1968/1), „Ferde vasalású vasbeton lemez méretezése adott pontban elliptikus hajlításra" *Építés és Közlekedéstudományi Közlemények*, XII./3-4. pp. 379-394.

Németh F. (1968/2) „Kísérletek ferde vasalású vasbeton lemezekkel a görbületi és nyomatéktenzorok nemlineáris összefüggésének felderítésére.", *Kutatási jelentés* a KPM számára. pp. 57.

Németh F. (1974), „Kísérletek ferde vasalású vasbeton lemezekkel a görbületi és nyomatéktenzor összefüggésének felderítésére." *Kutatási jelentés* a KPM részére. pp. 82.

Németh F. (2003), „Berepedt, ferde vasalású vasbeton lemez hajlítási merevsége a repedésre merőleges irányban", *Vasbetonépítés*, 2003/2, pp. 36-40.

Németh, F. (2004), „Flexural Stiffness of Cracked Reinforced Concrete Slabs with Skew Reinforcement Perpendicular to the Crack", *Journal of Concrete Structures* (Hungarian Group of fib) 2004 Vol. 5. pp. 48-51.

Wegner, R. (1974), „Tragverhalten von Stahlbetonplatten mit nichtlinearen Materialgesetzen im gerissenen Zustand. Finite Element Methode", *TU Braunschweig. Bericht Nr. 74-11.* pp. 183.

Dr. Ferenc Németh (1930), építőmérnök, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Dr.-Univ., a műszaki tudomány kandidátusa, PhD. Nyug. egyetemi docens a Tartószerkezetek Mechanikája Tanszéken. Kutatási területei: vasbeton lemezek, vasalás optimális tervezése, ferde lemezek, berepedt vasbeton lemezek hajlítási merevsége. A ***fib*** Magyar Tagozat tagja.

MOMENT-CURVATURE RELATIONSHIPS FOR REINFORCED CONCRETE SLABS ACCORDING TO TEST RESULTS IN ILLINOIS

Dr. Ferenc Németh

The flexural rigidity factors are studied basing an the test results of Lenschow, Cardenas and Sozen. The ortogonal reinforced plates were subjected by uniaxial and biaxial bending. Moment-curvature relationship were measured befor and after cracking of isotropically and ortotropically reinforced slabs. The main conlusions are the followings. There are three distinguished state, and in every state the moment-curvature relationship is linear, the regidity factor is constant. The rigtidity factor of the isotropically reinforced slabs is constant in all directions at the 1st and 3rd. states, but at the 2nd state it is different, depending on the directions of the reinforcing bars. The rigidity factors of the ortotropically reinforced slabs are on the same size in all directions at the 1st and 3rd state, but at the 2nd state they depend on the directions of the reinforcing bars, and on the ratio of the reinforcement. The test results show that the change of the rigidity factor by the direction of the reinforcing bars can be described by the fourth power of the trigonometric functions of these directions.

fib SYMPOSIUM, DUBROVNIK

MAY 2007

Abstracts are now being accepted for next year's fib symposium, on the theme: "Concrete Structures – Stimulators of Development". The symposium will take place from 20-23 May 2007, in Dubrovnik, Croatia. It will address the following topics, which were identified as playing important roles in fostering regional and national development and prosperity:

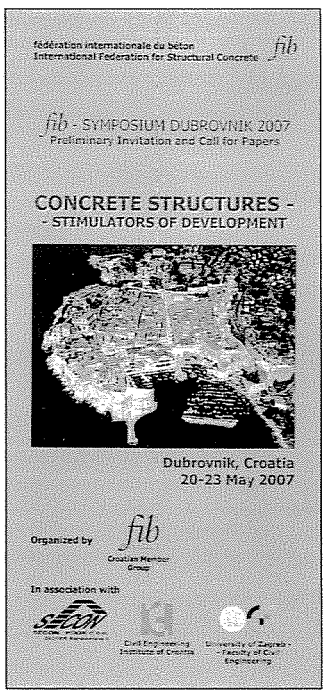
1. Concrete structures connecting mainland and islands
2. Concrete structures in energy production
3. New materials
4. Analysis
5. Durability.

The deadline to submit an abstract of 200-300 words relevant to one of the above topics is 30 June 2006. Notification of acceptance will be made by 30 September 2006; accepted authors will then have until 31 January 2007 to provide their full papers for publication in the symposium proceedings.

A commercial exhibition will be held in parallel with the symposium at the same venue, offering an ideal opportunity for companies to display their products and services.

Dubrovnik is situated in southern Croatia, on the coast of the Adriatic Sea, an area known for its great natural beauty, warm Mediterranean climate and historic charm. Tours and excursions in and around Dubrovnik will be organised for accompanying persons during the symposium.

Contact information:
fib Croatian Member Group
Janka Rakuse 1, 10000 Zagreb, Croatia
Tel.: +385-1-46-39-329
Fax: +385-1-61-25-100
e-mail: fib-dubrovnik-2007@igh.hr
www.igh.hr/fig-dubrovnik-2007



BETONTECHNOLÓGIA SZAKMÉRNÖKI TANFOLYAM INDUL 2007. FEBRUÁRJÁBAN

A betontechnológia jelentősége nagyon megnövekedett az elmúlt időszakban egyrészt a betonnal szembeni fokozott elvárások (pl. nagy szilárdság, tartósság, veszélyes hulladékok tárolása, stb.) miatt, másrészt a speciális igényeket kielégítő betonok megjelenése, harmadrészt az európai szabványok megjelenése miatt. Ennek megfelelően a betontechnológia óriási érdeklődésre tart számot. A diplomával záruló Betontechnológia Szakmérnöki Tanfolyam megszervezése révén a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék a betontechnológia körébe tartozó legújabb ismeretek átadásával kívánja segíteni a praktizáló kollégákat. Saját, jól felfogott érdekében minden cégnek kell legyen jó betontechnológusa.

A tanfolyamra való felvételhez egyetemi vagy főiskolai végzettség szükséges. Az egyetemi végzettségűek szakmérnöki, a főiskolai végzettségűek pedig főiskolai szakmérnöki oklevelet kapnak a sikeres államvizsga alapján. (Azok számára, akik nem műszaki egyetemi oklevéllel jelentkeznek a tanfolyamra, különbözeti vizsga is előírható.)

A tanfolyam célja, hogy a résztvevők megszerezzék a legfrissebb betontechnológiai ismereteket. A tanfolyam során a hallgató elmélyedhet a betontechnológiai módszereken kívül a speciális tulajdonságú betonok témakörben, a betonalkotók anyagtani kérdéseiben, építőanyagok újrahasznosításában, környezetvédelmi kérdésekben, a betonstruktúra elemzésében és annak hatásában a tartósságra, a diagnosztika nyújtotta lehetőségekben, aminek eredményei megfelelő javítási vagy megerősítési mód kiválasztását teszik lehetővé, a mély és magasépítési szerkezetek betontechnológiai szempontból jelentős tervezési és kivitelezési kérdéseiben, a betongyártás és előregyártás kérdéseiben, a minőségirányítás és minőségbiztosítás módszereiben és áttekintést kapnak a vasbetonépítésben megjelent legújabb anyagokról. Mindezeket jogi, gazdasági és vezetéselméleti kérdések egészítik ki.

A 4+1 féléves képzés levelező rendszerben folyik félévenként 3-3 konferenciahéten, így a jelöltnek a teljes képzés alatt csupán 12 hétig kell távol lennie a munkahelyétől (hétfő de. 10^{15}-től csütörtök 16^{00}-ig), és az utolsó félévben diplomamunkát kell készítenie.

Jelentkezését ezen lap visszaküldésével is fogadjuk a (1) 463-3450 faxszámon, ill. Sánta Gyuláné tanfolyam adminisztrátor várja érdeklődését a (1) 463-4068 telefonszámon vagy a titkars@eik.bme.hu e-mail-en.

.....

☐ Jelentkezem a 2007. februárjában induló Betontechnológia Szakmérnöki Tanfolyamra.
☐ További információkat kérek a 2007. februárjában induló Betontechnológia Szakmérnöki Tanfolyamról.

Jelentkező olvasható neve: .....

Cégnév: .....

Dátum: .....

Telefon: ..... Fax: .....

CCC 2005, 2006, 2007, 2008 – A VASBETONÉPÍTÉS KÖZÉP-EURÓPAI KONGRESSZUSAI

www.fib.bme.hu/ccc2007

2004. márciusában Ausztria, Csehország, Horvátország és Magyarország egyezményt írtak alá arról, hogy regionális konferencia sorozatot szerveznek betonnal foglalkozó mérnökeik számára. A konferencia sorozat célja, hogy olyan szakmai fórumot biztosítson, amelyen a hasonló körülmények között dolgozó mérnökök tapasztalataikat, eredményeiket, terveiket megosztják, ill. megvitatják egymás között. A konferencia sorozat címe angolul:

CENTRAL EUROPEN CONGRESS ON CONCRETE ENGINEERING

magyarul a

A KÖZÉP-EURÓPAI VASBETONÉPÍTÉS KONGRESSZUSA.

Ezekre a kongresszusokra várjuk a vasbetonépítés bármely területén dolgozó kollégákat beleértve tervezőket, kivitelezőket, anyaggyártókat, előregyártókat valamint oktatókat és kutatókat.

A kongresszusokat egymást követő években a fenti országok valamelyikében tartjuk. Eddigi kongresszusi helyszínek és témakörök voltak:

CCC 2005 Ausztria, Graz „Szálerősítésű betonok a gyakorlatban"

1. A szálak és a szálerősítésű betonok tulajdonságai
2. A műanyag szálak a tűzállóság fokozására
3. A szálerősítésű beton szerkezetek fejlődése
4. A szerkezettervezés általános kérdései.

CCC 2006 Csehország, Hradec Kralove „Vasbetonszerkezetek az infrastruktúra szolgálatában"

1. Megvalósult infrastruktúrális szerkezetek
2. Finanszírozás
3. Hidak
4. Beton burkolatok
5. Tartósság
6. Alagutak.

Az alábbi két fénykép mutatja a közelmúltban lezajlott második kongresszus tábláját és a résztvevő országok zászlóit.

Mindkét eddigi kongresszus nagy érdeklődésre tartott számot és több, mint háromszáz résztvevője volt.

A **CCC 2007** szervezési jogát Magyarország kapta meg. 2008-ban Horvátországban kerül megrendezésre. Mi helyszínül a visegrádi Thermál Hotelt választottuk. A jövő évi kongresszus időpontja 2007. szept. 17-18. lesz. A 2007-ben A Vasbetonépítés középe-európai Kongresszusának fő címe lesz:

„Új anyagok és technológiák a vasbetonépítésben"

Témakörei

1. Igények szerint készülő beton:
- környezeti elvárásokkal kompatibilis cementek,
- új fajta adalékanyagok,
- nagy teljesítőképességű adalékszerek,
- nagy szilárdságú és nagy teljesítőképességű betonok,
- szálerősítésű beton,
- könnyűbetonok,
- alkalmazások.

2. Új típusú feszített és nem feszített betétek és a hozzájuk tartozó technológiák:
- fémes és nem fémes anyagú betétek,
- belsőleg, ill. külsőleg alkalmazható betétek,
- alkalmazások.

3. Fejlett gyártási és építési technológiák
- magas követelményeket kielégítő vasbetonszerkezetek,
- előregyártás,
- alkalmazások.

Látható, hogy ezek a témakörök mérnökeink széles körű érdeklődését válthatja ki. Az angol nyelven elhangzó előadásokhoz magyar nyelvű szinkron tolmácsolást fogunk biztosítani.

A CCC 2007 kongresszus főszervezője a ***fib*** (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozat, és társszervezői a Magyar Betonszövetség és a Magyar Betonelemgyártó Szövetség.

A kongresszussal kapcsolatos minden fontos információ (előadással, kiállítással kapcsolatos lehetőségek, műszaki kirándulás, kongresszusi bankett, hölgyprogram stb.) megtalálható a kongresszus honlapján:

www.fib.bme.hu/ccc2007
e-mail elérhetőség:
ccc2007@eik.bme.hu

A kongresszus komplett felhívását csatoljuk is jelen folyóirat számhoz.

Dr. Balázs L. György

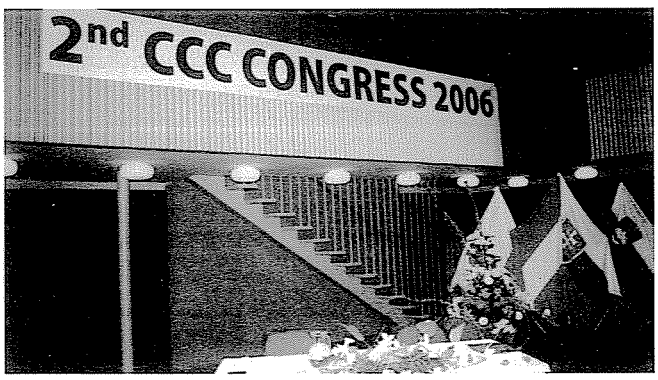
CCC 2007 Visegrád főszervezője:

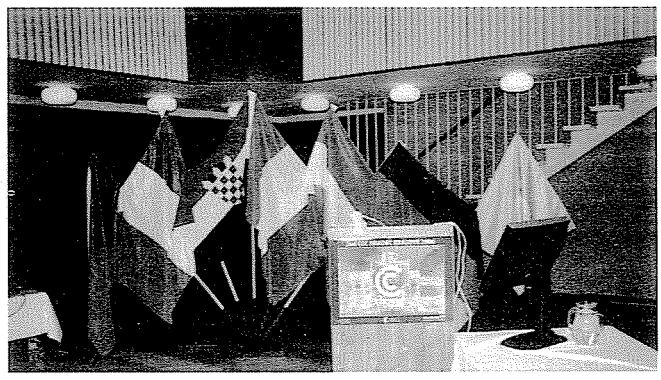
fib MT Hungary

Társszervezői:

Magyar Betonszövetség

Magyar Betonelemgyártó Szövetség





TBG betongyárak Magyarországon

Idén lesz 14. éve annak, hogy a TBG csoport betongyárai elkezdték magyarországi mûködésüket. A Duna-Dráva Cement Kft.-hez tartozó TBG Hungária - Beton Kft. részben közvetlen irányítással, részben helyi vállalkozókkal közösen üzemelteti az ország egész területén lévõ betongyárait, a hozzá tartozó Dunai Kavicsüzemek Kft. pedig kavicsbányáit. Betongyáraink modern számítógépes vezérléssel mûködnek és minden olyan követelménynek megfelelnek, mely egy jó minõsítésû betonüzemben elvárás. A keverékek készítésénél többnyire a cégcsoporthoz tartozó Dunai Kavicsüzemek bányáiból származó, jó minõségû adalékanyagokat, valamint magas minõségi követelményeknek megfelelõ, a Duna-Dráva Cement által elõállított cementeket használunk. Az igényekhez alkalmazkodva sokféle adalékszer alkalmazására is lehetõség van, de leginkább a SIKA-STABIMENT adalékszer család termékei kerülnek a betonjainkba. Minden keverõnél szigorú minõségellenõrzõ rendszer biztosítja a kiadott betonok egyenletesen jó minõségét, amely a jól felszerelt, akkreditált betonlaboratóriumainkban rendszeresen ellenõrzésre kerül. Társaságaink, üzemeink jelentõs része ISO minõsítéssel is rendelkezik, terméktanúsítási rendszerünk pedig bevezetés elõtt áll. A minõsített betonreceptjeink között találunk nagyszilárdságú, vízzáró, fagyálló, agresszív vegyi hatásoknak ellenálló vagy szûrõ betonok, könnyûbetonok, út- és térburkolatok készítésére szolgáló recepteket is. Igény esetén keverékeinket már az MSZ 4798-1 követelményeinek figyelembe vételével állítjuk elõ. A telepeinkrõl csak a rendelésnek megfelelõ mennyiségû és minõségû beton kerülhet kiszállításra. A nagyobb keverõinkben a téli munkavégzés sem okoz gondot. Munkánkat – a beton szállítás és szivattyúzás területén – számos, megfelelõ felkészültségû, rendszeresen a részünkre dolgozó alvállalkozó is segíti. Betongyáraink száma évrõl évre nõ, a nagyobb munkák kiszolgálásához mobilkeverõket is telepítünk. Meglévõ üzemeinket folyamatosan korszerûsítjük. Az elmúlt évek során egyre nagyobb szerepet vállaltunk a különbözõ vidéki és fõvárosi építkezések beton ellátásában. A keverõink által elõállított transzportbeton mennyisége évrõl évre nõ. Míg az elsõ idõkben évente csak pár tízezer m^3 betont állítottunk elõ, addig az utóbbi években rendre több mint 1 000 000 m^3, 2006.-ban pedig 1 280 000 m^3 volt a termelésünk. Ezzel a mennyiséggel a vezetõ transzportbetongyártó társaságok közé tartozunk. Büszkén mondjuk, hogy szállítottunk és jelenleg is szállítunk keverõink térségében épülõ szinte minden nagyobb munkához. Számunkra valamennyi munkánk fontos és külön büszkék vagyunk az autópálya építésekhez szállított betonjainkra. A Kõröshegyi Völgyhíd, a Dunaújvárosi Duna-híd és a csatlakozó M 8 autópálya, a Debrecent elkerülõ út, a most épülõ M0 Észak Duna-híd mûtárgyai mind TBG betonból épülnek. Munkánkat segíti a cégcsoportunkhoz tartozó, a betontechnológia felett õrködõ BTC Kft., mely az országban több akkreditált beton vizsgáló laboratóriummal rendelkezik és a betonjaink szivattyúzását végzõ, jól felszerelt Dako Pumpa Kft.

Valamennyi munkatársunk azért dolgozik, hogy Vevõink kiszolgálása és kiadott betonjaink minõsége megfeleljen Megrendelõink elvárásainak.

41 betongyár, 18 betonszivattyú

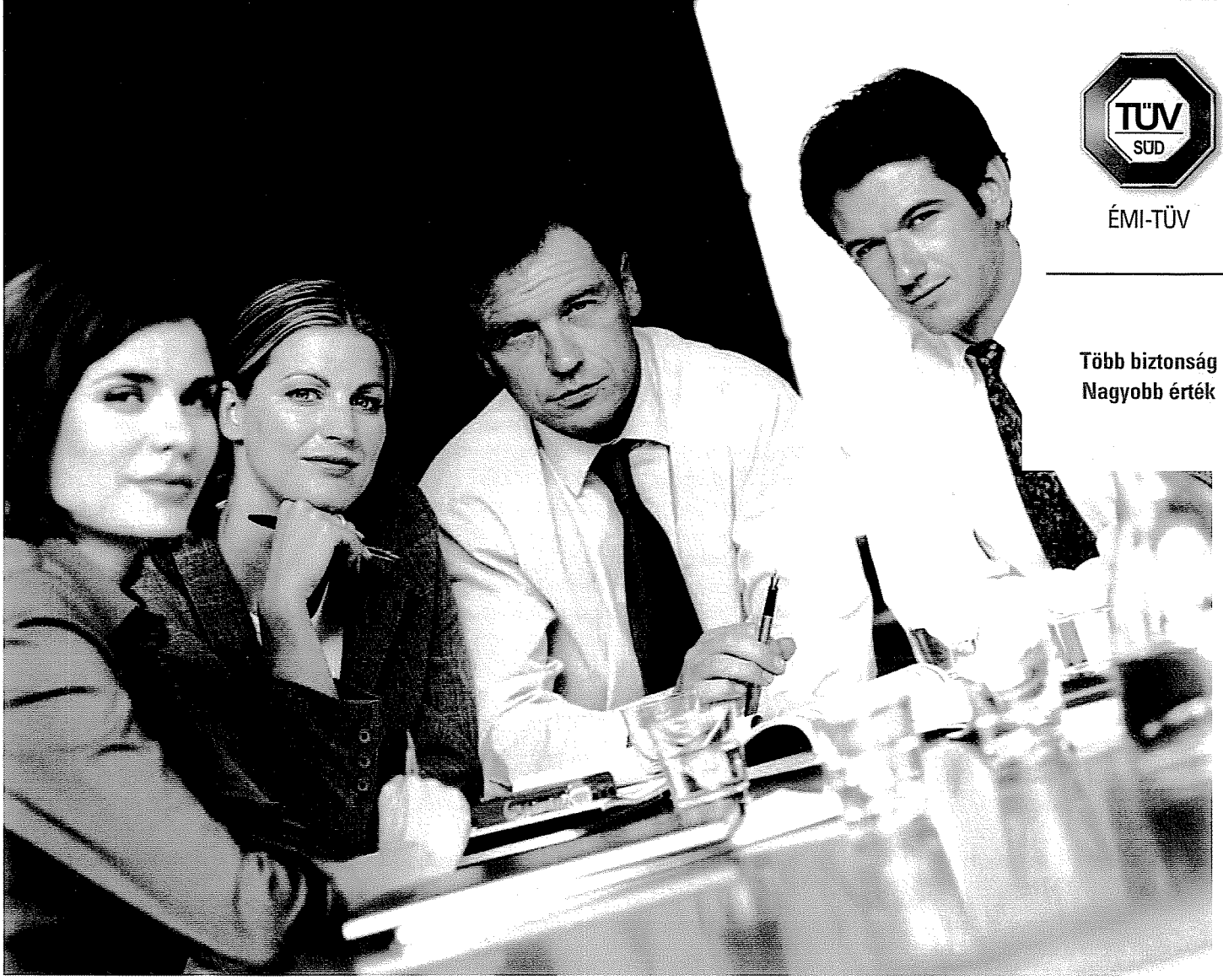
10 kavicsbánya, 5 akkreditált betonlabor

A beton bizalmi termék, bennünk megbízhat!

TBG HUNGÁRIA - BETON Kft.
Budapest X. Basa utca 22.
Telefon (1) 434-5632, 434-5600, fax (1) 434-5639
e-mail: tbgbeton@tbgbeton.hu, www.tbgbeton.hu

A MAGYAR BETONSZÖVETSÉG MB TAGJA

TRANSPORTBETON
... egy szilárd kapcsolat



ÉMI-TÜV

Több biztonság
Nagyobb érték

www.emi-tuv.hu

Az ÉMI-TÜV Bayern csapata

műszaki szolgáltatásaival sikerré kovácsolja munkáját a minőségügy és a biztonságtechnika területén.

Vizsgálat, tanúsítás és szakértői tevékenység az alábbi területeken:

- Felvonók, mozgólépcsők, színpadtechnikai berendezések
- Építő-, emelő- és anyagmozgatógépek
- Nyomástartó berendezések, kazánok, gázpalackok
- Hegesztési technológiák, hegesztők, hegesztőüzemek
- Magas- és mélyépítőipari létesítmények tartószerkezetei, épület- és szakipari szerkezetek
- Szórakoztatóipari berendezések
- Játszótéri eszközök
- Megfelelőség-értékelés és CE jel
- Tervengedélyezés
- Minőségirányítási, Környezetközpontú Irányítási Rendszerek TÜV CERT, TÜV MS és ÉMI-TÜV tanúsítása (TGA és NAT akkreditáció alapján), Kórházi ellátási standardok (KES), Munkahelyi Egészségvédelem és Biztonság Irányítási Rendszerek (MEBIR), Élelmiszerbiztonsági Rendszer (HACCP / BRC / EUREPGAP), Autóipari minőségirányítási rendszerek (VDA 6.1 / TS 16949), EMAS hitelesítés és Integrált vállalati rendszerek

ÉMI-TÜV Bayern Kft. TÜV SÜD Csoport • H-2000 Szentendre, Dózsa György út 26.
Telefon: (+36) 26 501-120 Fax: (+36) 26 501-150 • E-mail: igazgatosag@emi-tuv.hu

Notified Body
1417