

# A redukálószer hatása a cementek reológiai és kötési tulajdonságaira

Papp Krisztina, CEMKUT Kft.

cemkut@mcsz.hu

## Bevezetés

2005 óta előírt követelmény az EU tagországaiban, hogy a cementek vízoldható Cr(VI)-tartalma maximálisan 2 mg/kg (ppm) lehet. Ez a követelmény a cementipari gyakorlatban csakis megfelelő minőségű redukálószeres megfelelő mennyiségben történő adagolásával teljesíthető.

A cementhez adagolandó redukálószer mennyiségének meghatározásánál ismerni kell a cement vízoldható [Cr(VI)-] krómtartalmát, a redukálószer összetételét, minőségét. A biztonságos és hatékony redukáláshoz a cementipari gyakorlatban a sztöchiometriailag kiszámított redukálószer-igényhez képest redukálószer-„túladagolást” kell alkalmazni, mely irodalmi adatok és külföldi tapasztalatok szerint akár 30-szoros is lehet. A redukálószer adagolandó mennyiségét, ill. a túladagolás mértékét az adott üzem tapasztalatainak, ill. tényleges méréseinek figyelembevételével állapítják meg.

A hazai cementgyárak részéről felvetődött a kérdés, hogy a redukálószer mennyisége befolyásolja-e a cement minőségét, elsősorban reológiai és kötési tulajdonságait.

## Kísérleti anyagok és vizsgálati módszerek

A vizsgálatokhoz redukálószer nem tartalmazó üzemi CEM I 42,5 N portlandcementet (*alpcement*), valamint *Ferro Duo* redukálószer használtunk, mely halványzöld színű, a cementnél durvább szemcsézetű, összetapadt agglomerátumokat, csomókat tartalmazó porszerű anyag. Röntgendiffrakciós vizsgálataink szerint az általunk használt redukálószer vas(II)szulfát-hidrát módosulatok – heptahidrát ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ), tetrahydrát ( $\text{FeSO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ) és monohidrát ( $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) – keveréke. (Finomság:  $>200 \mu\text{m} = 49,0 \text{ m/m}\%$ ;  $>90 \mu\text{m} = 73,0 \text{ m/m}\%$ ) [1].

A kísérleti cementeket a redukálószer-mentes *alpcementből* ( $\text{C}_{V0}$ ), *Ferro Duo* redukálószer különböző mennyiségű (0,4; 0,8; 1,6; ill. 3,2  $\text{m/m}\%$ ) adagolásával, laboratóriumi keverőtartályban homogenizálással állítottuk elő (a cementek jele: **K1**, **K2**, **K3**, **K4**), majd megvizsgáltuk a cementek  $\text{SO}_3$ -tartalmát, valamint reológiai és kötési tulajdonságait.

Az előállított cementek, illetve cementpépek reológiai (folyási) tulajdonságainak összehasonlító vizsgálatát *RHEO-TEST 2 rotációs viszkoziméterrel* végeztük (1. ábra).

1. táblázat

Redukálószer nem tartalmazó üzemi CEM I 42,5 N cement (alpcement) kémiai és ásványi összetétele

Kémiai összetétel	[m/m%]	Ásványi összetétel (Bogue szerint számított)	[m/m %]
Izzítási veszteség	2,9	$\text{C}_3\text{S}$	62,69
$\text{SiO}_2$	19,07	$\text{C}_2\text{S}$	7,16
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,13	$\text{C}_3\text{A}$	8,32
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5,54	$\text{C}_4\text{AF}$	9,52
$\text{TiO}_2$	0,3	$\text{CaSO}_4$	4,85
CaO	63,59		
MgO	1,94	Modulusok számított értékei	
$\text{K}_2\text{O}$	0,47	AM	1,77
$\text{Na}_2\text{O}$	0,11	SM	2,2
$\text{SO}_3$	2,85	TT	0,95
Oldhatatlan maradék	0,16	KSt	98,33%
CaO <sub>szabad</sub>	0,66		
„összes” (Cr)-króm*	110 mg/kg [ppm]		
Vízoldható [Cr(VI)]- króm**	11,69 mg/kg [ppm]		

\* MSZ 21978-18:1986 sz. szabvány szerint – a minták  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ -vel történő roncsolása után – ICP-AES (Atomemissziós plazmaspektrometriás) módszerrel.

\*\* TRGS 613:2002 sz. Műszaki Szabályok szerint.



1. ábra. RHEO-TEST 2 rotációs viszkoziméter

\* A 2005. októberi Cementipari Konferencián elhangzott előadás szerkesztett változata.

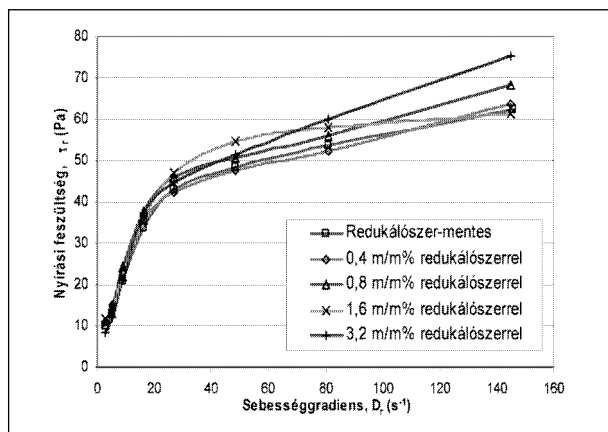
Néhány szó a reológiai vizsgálatokról általában [2]. A szilárd anyagokban, folyadékokban és szuszpenziókban az anyag mechanikai viselkedését, azaz az alakváltozást okozó erő (az anyagban ébredő feszültség) és az idő közötti összefüggést a reológia vizsgálja. Az alakváltozás lehet rugalmas deformáció, folyás, vagy rugalmas plasztikus deformáció. A folyadékok, szuszpenziók áramlásában igen fontos szerepet játszik a belső súrlódás, a viszkozitás. Newton súrlódási törvénye ( $\tau = \eta \cdot D$ ) lamináris áramlási viszonyok között az  $\eta$  dinamikai viszkozitást arányossági tényezőként határozza meg az egymáson elcsúszó folyadékrétegek között támadó  $\tau$  nyírófeszültség és az erre merőleges  $D$  sebességgradiens (deformáció sebesség) között.

A különböző mennyiségű Ferro Duo redukálószerrel előállított cementek folyási tulajdonságainak összehasonlíthatósága érdekében azonos mérési tartományban, azonos körülmények között, azonos víz/cement tényezőkkel ( $v/c = 0,42$  ill.  $0,46$ ) dolgoztunk. Mivel a viszkozitás hőmérsékletfüggő tulajdonság, reológiai vizsgálatainkat klimatizált helyiségben, állandó hőmérsékleten ( $20 \pm 0,5$  °C-on) végeztük [3]. A vizsgálat ideje mindkét  $v/c$  tényező esetén 60 perc volt.

## Vizsgálati eredmények

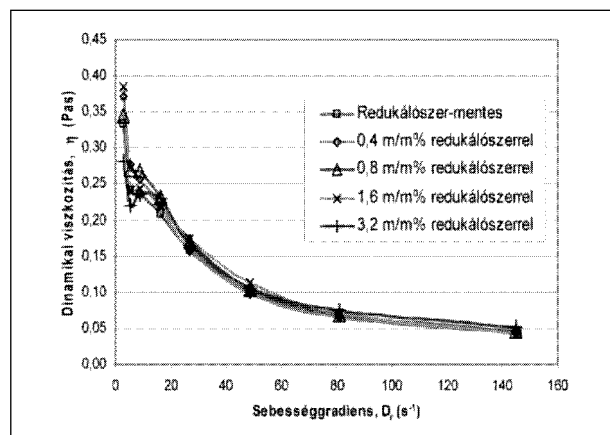
### 1. A cementek reológiai tulajdonságai

Az 2–5. ábrák a cementek nyírási feszültségeinek, ill. dinamikai viszkozitásainak alakulását mutatják a  $0,46$   $v/c$  tényező esetén a 0., ill. a 60. percben.

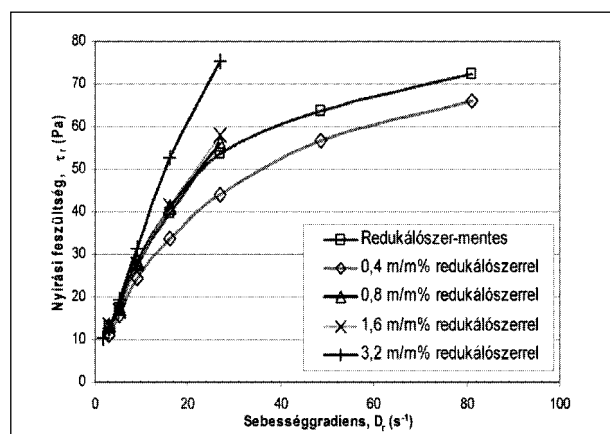


2. ábra. A cementek nyírási feszültsége  $v/c = 0,46$  esetén a 0. percben

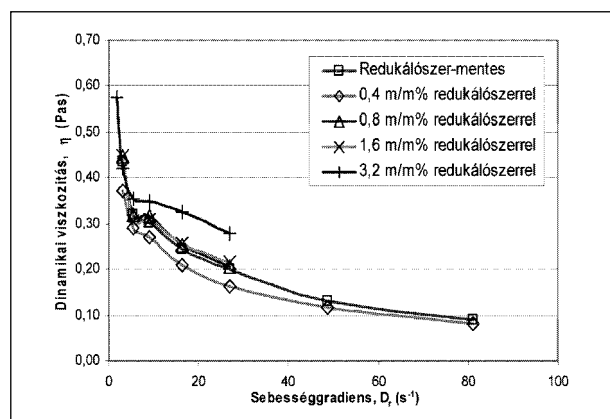
Látható, hogy a cementpépek  $\tau$  nyírási feszültsége és  $\eta$  dinamikai viszkozitása –  $0,46$  víz/cement tényező mellett általában minden vizsgált mérési idő (0., 15., 30., 60. perc) esetén – a redukálószer mennyiségének növekedésével nőtt, azaz a nagy (1,6; 3,2 m/m%) redukálószer-tartalmú cementpépek sűrűbbé, nehezebben kezelhetővé váltak, mint a kis (0,4; 0,8 m/m%) redukálószer-tartalmú pépek. Ebből az a következtetés vonható le, hogy a nagy redukálószer-tartalmú cementek vizigénye nő, bedolgozhatósága nehe-



3. ábra. A cementek dinamikai viszkozitása  $v/c = 0,46$  esetén a 0. percben



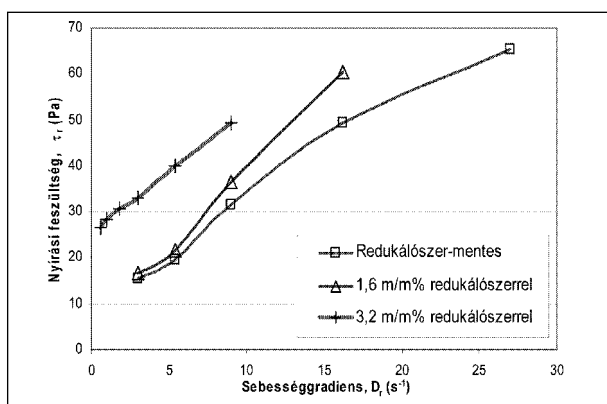
4. ábra. A cementek nyírási feszültsége  $v/c = 0,46$  esetén a 60. percben



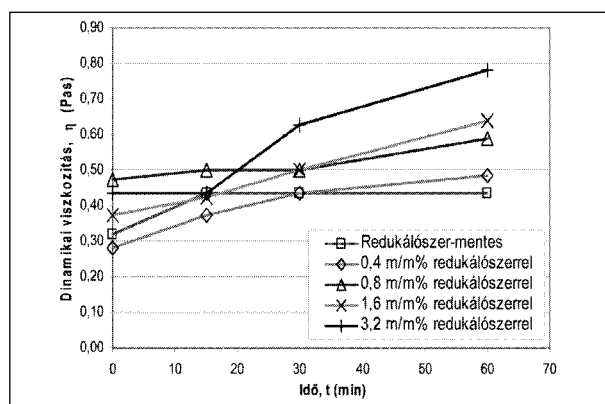
5. ábra. A cementek dinamikai viszkozitása  $v/c = 0,46$  esetén a 60. percben

zebbé válik. Hasonló megállapításra jutottunk  $v/c = 0,42$  víz/cement tényező esetén is.

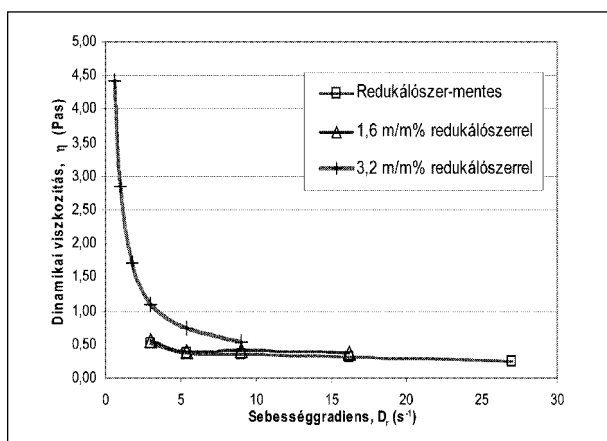
Megfigyelhető továbbá, hogy minél több a redukálószer-tartalom a cementpépben, annál nagyobb lesz nyírási és viszkozitási görbéinek meredeksége (rövidebb idő alatt nő meg a nyírási feszültség és a dinamikai viszkozitás). A ce-



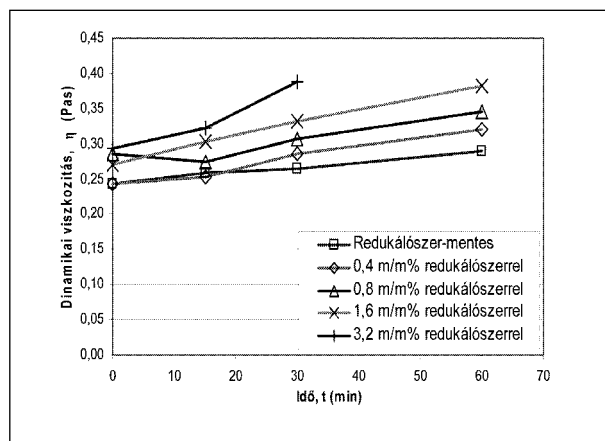
6. ábra. A cementek nyirási feszültsége  $v/c = 0,46$  esetén a 150. percben



8. ábra. A cementek dinamikai viszkozitásának alakulása az idő függvényében;  $D = 3 \text{ s}^{-1}$



7. ábra. A cementek dinamikai viszkozitása  $v/c = 0,46$  esetén a 150. percben



9. ábra. A cementek dinamikai viszkozitásának alakulása az idő függvényében;  $D = 16,2 \text{ s}^{-1}$

mentpépek reológiai tulajdonságai közti különbségek az idővel egyre szembetűnőbbé válnak.

Ez utóbbit támasztják alá az 1,6 m/m%, ill. a 3,2 m/m% redukálószer-tartalmú (K<sub>3</sub> és K<sub>4</sub>-jelű) cementmintákból,  $v/c = 0,46$ -tényezővel készült cementpékek 150 perces vizsgálatának eredményei is (6. és 7. ábra).

Megállapítható, hogy a nagy redukálószer-tartalmú cementpékek nyirási feszültsége és dinamikai viszkozitása hosszabb idő (150 perc) után is nagyobb, mint a kis redukálószer-tartalmú cementeké.

Az elmondottakat támasztja alá a cementpékek  $\eta$  dinamikai viszkozitásainak vizsgálata a viszkoziméter rotorjának (forgó hengerének) adott forgási sebessége (D) esetén. A viszkozitás-idő függvényeket a 8–9. ábrák szemléltetik ( $v/c = 0,42$ ).

Látható, hogy a dinamikai viszkozitásgörbék változásának jellege hasonló. A nagy (3,2 m/m%) redukálószer-tartalmú (K<sub>4</sub>-jelű) cement görbéi a 15. és 30. perc között hirtelen meredekség- (azaz viszkozitás-) növekedést mutatnak.

## 2. A cementek kötési tulajdonságai

A 10–11. ábrák az előállított cementek vízigényét és kötési idejének alakulását mutatják.

A vizsgálati eredményekből megállapítható, hogy a cementek vízigénye a redukálószer mennyiségének növekedésével nő. A redukálószer mennyiségének növekedésével a cementek kötésének kezdete és kötési ideje elhúzódik.

## 3. A cementek SO<sub>3</sub>-tartalma és térfogat-állandósága

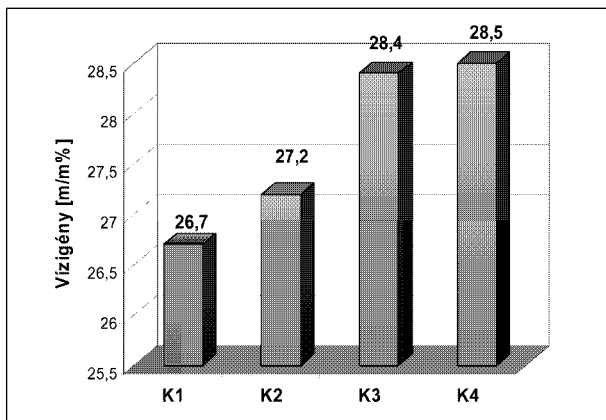
Redukálószer alkalmazása esetén a cement-kötésszabályozó anyagok mellett a redukálószer-adagolástól függően mennyiségben szulfátok kerülnek a cementbe, melyek növelik annak SO<sub>3</sub>-tartalmát.

A kísérleti cementek SO<sub>3</sub>-tartalmának meghatározását az MSZ EN 196-2:1996, szabványos térfogat-állandósági vizsgálatát az MSZ EN 196-3:1996 sz. szabványok szerint végeztük.

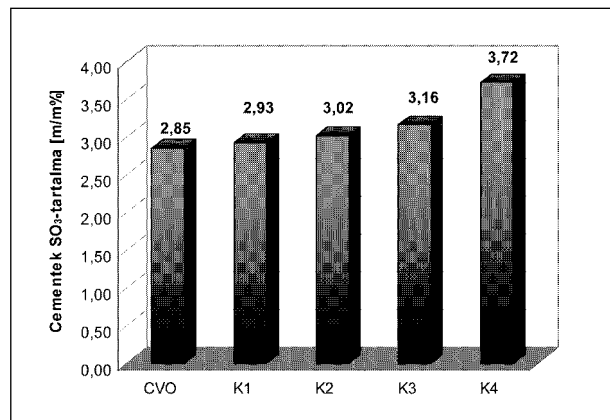
A 12. ábra a különböző redukálószer-tartalmú cementek SO<sub>3</sub>-tartalmát, a 13. ábra a Le Chatelier-gyűrűvel mért térfogatváltozását mutatja.

A cementek SO<sub>3</sub>-tartalmának az adott tartományban történő növekedésével a térfogatváltozás mértéke is némileg változott, de egyik esetben sem haladta meg a szabvány által előírt értéket (3,2 m/m% esetén is csak 3,0 mm).

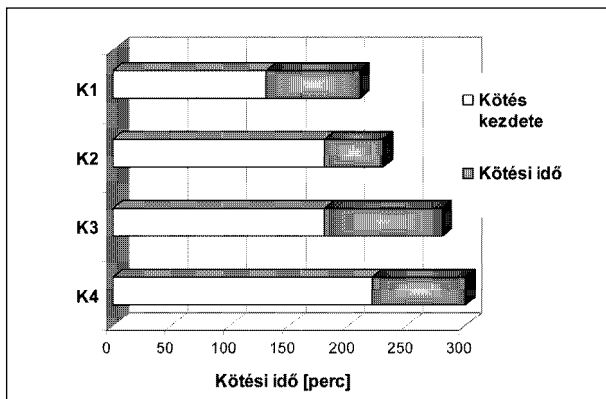
Munkavédelmi szempontból fontos, hogy a redukálószer hatása a cement vízzel történő összekeverése során azonnal és minél nagyobb mértékben érvényesüljön.



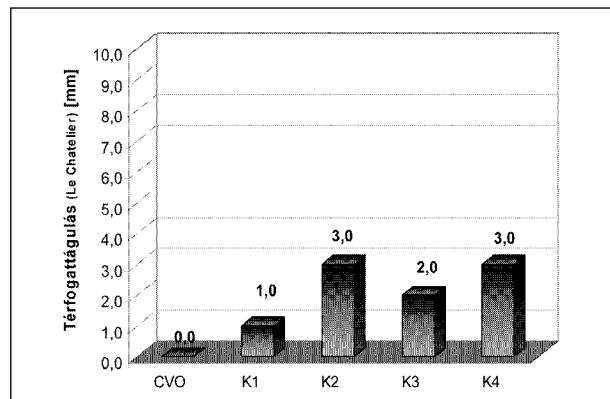
10. ábra. A cementek vízigénye



12. ábra. Különböző redukálószer-tartalmú cementek SO<sub>3</sub>-tartalma



11. ábra. A cementek kötési idejének alakulása



13. ábra. Különböző redukálószer-tartalmú cementek térfogatváltozása

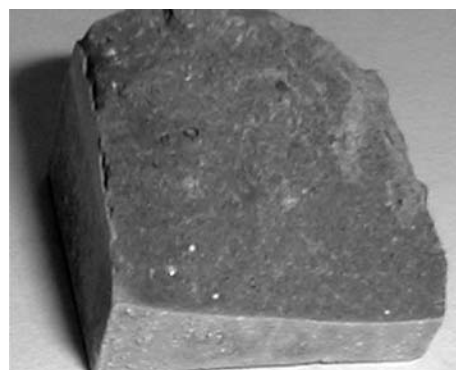
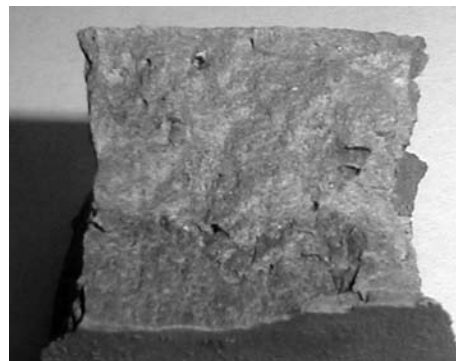
Köztudott, hogy a redukálószer redukáló hatékonysága elsősorban a redukálószer *oldhatóságától* függ, mely utóbbit a redukálószer *finomsága és összetétele* – heptahidrát ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ), tetrahidrát ( $\text{FeSO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ), monohidrát ( $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) – határozza meg [4].

Megvizsgáltuk, hogy a *redukálószer mennyisége*, ill. *koncentrációja a cementpépben* hogyan befolyásolja a redukálószer oldhatóságát.

Megállapítottuk, hogy a kis mennyiségű (0,4; 0,8 m/m%) redukálószer-tartalmazó cementekben a redukálószer szemcséi a 60 perces *vizsgálat végéig* feloldódtak, a megszilárdult, 28 napos hasáb töretében jele sem volt fel nem oldódott, ill. oxidálódott (rozsdás) redukálószer-szemcséknek.

Ezzel szemben nagy mennyiségű (pl. 1,6; 3,2 m/m%) redukálószer-tartalmú cementekben a durva redukálószer-szemcsék mérete az idő előre haladtával csökkent, de ezek a 60 perc alatt, tehát a vizsgálat végéig sem oldódtak teljes mértékben. Még a 28 napig szilárdult hasáb töretében is láthatók voltak fel nem oldódott, ill. később feloldódott szemcsék nyomai (14. ábra).

A vizsgálati eredményekből olyan következtetés vonható le, hogy a redukálószer oldhatóságát, ill. hatékonyságát a cementhez adagolt *redukálószer mennyisége*, ill. a cementpépben lévő *koncentrációja* is befolyásolja, mely bizonyos mennyiségen túl már hátrányos is lehet.



14. ábra. 1,6 m/m% redukálószer-tartalmú cementpépből készült 28 napos, kisméretű próbatest törete

## Fontosabb megállapítások és következtetések

A laboratóriumi körülmények között előállított, különböző mennyiségű redukálószer-tartalmazó cementek reológiai és kötési tulajdonságainak vizsgálata során a következő megállapításokra jutottunk.

- A redukálószer, ill. annak mennyisége a cementpép reológiai és kötési tulajdonságaira egyaránt befolyással van. A redukálószer mennyiségének növekedésével a cementpépek  $\tau$  nyírási feszültsége,  $\eta$  dinamikai viszkozitása, valamint a cementek vizigénye nő, kötésének kezdete és kötési ideje elhúzódik. Ebből az a következtetés vonható le, hogy a nagy redukálószer-tartalmú cementek *bedolgozhatósága nehezebbé válik*.
- A cementhez adagolt redukálószer mennyisége hatással van a redukálószer *oldhatóságára*, ill. *oldódási idejére*. Nagy mennyiségű (pl. 1,6 ill. 3,2  $m/m\%$ ) redukálószer nehezebben, ill. hosszabb idő alatt oldódik fel a cementpépben, mint kisebb (pl. 0,4 ill. 0,8  $m/m\%$ ) mennyiségben történt adagolás esetén.

- A cement redukálószer-tartalmának 3,2  $m/m\%$ -ig történő növelésével a cementek  $SO_3$ -tartalma és a térfogatváltozás mértéke is némileg változott, de egyik esetben sem haladta meg a szabvány által előírt értéket.

## Irodalom

- [1] *Opoczky, L.*: A kromátszegény cementek üzemi előállításával összefüggő cementkémiai, cementtechnológiai és cementminőségi kutatások, vizsgálatok. Szaktanácsadás a témát érintő kérdésekben. Részjelentés. CEMKUT Kft., CK-7/2005, Budapest.
- [2] *Tarján Iván*: A mechanikai eljárás technika alapjai. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1997.
- [3] *Jankó, A. – Papp, K.*: A REA-gipsz felhasználásával összefüggésben fellépő technológiai és cementminőségi kérdések vizsgálata, különös tekintettel a cementek reológiai és kötési tulajdonságaira. Jelentés. CEMKUT Kft., CK-21/2004, Budapest.
- [4] *Opoczky, L.*: Alternatív anyagok cementipari hasznosításával összefüggésben cementkémiai, cementtechnológiai, környezeti hatásainak vizsgálata. Kutatása, különös tekintettel a nyers-, ill. cementkiegészítő anyagként felhasználható alternatív anyagokra. Jelentés. CEMKUT Kft., CK-8/2003, Budapest.

\* \* \*

## BESZÁMOLÓ RENDEZVÉNYRŐL

### Építészek és Mérnökök IV. Épületszigetelési Konferenciája

2006. március 8-án került sor a tavasz legnagyobb létszámú szakmai rendezvényére, immáron negyedik alkalommal, a Budapesti Műszaki Egyetem dísztermében.

A főrendező VILLAS Hungária Kft. és a tizenhárom társrendező cég komoly segítséget kaptak a támogatóktól: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Magyar Építész Kamara, Mérnök Kamara, Épületszigetelők, Tetőfedők és Bádigosok Magyarországi Szövetsége, Építéstudományi Egyesület Építész Szakosztálya, valamint Szilikátipari Tudományos Egyesület Szigetelő Szakosztálya. A regisztrációnál 516 érdeklődő adta le a névkártyáját. Nem tartott előadást, de kiállította termékeit a SCHÖCK Hungária Kft. és a KRAIBURG GmbH.

*Becker Gábor* DLA tanszékvezető tanár megnyitó szavai gondolkodóba ejthették a hallgatóságot, mivel az oktatás jelenlegi helyzetéről is beszélt. Gondolata ezen esemény kapcsán: „... visszatérés az alma materba ...” jól jellemezte az egész rendezvényt.

A megnyitó elméleti előadást *Horváth Sándor* egy. adjunktus, az IFD elnöke tartotta, figyelemfelkeltő megállapításokat tartalmazó „szerkezettanórája” a csarnokszerkezetek tervezésének és építésének tipikus hibáit is bemutatta.

A csarnokszerkezetek különböző szerkezeti kialakítását *Horváth Csaba* (LINDAB Kft.), *Trabach János* (Kingspan Kft.) és *Gerendi Gábor* (RW Bautech Kft.) ismertették saját termékeiken keresztül.

A módosult hőszigetelési előírások legfontosabb alkal-

mazási elveiről *Lestyán Mária* (ROCKWOOL Kft.) beszélt, majd speciális hőszigetelési megoldások bemutatása következett *Szatmári Zoltán* (BACHL Kft.) és *Kovács Zoltán* (AUSTROTHERM Kft.) előadásaiban.

*Böcskei Zsolt* ügyvezető igazgató (VILLAS Hungária Kft.) köszöntötte a jelen levő hölgyeket „nők napja” alkalmból.

A VILLAS Hungária Kft. az elmúlt évben megjelentette a szigetelési szakma legfontosabb kiadványát, a lapostetőszigetelések kivitelezői kézikönyvét. Megköszönte a jelen levő szerzők, *Bangha László*, *Zádor Oszkár*, *Szász Pál* és *Haraszi László* munkáját.

*Györök János* (Heraklit Hungária Kft.) az akusztikai megoldásokról beszélt *Arató Éva* meghívott vendég előadóval. Ezt követték a padlószigetelési megoldások *Farkas Imre* (DÖRKEN Kft.) és a tetőszigetelési és párávédelmi megoldások bitumenes lemezekkel *Haraszi László* (VILLAS Hungária Kft.) ismertetőjében. A PVC-anyagú tetőszigetelések új termékeiről *Szabó Ferenc* (SOLVAY Kémia Kft.) beszélt.

*Alle László* (Geberit Kft.) a vízlevezetés különleges megoldását ismertette, majd *Topor László* (ESSMANN Hungária Kft.) látványos bemutatót tartott a csarnokszerkezetek füstmentesítő felülvilágítóiról. Ezt követte *Bíró Boldizsár* (EJOT Hungária Kft.) lapos tetők rögzítéstechnikájára vonatkozó ismertetője. A záró előadásban *Molnár Tamás* (FEBA Kft.) az épületszerkezeti hőhidak termovíziós vizsgálatának hasznosságát ismertette. Ezután *Horváth Sándor* lépett újra az emelvényre, és a feltett kérdésekre válaszolt.

*Böcskei Zsolt* zárszavában megígérte, hogy „... újra találkozzunk az alma materben egy év múlva, ugyanitt, ugyanezért...” a téma az épületek teljes körű felújítása lesz, a 2006. januárjától bevezetett előírások tükrében.

*Haraszi László*  
SZTE Szigetelő Szakosztály vez. tag