

Az adalékszerek hatása a cement repedésérzékenységére

Balázs György – Csányi Erika – Gombor Péter

1. Bevezetés

Útbetonok, víztartó edények, nagy tömegű vízépítési betonok stb. tartósságát nagymértékben befolyásolják a fiatal beton repedései.

A beton megrepedésének a jelensége számos tényező egymásra hatásának a következménye. Nevezetesen a beton először köt, azután szilárdulni kezd. A beton szilárdulása révén ellenáll az egyidejűen létrejövő zsugorodási alakváltozásnak. A zsugorodás hatására, mivel az nem jöhet létre szabadon, lassú alakváltozás is fellép, s ez a zsugorodási feszültségeket kissé csökkenti. A cement hidratációhője, valamint a külső hőmérséklet hatására a betonban hőmérséklet-különbség következik be. A fizikai és mechanikai tényezők egymásra hatásának eredményeként akkor lép fel repedés, ha a zsugorodásból és a betonban kialakuló egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból keletkező feszültségek túllépik a beton húzószilárdságát, a hatásukra fellépő alakváltozás eléri a beton nyúlóképességét.

A kutatók és a gyakorlati szakemberek arra törekedtek, hogy kimutassák a befolyásoló tényezők hatását a beton repedésérzékenységére. Coutinho [1] **gyűrűs vizsgálata** abból állt, hogy vasmag köré körgyűrűt betonoztak, melyet a betonozás után azonnal állandó relatív légnedvesség-tartalmú és hőmérsékletű térben helyeztek el. A repedésérzékenység mértéke az a betonozástól eltelt időtartam volt, amikor a gyűrű az együttes tényezők hatására megrepedt. A beton vizsgálatához 70-80%, a habarcs vizsgálatához 55% relatív légnedvességű és 20 °C hőmérsékletű tárolóteret ajánlott.

Ilyen kísérlettel az Építőanyagok Tanszéken is próbálkoztunk, de az eredmények nem voltak megbízhatók.

Springenschmid [2] útbetonok repedésérzékenységének vizsgálatára az 1. ábrán feltüntetett repesztőkeretet használta. A kísérlethez kialakított próbatest keresztmetszete 10 x 10 cm, egyenes szakaszának hossza 100 cm volt. A gerenda a két végén mereven befogottnak tekinthető (hosszirányban gátolt alakváltozás), mivel a távolságtartó acélrudak nagy átmérőjűek, és hőtágulási együtthatójuk nagyon kicsi.

A kísérleteket klímakamrában végezték, és igyekeztek ugyanazokat a körülményeket létrehozni, mint amelyek az útpálya betonjában is megvannak. A kísérlet során mérték a betonhőmérsékletet és a próbatestben fellépő feszültséget.

Az összes eredményt figyelembe véve Springenschmid a kísérletből az útbetonépítésre vonatkozóan a következő gyakorlati következtetéseket vonta le.

a) A betont nyári időben lehetőleg minél kisebb hőmérsékleten kell bedolgozni, mert a betonhőmérséklet-

nek döntő hatása van a repedésérzékenységre. A napsugárzás ellen védősátorral, a megkötött betonra víz permepezésével el kell érni, hogy a beton 30 °C-os léghőmérséklet esetén 8 órás, 20 °C-os léghőmérséklet esetén 12 órás koráig csak kismértékben melegedjék fel.

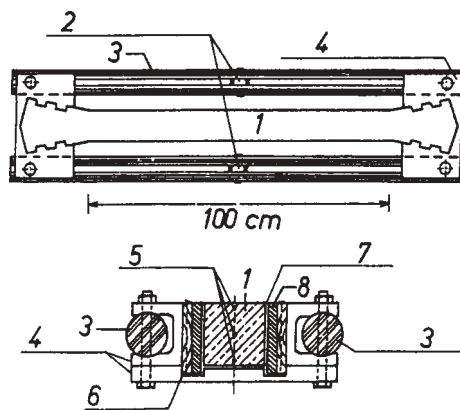
b) A nulla feszültségű hőmérsékletnek megfelelő kor (30 °C esetén 12 óra, 20 °C esetén 18 óra) után a beton lassan hűlhet le. Ezt – szélsőséges hőmérséklet esetén – hőszigetelő takarással lehet elérni.

c) Van egy kritikus kor, amikor a beton különösen érzékeny a megrepedésre. Ez 30 °C-os friss beton esetén 8-14 óra, 20 °C-os friss beton esetén 12-20 óra közötti.

d) Növeli a repedésérzékenységet a

- nagy kezdőszilárdságú cement,
- nagy hőtágulási együtthatójú durva adalékanyag,
- beton kiszáradása,
- lemezvastagság csökkenése.

e) Az útépítésben megkövetelt merev konzisztencia és kis víz-cement tényező kismértékben csökkenti a repedésérzékenységet.



1. ábra. A repesztő keret [1]

Jelölés: 1 – 10x10 cm² betongerenda;

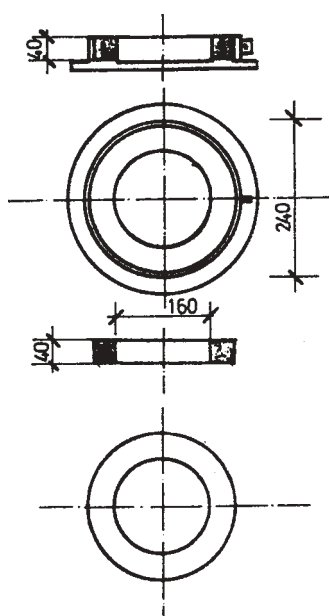
2 – felragasztott nyúlásmérő; 3 – Ø 70 mm speciális acélrúd, $\alpha = 0,8 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$; 4 – acélszerelvény, $\alpha = 10 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$; 5 – termoelemek; 6 – faszalu; 7 – 0,1 mm vastag fólia; 8 – műanyaghab

Ezek a kutatások azóta is folynak [3]-[7].

Míg a gyűrűs kísérlet betonok repedésérzékenységének vizsgálatára kevésbé jó, addig szabványsűrűségű cementpépek vizsgálatára több kutató [8] alkalmasnak találta. Ilantzis [9] szerint a megrepedési idő és a befolyásoló paraméterek között használható függvénykapcsolat nem írható fel, ugyanakkor kísérlettel elég jól meghatározható az egyes tényezők hatása a repedésre.

Franciaországban szabványosították a cementpép repedésérzékenységének a vizsgálatát (AFNOR-P 15-434 és AFNOR-P 15-402). Az FDP 15-434 sz. 1960. évi dokumentációs lapja 40 mm magas, 90 mm belső, 127 mm külső átmérőjű gyűrűt írt elő.

Az Építőanyagok Tanszéken [1] az előbbi gyűrűt módosították azért, hogy a pépgyűrű keresztmetszete azonos legyen a zsugorodási vizsgálatra és a hajlító-húzó vizsgálatra készített hasábok keresztmetszetével. A sablon egy acélkorong alaplamezből áll, amelyre felcsavarozható a mag és a gyűrű külső zsaluzatát alkotó rugalmas acélgűrű (2. ábra). A cementpép kötése után e külső gyűrű eltávolítható, majd a cementpép gyűrű szabad felülete érintkezik a klimatizált légtérrel, egy oldala pedig a maghoz szorul. Az elrendezés a pépgyűrű keresztmetszetére nézve szimmetrikus.



2. ábra. Az Építőanyagok Tanszéken kidolgozott gyűrűs sablon [1]

A kísérlet részletes leírását [1] tartalmazza, azt röviden összefoglaljuk, mert a továbbiakban ismertetett kísérletek során e kísérleteket kiindulási alpnak tekintettük.

A megrepedés időpontját elektromos elven működő berendezéssel regisztrálták. Mivel a cementfajtán kívül a víz-cement tényező és a kötőszabályozó adalékszerek hatását vizsgálták, először a cementpépek kötési idejét határozták meg. A gyűrűket – a vasaggal együtt – a

1. táblázat

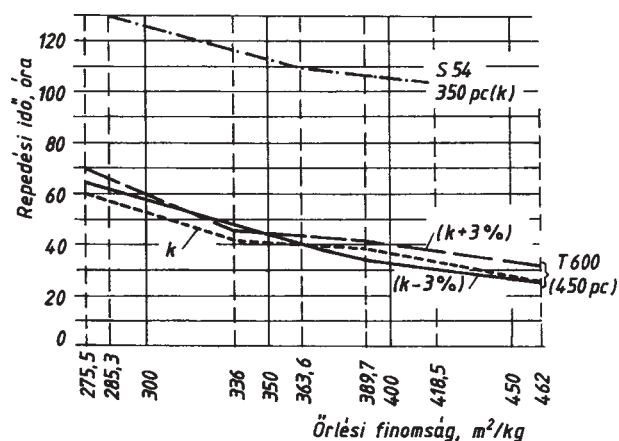
A vizsgált cementek fő tulajdonságai

Cement jele	C ₃ A-tartalom, %	Fajlagos felület, m ² /kg
Perlmooser PZ 475 (osztrák)	14,7	549
Perlmooser PZ 375 (osztrák)	12,5	396
Svéd nagy kezdőszilárdságú cement	13,5	389
Váci 450 pc	12,5	345
Váci 350 kspc 20	15,6	269
S 54 jelű 350 pc	0,9	313

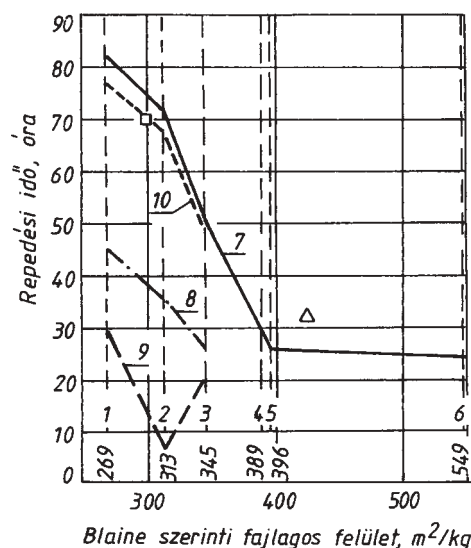
kötési idő végétől számított 24 óra múlva kivették a sablonból, és 20 °C hőmérsékletű, 65% relatív légnedvességű térben tárolták. A repedésérzékenység mérőszámának a bekeveréstől a megrepedésig eltelt időt tekintették. A húzószilárdságot, zsugorodást, tömegvesztéséget 4 x 4 x 16 cm méretű hasábokon határozták meg, ezeknek a levegővel érintkező felülete a gyűrűével egyezett meg.

A kutatás során az 1. táblázat szerinti hazai és külföldi cementeket vizsgálták. A kutatás fő eredményei:

- a gondosan elvégzett gyűrűs vizsgálat alkalmas a cement repedésérzékenységének a vizsgálatára;
- keverővíz szempontjából a kötővizet tekintették összehasonlítási alpnak. Ehhez képest a $\pm 3\%$ eltérés a repedésérzékenységet lényegesen nem változtatta meg (3. ábra);



3. ábra. Gyűrűs kísérlettel meghatározott repedési idők a cement örlési finomsága függvényében [1] (k = kötővíz)



4. ábra. A cementek örlési finomságának és a kötőszabályozó adalékszereknek a hatása a pépgyűrűk repedési idejére [1]

- Jelölés: 1 – Váci 350 kspc-40; 2 – S 54 jelű 350 pc;
 3 – Váci 450 pc; 4 – nagy kezdőszilárdságú svéd pc;
 5 – Perlmooser PZ 375 (osztrák); 6 – Perlmooser PZ 475 (osztrák);
 7 – vegyszer nélkül; 8 – 1% CaCl₂-dal; 9 – 2% CaCl₂-dal;
 10 – 0,05% citromsavval; □ – CEM I 32,5S; △ – CEM I 52,5

c) a repedésérzékenységre meghatározó szerepe a cement őrlési finomságának volt (4. ábra). Indokolt tehát az útépitési cementtel kapcsolatos azon követelmény, hogy a cement fajlagos felülete ne legyen 300 m²/kg-nál nagyobb;

d) a cement tömegére vonatkoztatott 1% kalcium-klorid kötőanyag adalékszer – függetlenül a cement őrlési finomságától – a repedési időt kb. a felére, 2% kalcium-klorid kb. a 38%-ára csökkentette az adalékszer nélküli pépéhez viszonyítva. Ugyanakkor 0,05% citromsav kötőanyag adalékszer a pépgyűrű megrepedési idejét csak kb. 5%-kal csökkentette.

2. A kísérlet leírása

2.1. A kutatás célja

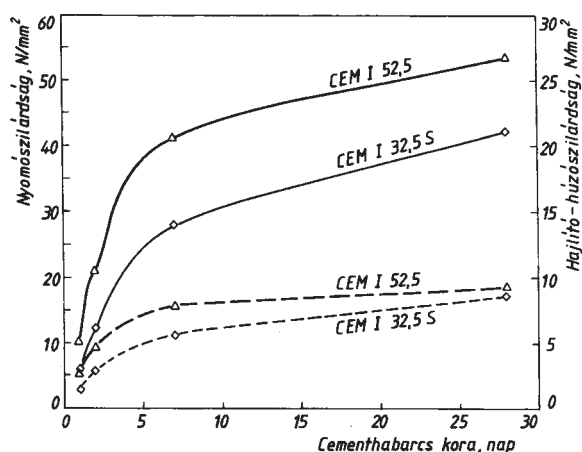
Az előzőekben ismertetett kísérletekből kiindulva annak a vizsgálata, hogy az adalékszer (a kötőgyorsítót kivéve) hogyan hatnak a cement repedésérzékenységre. E kutatásokat Gombor Péter építőmérnök-hallgató diplomamunkájában foglalta össze [10]. A kutatást két szerzőtársa irányította.

2.2. A felhasznált anyagok

A kísérlethez kétféle, egymástól eltérő minőségű cementet használtunk: beremendi CEM I 52,5 jelű és lábatlani CEM I 32,5 S jelű portlandcementet.

A CEM I 52,5 jelű finomra őrölt, nagy szilárdságú portlandcement. A CEM I 32,5 S jelű szulfátálló portlandcementet – a kutatás idején – a Paksi Atomerőmű átmeneti

hulladékártolója építéséhez azért használták fel, mert a gyártott cementek közül ennek a legkisebb a hidratációhője. A vizsgált cementek kémiai és fizikai jellemzőit a 2. táblázatban foglaltuk össze. A szabványos szilárdságokat az 5. ábrán szemléltetjük.



5. ábra. A cementek szilárdságának időbeli alakulása a szabványos cementvizsgálat során

A kísérletekhez azokat az adalékszerket választottuk ki, amelyeket a Paksi Atomerőmű átmeneti hulladékártoló építéséhez is használtak.

A felhasznált **adalékszer**ek a SIKA Hungária Kft.-től származnak.

Plasztiment-BV40: módosított lignin-szulfonát-alapú betonfolyósító adalékszer szerkezeti és látszóbeton céljára. Azonos bedolgozhatóság mellett növeli a beton szilárdságát és tömörödési hajlamát. Alkalmazásával a keverővíz mennyisége lényegesen csökkenthető (10%-ig). Adagolása: 0,2-0,8% a cement tömegére vonatkoztatva. Üzemelő keverőbe adagolható.

2. táblázat

Vizsgált cementek jellemzői

Vizsgált jellemző	CEM I 52,5	CEM I 32,5 S
Izzítási veszteség, m%	1,25	0,59
Híg sósavban oldható rész, m%	1,04	0,70
SiO ₂ , m%	20,24	20,41
CaO, m%	63,67	63,02
MgO, m%	2,03	2,22
Fe ₂ O ₃ , m%	2,90	6,20
Al ₂ O ₃ , m%	5,93	3,73
Na ₂ O, m%	0,42	0,35
K ₂ O, m%	0,25	0,21
SO ₃ , m%	2,75	2,83
Kloridtartalom, m%	<0,01	<0,01
Szabad CaO, m%	1,01	0,77
AM	2,04	0,60
C ₃ S	52,04	55,44
BC ₂ S	18,53	16,75
C ₃ A	8,54	0,65
C ₄ AF	8,82	17,79
C ₂ F	-	0,58
C ₁₂ A ₇	1,90	-
CaSO ₄	4,67	4,81
Sűrűség, g/cm ³	3,08	3,18
Fajlagos felület, m ² /kg	425	298

3. táblázat

Cementpépek tervezett adalékszer-tartalma

Cement jele	Adalékszer	
	típusa	mennyisége a cement tömegére vonatkoztatva, %
CEM I 52,5	-	0,0
	Plasztiment-B 40	0,2
	Sikament-10 HRB	0,5
		0,4
		1,2
	Sika-Retarder	0,5
		2,0
CEM I 32,5 S		3,0
	Sika-Frostschutz	1,0
	-	0,0
	Plasztiment-B 40	0,2
		0,5
	Sikament-10 HRB	0,4
		1,2
	0,5	
	2,0	
	1,0	

Sikament-10 HRB: erős folyósító hatású, formaldehidmentes adalékszer. Alkalmazásával jelentősen (30%-ig) csökkenthető a keverővíz mennyisége, nem lép fel kivézés és szedimentáció. Nagyon jó a konzisztenciátartó képessége. Adagolása: 0,4-1,2% a cement tömegére vonatkoztatva, keverővízbe adagolva.

Sika-Retarder: foszfátalapú kötésslassító betonhoz és habarcsához. Képlékenyítő mellékhatású, így azonos bedolgozhatóság mellett nagyobb szilárdság alakul ki. Adagolása: 0,1-3,0% a cement tömegére vonatkoztatva. Járó keverőbe kell adagolni, a pontos adagolást előkísérlettel kell meghatározni.

Sika-Frostschutz: alumínázbázisú fagyásgátló adalékszer téli betonozáshoz. Kloridmentes, az acélbetétet nem támadja meg. Adagolása: 1,0% a cement tömegére vonatkoztatva. Járó keverőbe vagy keverővízbe kell adagolni.

A kísérletek során vizsgált cementpépek tervezett adalékszer-tartalmát a 3. táblázatban foglaltuk össze.

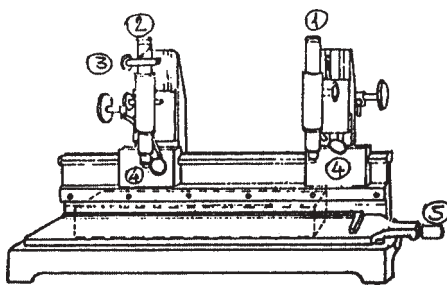
2.3. A cementpép tulajdonságainak vizsgálata

Az 1. fejezetben [1] ismertetett vizsgálatokat – a mérés megbízhatósága érdekében – kismértékben finomítottuk.

A cementpépek minden tulajdonságát Vicat-készülékkel meghatározott **szabványos folyósságú pépen** vizsgáltuk.

A **kötési idő kezdetét és végét** szintén Vicat-készülékkel határoztuk meg.

A **szilárdság** meghatározásához – a szabványos cementhabarcsokhoz hasonlóan – 40 x 40 x 160 mm méretű hasábokat készítettünk. A próbatesteket – sablonostul – 55-60% relatív nedvességtartalmú térben tároltuk, majd 24 ± 2 óra múlva, a sablonból kivéve, mésztelített vízzel telt kádba helyeztük. A víz hőmérséklete 19 ± 2 °C volt. A 24 órától csak kötésslassító adagolása esetén térünk el jelentősen. A 0,5 %-os Sika Retardert tartalmazó péphasábok 24 órás korban még ujjal benyomhatóak voltak, a 2-3%-ot tartalmazókat pedig csak 48-72 óra után lehetett kiszaluzni. Addig fóliával takartuk le a próbatesteket, nehogy kiszáradjanak. Ennél az adagolásnál megfigyeltük, hogy a próbatestek felületi rétege – vízben való tároláskor – kissé megduzzadt.



6. ábra. Leitz-Wetzlar típusú zsugorodásmérő készülék

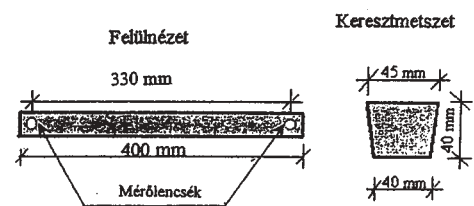
Jelölés: 1 – célzómikroszkóp; 2 – mérőmikroszkóp;
3 – okulármikrométer állító csavarja; 4 – fényvezető tükrök;
5 – próbatestet állító szán csavarja

Az így előkészített próbatesteken 1, 2, 3, 7 és 28 napos korban szilárdsági vizsgálatokat végeztünk: először a hajlító-húzó szilárdságot határoztuk meg 10 cm-es támaszközön, majd a nyomószilárdságot a próbatestek két-két eltört darabján.

A próbatesteket vizsgálat előtt 15 perccel vettük ki a tárolókádból; ez az idő elegendő volt a testsűrűség meghatározására.

A **zsugorodás méréséhez** Leitz-Wetzlar típusú zsugorodásmérő mikroszkópot használtunk (6. ábra).

A próbatestek hosszmeretét úgy választottuk meg, hogy az a mikroszkóp mérési tartományába beleessen (de a minél nagyobb pontosság elérése érdekében igyekeztünk hosszú hasábokon mérni). A cementpép keresztmetszetét pedig a szilárdsági vizsgálatokhoz használt hasábokéhoz hasonlóan, a 7. ábra szerint alakítottuk ki.



7. ábra. A zsugorodás méréséhez készített próbatestek

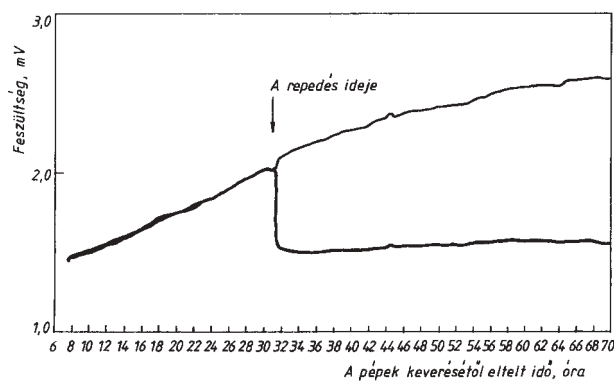
A cementpépeket külön erre a célra készített zsaluzatba dolgoztuk be. A zsaluelemek belsejét fóliával béleltük ki, hogy a zsalun keresztül víz ne távozhasék el. A cementeket ugyanúgy kevertük, dolgoztuk be, mint a szilárdsági vizsgálatoknál. A tárgymikrométereket a bedolgozás után 30 perccel belül elhelyeztük a cementpépeken, kissé benyomva, hogy a péppel együtt mozogjanak alakváltozás közben. A méréseket a bekeveréstől számítva legkésőbb 3 órán belül elkezdtük, attól függően, hogy a keverék kötési ideje hogyan változott. Az első 24 órában több mérést végeztünk, utána naponta egyet, a minták 10 napos koráig. A tárolótér hőmérséklete 20-22 °C, légnedvesség-tartalma 55-60% volt.

A **repedésérzékenységet gyűrűs kísérlettel** vizsgáltuk. A gyűrűvel végzett előkísérleteknél [1] már látszott, hogy az eljárás rendkívül érzékeny a próbatestek homogenitására. A keverés vagy a bedolgozás során keletkező bármilyen egyenetlenség (elégtelen keverés, beszoruló buborékok) repedési helyet jelöl ki. Mivel a zsugorodás az egész minta tömegére kihat, a repedés pedig a leggyengébb keresztmetszetben következik be, az egyenetlenségek a repedési idő megrövidülését okozzák. Kezdetben gondunk volt a regisztrálással is, ugyanis a vezetőrétegnek alkalmazott Graphit 33 típusú grafit spray nagy szakadónyúlása miatt a próbatest repedése után még vezetőképes maradt egy ideig, és ez akadályozta a pontos mérést (a repedési idők nagy szórást mutattak). Ezért később 8B-s grafitceruzával vittük fel a vezetőréteget, ennek nem volt számottevő nyúlása. A repedésérzékenység érzékelésének a módszerét Damokos Ádám tudományos munkatárs dol-

gozta ki. Alapja, hogy a megszilárdult (többségében 24 ± 2 órás), kiszaluzott próbatest palástjára grafitréteget viszünk fel, majd nagy nyúlóképességű gumigyűrűvel rászorítunk egymással szemben négy elektródát („betonozva” a keresztmetszet gyengült volna).

Elektródaként 0,5 mm átmérőjű rézvezeték szolgált. A gyűrűhöz szimmetrikusan csatlakozó négy elektróda közötti grafitréteg egy Wheatstone-híd négy ellenállását képezte. Ha a grafitréteg ellenállása időben változott is (minimálisan), mind a négy negyed ellenállása közel azonosan változott. Két szemben lévő elektródát elektromos árammal (percenként 2 másodpercig 5 V feszültség) tápláltunk, míg a másik két elektróda között a feszültségkülönbség zérus volt. Ha az ellenállások viszonya időben folyamatosan meg is változott, a regisztrátum görbéje folytonos vonal lett.

Bárhol reped is meg a gyűrű, valamelyik ág ellenállása hirtelen megnő, ami a műszer kapcsain feszültségugrást eredményez. A millivolt érzékenységű regisztráló műszer éles kitéréssel jelzi a repedés időpontját. A 8. ábrán jellegzetes grafikont mutatunk be a repedés észlelésére.



8. ábra. Gyűrűs vizsgálat eredményeinek értékelő grafikonja CEM 32,5 S jelű cement esetén

A regisztrálóberendezés négy egységből állt:

- a vizsgáló térben elhelyezett gyűrűk,
- a kapcsolótábla a tápegységgel, kapcsolórelékkal, egyenirányító egységekkel,
- nullpontszabályozó feszültségosztó, külön stabilizált feszültségforrással,
- regisztráló műszer (számítógép).

A percenkénti 2 másodpercig tartó feszültség a kötés menetét nem befolyásolta.

A próbatestek kialakításához a cementet és a szabványos folyóssághoz szükséges mennyiségű vizet habarcskeverőben kevertük össze a szabványos cementvizsgálat keverési programjával. A pépet a szabványos ejtőgéppel dolgoztuk be, de mivel a kötésvízzel készített cementpép tapadása nagyobb, mint a cementhabarcsé, 2×60 ejtést alkalmaztunk a 60 ejtés helyett.

A pépeket több rétegben dolgoztuk be. Minden egyes réteget szurkálással, döngöléssel buborékmentesítettünk, majd a bedolgozott réteg felérdesítése után vittük fel a következő réteget. A kezdeti tapasztalatok után a homo-

genizálás érdekében további intézkedéseket tettünk. A CEM I 52,5 jelű cementet a keverés előtt 0,5 mm-es lyukbőségű szitán átszitáltuk, hogy az esetleg összetömörödött cement véletlenül se kerüljön a keverékbe.

A gyűrűket a bedolgozás után azonnal 55-60% relatív nedvességtartalmú térbe helyeztük és a megrepedésig ott tároltuk. A kiszaluzást többnyire 24 ± 2 óras korban végeztük el, ettől csak a kötésslassítóval készített cementpép esetén tértünk el (ebben az esetben 24 és 72 óras kor közé esett a kiszaluzás). A klimatizált tér az egyensúlyi helyzet beállása miatt lényeges. Részletes bemérése (hőmérséklet, légmozgás, páratartalom térbeli és időbeni változása) is komoly munkát igényelt.

Az ismertetett intézkedések hatására a pépgyűrű keresztmetszetében legfeljebb néhány, tized milliméter átmérőjű buborékot találtunk, azokat is egyenletesen elosztva, és lényegében tömör töréselfületet nyertünk.

A kísérlet érdekessége volt, hogy a CEM I 52,5 cementtel és 2% Sika Retarder (kötésslassító) adalékszerrel készített gyűrű nem repedt meg! Ennek oka az lehet, hogy a cementpép szilárdulása nagyon lassan kezdődött, és a gyűrűt csak 72 óras korban lehetett kiszaluzni, amikor a zsugorodás jelentős része már végbement.

2.4. A kutatás eredményeinek értékelése

2.4.1. Az adalékszerek hatása a szabványos folyósságú cementpépek vízigényére és kötési idejére

Megállapítások a 4. táblázatban összefoglalt vizsgálati eredmények alapján:

- A vízigényt döntően a cementek fajlagos felülete határozta meg. A különbséget az adalékszerek befolyásolták ugyan, de az arányok megmaradtak.
- A kis mennyiségben (0,2%) adagolt képlékenyítő adalékszer a vízigényt nem változtatta meg, 0,5%-ban adagolva is csak 1-2%-kal csökkentette.
- Ezzel szemben a kis mennyiségben (0,4%) adagolt folyósító már 1-2% vízigénycsökkenést eredményezett, nagyobb mennyiségben (1,2%) adagolva pedig 3-4%-ot.
- 0,5% kötésslassító adalékszer hatása gyakorlatilag elhanyagolható volt, 3%-ban adagolva is legfeljebb 1-1,5%-os vízigénycsökkenést okozott.
- A fagyásgátló adalékszer mindkét cement vízigényét kissé növelte.
- A cement kötési idejét – ahogy ezt vártuk – a kötésslassító adalékszer növelte, és a CEM I 52,5 jelű cementre volt nagyobb a hatása (2-7-szeres).
- A CEM I 32,5 S jelű cement kötési idejét a képlékenyítő és folyósító adalékszerek harmadánegyedére csökkentették, míg a CEM I 52,5 jelű cementét alig befolyásolták, ill. a nagy folyósító adalékszer-tartalom növelte. A kísérlet megismétlése során is hasonló eredményre jutottunk.
- A fagyásgátló adalékszer hatása nem volt jelentős.

Cementek vízigénye és kötési ideje különböző adalékszerek hatására

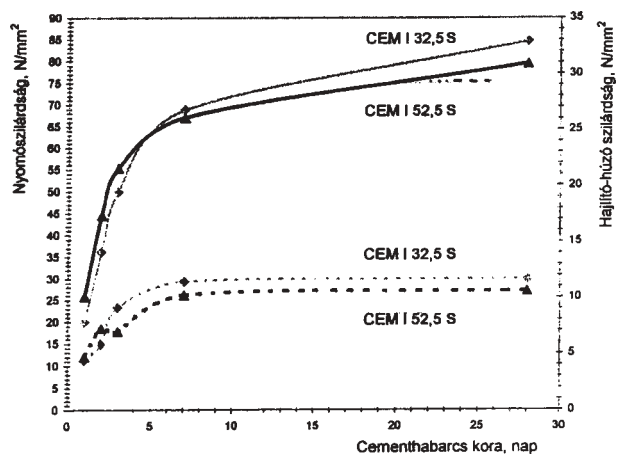
Adalékszer fajtája	Adalékszer mennyisége, %	CEM I 32,5 S cement (Lábatlan)			CEM I 52,5 cement (Beremend)		
		Vízigény, %	Kötési idő kezdete, perc	Kötési idő vége, óra:perc	Vízigény, %	Kötési idő kezdete, perc	Kötési idő vége, óra:perc
-	0	25,5	180	5:30	33	45	4:30
Plasztiment BV40	0,2	25,5	50	6:50	33	45	4:30
	0,5	23,5	30	2:45	32	30	3:40
Sikament 10 HRB	0,4	23	70	6:30	31,33	40	4:00
	1,2	22	25	1:30	29,67	60	12:30
Sika Retarder	0,5	25,33	230	16:00	32,67	90	10:00
	2,0	24,67	280	17:00	31,67	330	23:00
	3,0	24,5	-	-	31,5	-	-
Frostschutz	1,0	26	130	8:00	34,33	60	4:00

– A vizsgálat ellentmondásai olykor kétségbe vonják a VICAT-készülék adalékszeres cementpépek vizsgálatára való alkalmasságát. Például a nagy mennyiségben adagolt folyósító adalékszer olyan tömör struktúrát eredményez a pépben, ami a kötési időtől függetlenül nagymértékben befolyásolja a készülék rúdjának vagy tűjének behatolását (a fellépő nagy súrlódás miatt). Egy másik példa a keverés intenzitása és időtartama: ugyanazt a keverési időt alkalmaztuk adalékszermentes és adalékszeres tartalmazó pépek esetén is, hogy ne legyen újabb változó paraméter, de nem valószínű, hogy mindig ez volt az optimális.

2.4.2. Az adalékszerek hatása a szilárdság időbeli alakulására

A szabványos cementvizsgálat eredményei (5. ábra) jól tükrözik a cementek minőségét: a CEM I 52,5 a nagyobb, míg a CEM I 32,5 S kisebb szilárdságú.

A szabványos konzisztenciájú cementpépek vizsgálatának eredményei már nem ezt a tendenciát mutatták, a kisebb vízigényű CEM I 32,5 S jelű cement szilárdsága lett nagyobb (9. ábra).

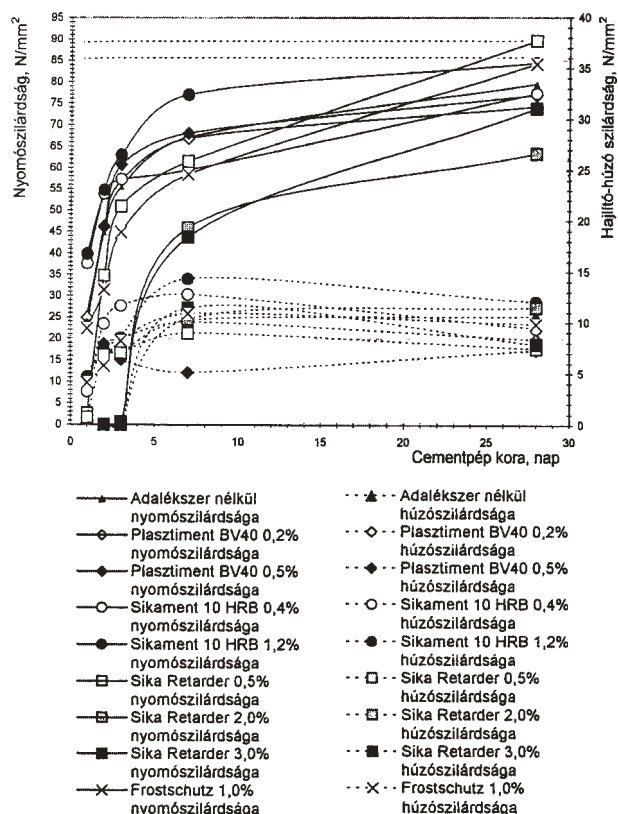


9. ábra. Szabványos konzisztenciájú cementpépek szilárdságának összehasonlítása

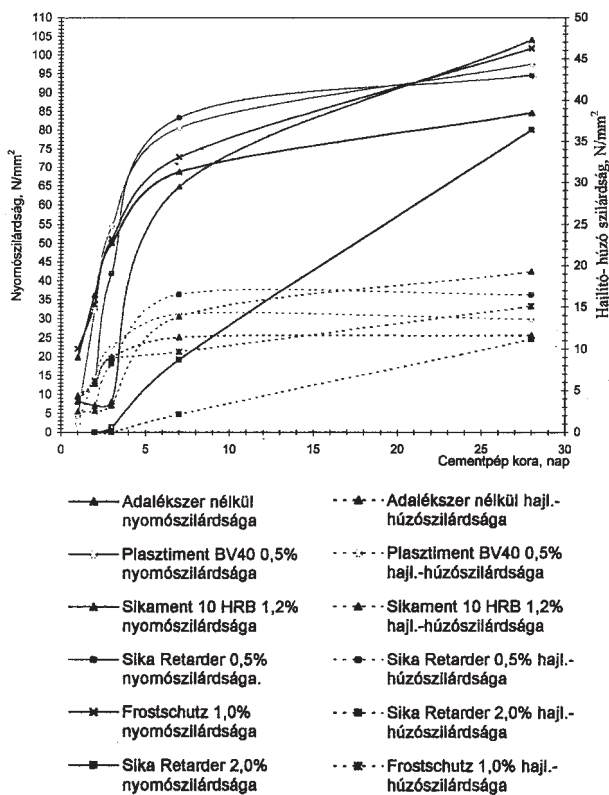
A 10. és 11. ábrán jól látszik, hogy a szilárdságok időbeli alakulását esetenként jelentősen megváltoztatta egy-egy adalékszer használata.

2.5. A repedésérzékenységet befolyásoló tényezők és hatásuk

A könnyebb értékelhetőség érdekében egymás alatt ábrázoltuk (7 napos korig) a húzószilárdság, a zsugorodás és a repedésérzékenység változását az adalékszerek és a kor függvényében (12. és 13. ábra).



10. ábra. Adalékszerek hatása CEM I 52,5 jelű cementtel készített pépek szilárdságának időbeli alakulására

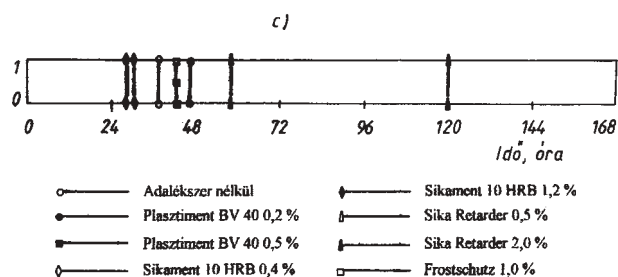
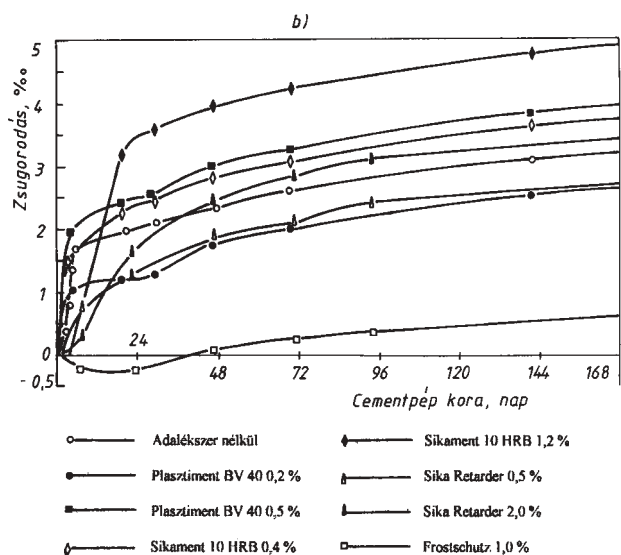
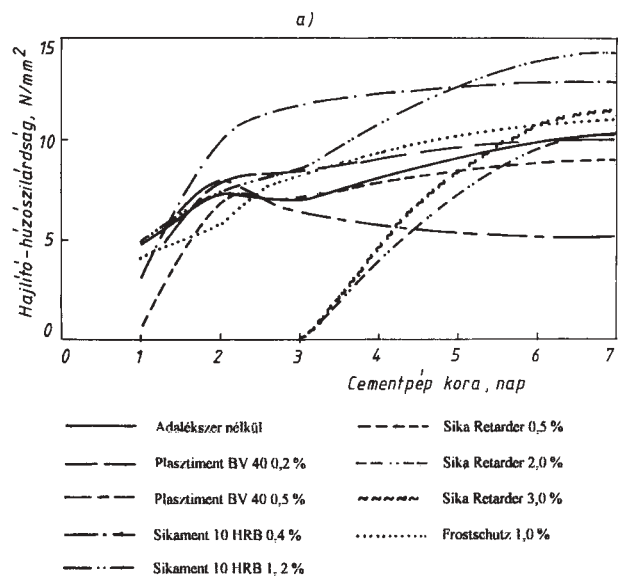


11. ábra. Adalékszer hatása a CEM I 32,5 S jelű cementtel készített pépek szilárdságának időbeli alakulására

Az egyes adalékszer hatását az alábbiakban értékeljük:

- A CEM I 32,5 S jelű cement repedésérzékenysége a **folyósítót** (1,2% Sikament 10 HRB) tartalmazó cementpép esetén nőtt a legjobban. Ezt azzal magyarázzuk, hogy a cementpép hajlító-húzó szilárdsága a megrepedés időpontjáig alig változott, míg a zsugorodás rohamosan nőtt. Ez a folyósító a CEM I 52,5 jelű cement repedésérzékenységét is növelte (az adalékszer nélküliéhez képest), de kisebb mértékben, amit a kezdeti húzószilárdság kedvezőbb alakulásával magyarázunk.

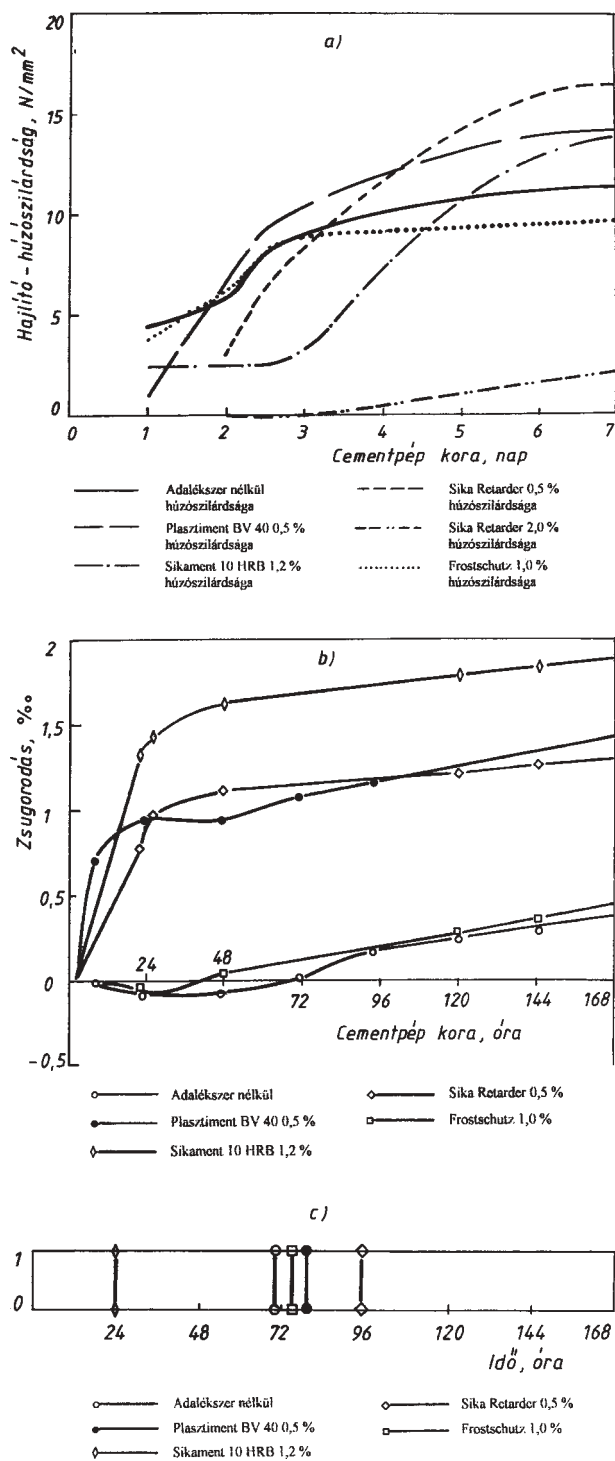
- A **kötéskésleltető adalékszer** (Sika Retarder) befolyásolta a legkedvezőbben a repedésérzékenységet. Ennek az lehet az oka, hogy a kötés kezdete után rohamosan nőtt a húzószilárdság, míg a zsugorodás lassan (a fagyásgátlót kivéve ebben az esetben lett legkisebb a zsugorodás). A 12. ábra azt is szemlélteti, hogy a kötéskésleltető adalékszer mennyiségének a növelésével (0,5-ről 2%-ra) lényegesen javult a repedésérzékenység. A pépgyűrűt csak 72 órában tudtuk kizsaluzni és műszerre kötni, és ez a gyűrű egyáltalán nem repedt meg.
- A **képlékenyítő adalékszer** (Plasztiment BV 40) hatására a repedési idő kismértékben növekedett, aminek okai a következők lehetnek: a cementpép zsugorodása nőtt, ugyanakkor a kezdeti húzószilárdság növekedésének hatása jelentősebb volt. A CEM I



12. ábra. Az adalékszer hatása a CEM I 52,5 jelű cementtel készített pépek repedésérzékenységének időbeli alakulására

a) hajlító-húzó szilárdság; b) zsugorodás; c) repedésérzékenység

52,5 jelű cement esetén a húzószilárdság a második napot követően visszaesett, ami a megrepedés közvetlen oka lehetett. A Plasztiment BV 40 kisebb adagolás esetén jobban növelte a repedési időt, a kisebb zsugorodásnak megfelelően.



13. ábra. Az adalékszerek hatása a CEM I 32,5 S jelű cementtel készített pépek repedésérzékenységének időbeli alakulására

a) hajlító-húzó szilárdság; b) zsugorodás; c) repedésérzékenység

- A fagyásgátló adalékszer (Frostschutz) mind a két cement esetén nagymértékben csökkentette a zsugorodást, és kismértékben a kezdeti húzószilárdságot. Ezek a hatások a repedési idők csekély növekedését eredményezték.

- Az ábrák összehasonlításakor azonnal feltűnik, hogy a CEM I 32,5 S jelű cement repedési ideje sokkal nagyobb, mint a CEM I 52,5 jelű cementé, ami köszönhető a kisebb fajlagos felületnek, a kisebb vízignénynek és az ebből következő kisebb zsugorodásnak. Az Építőanyagok Tanszék korábbi kutatásainak [1] egyik eredménye az a megállapítás volt, hogy a cement fajlagos felületének meghatározó szerepe van a cementpép repedésérzékenységére. A 4. ábrán a korábbi kutatások adataiból szerkesztett görbe mellett feltüntettük az általunk vizsgált két cement repedésérzékenységét is. A pontok jól illeszkednek a görbéhez, igazolva a korábbi megállapítást.

3. Összefoglalás

A kutatás során az adalékszerek hatását a cement repedésérzékenységére gyűrűs módszerrel vizsgáltuk. A 40 x 40 mm keresztmetszetű cementpép gyűrűt 160 mm átmérőjű belső vasmag köré dolgoztuk be. A megrepedés időpontját számítógép segítségével regisztráltuk. Mivel a cementfajtán kívül az adalékszerek hatását is vizsgáltuk, ezért először meghatároztuk a szabványos folyósságú péphez tartozó vízmennyiséget, majd a kötési időket. A gyűrűket a vasmaggal együtt a bekeveréstől számított 24 óra múlva kivettük a sablonból és 17-19 °C hőmérsékletű, 55-60% relatív légnedvesség-tartalmú klímakamrába helyeztük.

A repedésérzékenység mérőszámának a bekeveréstől a megrepedésig eltelt időt (óra) tekintettük.

A cementpépek hajlító-húzó és nyomószilárdságát 40 x 40 x 160 mm-es hasábokon, 1, 2, 7 és 28 napos korban mértük, a zsugorodást pedig 40 x 45 x 400 mm-es hasábokon vizsgáltuk a kötés kezdetétől 7 napos korig.

A kísérlethez két eltérő fajlagos felületű hazai portlandcementet használtunk (CEM I 52,5 és CEM I 32,5 S jelűeket).

- A kísérletek alapján a következőket állapítottuk meg:
 - A megfelelően elvégzett gyűrűs vizsgálat alkalmas a cement repedésérzékenységének vizsgálatára, de a körülményekre (készítés, tárolás) különös gondot kell fordítani.

- A gondos repedésérzékenység-szilárdság-alakváltozás vizsgálatok között fellelhető összefüggések rávilágítanak a repedési jelenség bonyolult voltára.
- Az adalékszer nélküli cementpépek esetében a megrepedés akkor következett be, amikor a zsugorodás növekedésével nem nőtt arányosan a húzószilárdság (tehát a húzószilárdság stagnálása vagy a zsugorodás intenzívebb növekedése okozhatta a repedést).
- A kötéskeletető adalékszer kis mennyiségben adagolva növelte a repedési időt, nagy mennyiségben adagolva a repedés nem következett be. Ennek oka, hogy a kísérlet körülményeit a lassú kötés megváltoztatta (pl. csak a harmadik napon lehetett kiszaluzni a pépeket).
- A képlékenyítő adalékszer növelte a repedési időket, de hatása nem volt jelentős.

- A folyósító adalékszer minden esetben csökkentette a repedési időt, és hatása jelentős volt. Ennek két oka is van, egyrészt növelte a zsugorodásokat, másrészt csökkentette a kezdeti húzószilárdságot.
- A fagyásgátló adalékszer hatására nem számottevően, de növekedtek a repedési idők.

A vizsgálati eredmények alapján megfigyelhető volt a kétféle cementfajta eltérő viselkedése, amit elsősorban az eltérő fajlagos felület okozott.

Az elvégzett kísérletek azt a célt szolgálták, hogy minél jobban megismerjük a repedésérzékenységet befolyásoló belső tényezőket, és az eredmények alapján lehetőség nyíljon a befolyásolásra (csökkentésre).

Irodalom

- [1] Balázs Gy. – Borján J. – Cary Silva Jaime – Liptay A. – Zimonyi Gy.: A cement repedésérzékenysége. BME Építőanyagok Tanszék Tudományos Közlemények, ÉTK, 1972.
- [2] Springenschmid, R.: Über geschliffene Fugen und frühzeitige Verkehrsfreigabe. 2 Europischer Symposium über Betonstrassen. Bern, 1973. Berichte B5.
- [3] Springenschmid, R. – Nischer, P.: Untersuchungen über die

Ursache von Querrissen im jungen Beton. Beton- und Stahlbetonbau 68 (1973) H. 9, S. 221-226.

- [4] Springenschmid, R.: Die Ermittlung der Spannungen infolge von Schwinden und Hydratationswärme im Beton. Beton- und Stahlbetonbau 79 (1984) H. 10, S. 263-269.
- [5] Breitenbücher, R.: Zwangspannungen und Ribbildung infolge Hydratationswärme. Dissertation TU München, 1989.
- [6] Hintzen, W.: Zum Verhalten des jungen Betons unter zentrischem Zwang beim Abfließen der Hydratationswärme. Dissertation RWTH Aachen (1998); ebenso Schriftenreihe der Zementindustrie, H. 59 (1998).
- [7] Hintzen, W. – Thielen, G.: Betontechnische Einflüsse auf die Ribbildung infolge Hydratationswärme. Betontechnische Berichte 1998-2000. Verein Deutscher Zementwerke e.V. Forschungsinstitut der Zementindustrie, S. 61-72.
- [8] Mailjan, R. L.: Metodika iszpütanija i ocenki uszadocnoj trescsinosztojkoszti betonov. Beton i Zselezobeton, 1968. 8. f. p. 40-42.
- [9] Ilantzis, N. A. I.: La résistance en traction et la fissuration des pates pures de ciment. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. 1958. II. k. 131. f. pp. 1231-1254.
- [10] Gombor P.: Az adalékszerek hatása a cement repedésérzékenységre. Diplomamunka, 2001. Konzulensek: Dr. Balázs György és Csányi Erika.

* * *

NEMZETKÖZI VÁSÁROK

BAU 2003 Az építőipar vezető szakvására München, 2003. január 13–18.

A nemzetközi építőanyag-ipar legfrissebb újdonságait a kétévente megrendezendő BAU, az építőanyagok szakvására mutatja be. A szakma csúcstalálkozóját közel négy évtizede, 1964 óta folyamatosan megrendezik. A német és nemzetközi kiállítók már régóta a BAU-ra időzik termékújdonságaik bemutatását.

2003 januárjában ismét 40 ország összesen 1800 vállalata vesz részt a müncheni vásáron. A vásár mintegy 200 000 látogatót vonz. A kiállítók 160 000 négyzetméter területen mutatják be termékeiket.

A látogatók megismerkedhetnek a tervezés, az építés és az épületfenntartás legújabb fejlesztési eredményeivel. A város különleges vonzereje alkalmas arra, hogy az embereket, a témákat egymáshoz vezesse. Fontos lehetőség a szakemberek és az építőanyagok kapcsolatához.

A vásári stratégia Európára koncentrál, jelmondata: „INNOVÁCIÓ EURÓPÁÉRT”.

Az építőipari szakembereknek Európa stratégiáját kell kialakítaniuk. A nagy volumenű építményeket ma már nemzetközi cégek tervezik, építik. Erre a magyar építőiparnak és építőanyag-iparnak fel kell készülnie. Ezt természetesen a nemzetközi anyagbeszállítókkal közösen valósítják meg.

További információ: Ravasz Ágota, Promo Kft., Messe München International hivatalos magyarországi képviselő (1064 Bp., Rózsa u. 55.), tel.: 342-6748, fax: 352-1567.

Utazásszervezés, szállásfoglalás: Léka Ildikó, Interpress Travel (1065 Bp., Bajcsy-Zsilinszky út 21.), tel.: 302-7525/110, fax: 302-7530.

Lipcei Nemzetközi Vásárok 2003. március 20–23.

Magyarország legfontosabb gazdasági partnere Németország, melyen belül Szászország kiemelkedő szerepet tölt be. Magyarország a 14. helyet foglalja el a német kereskedelmi partnerek sorában.

Szászország és Magyarország között a gépjárműipar hagyományosan a legfontosabb kereskedelmi ágazatnak mondható. Lipce város számára Magyarország – Csehország és Lengyelország mellett – a három legfontosabb partnerország egyike. Lipce szeretné a „Kelet kapuja” pozícióját megtartani.

A Lipcei Vásár a világ legrégebbi vásárának számít, de egyúttal a legfiatalabbnak és legmodernebbnek is. 1966-ban adták át a modern hatású vásárterületet. A vásárt az 1990. évi német újraegyesítés óta a kelet-németországi sikertörténetként tartják számon. Jelenleg túlkínálat van iroda- és lakóépületek terén.

Sikeresebb kiállítások zajlanak az autó és közlekedés, az építőipar, a műemlékvédelem és a fogyasztási cikkek témakörében. A kiállítók száma 10 800, a látogatók száma 1,7 millió. Az 1996-ban megnyitott kongresszusi centrum a vásár jelentős növekedését jelentette.

További információ: Interpress Kiállítások Kft., a Lipcei Vásárok magyarországi képviselője. Seifert Ibolya (1065 Bp., Bajcsy-Zsilinszky út 21. I/5.), tel.: 302-7525/120-as mellék, e-mail: seifertinterpress.hu

Kosztirán János