

# VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

pátok tulajdonságairól is. A 8. ábrán jól láthatók az irányítottan dermedt egykristályok és azok különböző helyeiről kivágni tervezett próbatetek. Ez a módszer lehetővé teszi egyetlen darab felhasználásával a komplett tulajdonságok meghatározását. Ha a vizsgálatokat szobahőmérsékleten végzik, akkor az előbb leírt módszerek alkalmazhatók. A pontosság, megbízhatóság miatt javasolt a 7. ábra kapcsán leírt módszerek alkalmazása. Ha pedig növelt hőmérsékleten kell például a kúszási tulajdonságokat vizsgálni, akkor más módszerek alkalmazása is indokolt lehet. A [11] munkában pl. a kúszásvizsgálatok eredményeit mutatják be. Ebben az esetben a 4. ábra kapcsán bemutatott vizsgálati technikát alkalmazták.

## Összefoglalás

Minipróbatetek felhasználásával sok problémát lehet kiküszöbölni az anyagok tulajdonságainak meghatározásánál. A terhelés hatására bekövetkező megnyúlást valódi próbatesten lehet korrekten, megbízhatóan mérni. Ilyen lehetséges módszereket ismertettünk cikkünkben, rámutatva azok előnyeire és hátrányaira is.

Példákkal illusztráltuk, hogy a minipróbatetekeken végzett vizsgálatokkal nyerhető információk lehetővé teszik azt, hogy a végeeselemes számításokkal minél jobban megközelítsük a valóságot, és ezzel tudatos technológiatervezést valósítsunk meg, növelve ezzel a szerkezetek megbízhatóságát.

## Irodalom

[1] Klausnitzer, E., Abmann, H.D., Papouschek, F.: Bestimmung von Werkstoffkennwerten mit Proben kleiner Abmessungen und deren Anwendbarkeit (Determination of mechanical properties with small sized specimens and their application). Werkstoffprüfung 1985, 3. Dezember 1985, Bad Nauheim, S. 409-416.

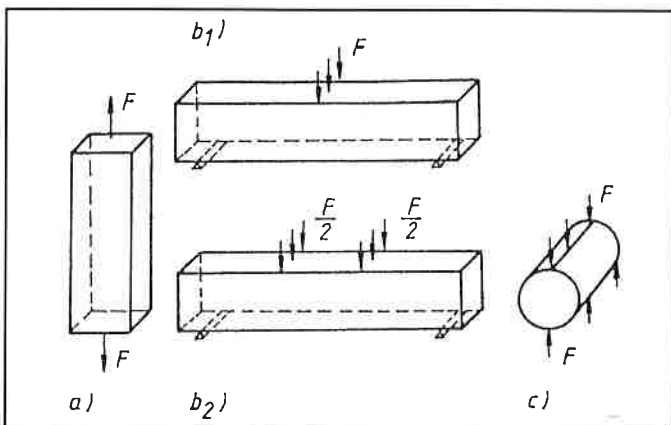
- [2] Klausnitzer, E.: Micro-Specimens for Mechanical Testing, Materialprüfung 33(1991), Heft 5, S.132-134.
- [3] Kohyama, A., Hamada, K., Matsui, H.: Specimen Size Effect on Tensile Properties of Neutronirradiated Steels, Journal of Nuclear Materials, 179-181(1991), pp.417-420.
- [4] Panayotou, N.F., Puigh, R.J., Opperman, E.K.: Miniature Specimen Tensile Data for High Energy Neutron Source Experiments, Journal of Nuclear Materials, 103-104(1981), pp.1523-1526.
- [5] Byun, T.S., Kim, J.H., Chi, S.H., Hong, J.H.: Effect of Specimen Thickness on the Tensile Deformation Properties of SA508 C1.3 Reactor Pressure Vessel Steels, in Small Specimen Test Techniques, ASTM STP 1329, (W.R.Corwin, S.T.Rosinski, E. van Walle, Eds), ASTM 1998, pp.575-587.
- [6] Dobi, D., Junghans, E.: Miniflachzugproben prüfen - richtige Probenentnahme und zuverlässige Prüfverfahren (Testing of mini flat tensile specimens - correct specimen extraction and accurate testing methods), Materialprüfung, Jahrg. 41 (1999)11-12, pp. 445-450.
- [7] Dobi, D., Junghans, E.: Determination of the Properties of Specimens with Small Dimensions, Kovine, Zlilne, Tehnologije (Metals, Alloys, Technology), 33(1999)6, pp. 451-457.
- [8] Dobi, D., Junghans, E.: Mechanische Eigenschaften von Schweißnähten, ermittelt an Miniflachzugproben (Mechanical properties of welded joints, determined with mini flat tensile specimens), Werkstoffprüfung 1996, 5. und 6. Dezember 1996, Bad Nauheim, S. 561-570.
- [9] Dobi, D., Junghans, E.: Vorrichtung zur Erfassung einer Dehnung insbesondere kleiner Proben (Device for measuring elongation especially on small specimens), Patent DE - 197 44 104, Deutsches Patentamt, 1999; Patent SI-9800255, Patentamt der Republik Slowenien, 1999; AZ 1998 1983/98, AD 30.09.1998 Patentanmeldung Schweiz.
- [10] Keydel, T.: Bruchmechanische Bewertung explosionsgeschweißter Stähle (Fracture mechanical assessment of explosive cladmed joints)", Diplomarbeit Universität Rostock, Rostock 1995.
- [11] Kolbe, M., Murken, J., Pistolek, D., Eggeler, G., Klam, H.-J.: Direct Assessment of the Creep Strength of DS Cast Turbine Blades Using Miniature Creep Specimens, Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 30(1999), 11, S.465-472.

# Új vizsgálati módszerek betonkutatóásaim során [1]

Balázs György

## A beton húzószilárdságának vizsgálata (2)

A beton húzószilárdságának vizsgálatára alapvetően háromféle vizsgálati mód terjedt el (1. ábra). A rutinvizsgálatokhoz használják Európában a hajlítóvizsgálatot, a betongerendát központos (1b<sub>1</sub> ábra), illetve harmadpontos (1b<sub>2</sub> ábra) teherrel terhelve. Amerikában terjedt el a hasító-húzóvizsgálat (1c ábra). Amióta a betonból a henger alakú, ún. magmintát ki tudjuk fúrni, azóta útbetonok, repülőtéri betonburkolatok, ipari betonpadozatok, monolit térburkolatok húzószilárdsága meghatározásának egyedüli vizsgálati módszere. Nagy előnye, hogy a megépített szerkezet betonját lehet így minősíteni, míg a hajlítóvizsgálatnál külön készítik a próbatestet és külön a szerkezetet. Utó-



1. ábra. A húzóvizsgálatok elvi vázlatai [2]:

a) központos húzás; b<sub>1</sub>) hajlítóvizsgálat központos teherrel;

b<sub>2</sub>) hajlítóvizsgálat harmadpontos teherrel; c) hasítóvizsgálat hengeren

Forrás mű	Laboratórium neve	A próbatest megfogása, vizsgált részének alakja és méretei	A megfogó berendezés részletei
RILEM Bulletin, 1963	Department of Scientific and Industrial Research Road Research Laboratory Harmondsworth (Middx) G.B.	Betonozott acél $\varnothing$ 10/15 cm-es henger	Próbatest
RILEM Bulletin, 1963	Politecnica di Milano Istituto di Scienza delle Costruzioni, Milano (Italia)	Betonozott acél 10x10x25 cm méretű hasáb	14 cm
RILEM Bulletin, 1963	Building Research Institute, Tokyo (Japan)	Betonozott acél $\varnothing$ 15/45 henger	650 mm Csapok
RILEM Bulletin, 1963	Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción Madrid (Espagne)	Betonozott acél $\varnothing$ 15 henger	Csukló Csukló Beton
RILEM Bulletin, 1963	Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbonne (Portugal)	Betonozott acél $\varnothing$ 10,4/20 cm henger	10 cm 20 cm 10 cm
RILEM Bulletin, 1963	Kalk-og Teglværks-laboratoriet, Aarhus	Ragasztás $\varnothing$ 3,5 cm henger	3
RILEM Bulletin, 1963	C.S.I.R.O. - Division of Building Research Hightit (Vict.) (Australia)	Ragasztás $\varnothing$ 7,5/15 cm henger	

2. ábra. A húzó-próbatetek alakja, mérete és megfogása [2]

\*Akadémiai doktor, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

Forrás mű	Laboratóriuma neve	A próbatest megfogása, vizsgáló részének alakja és méretei	A megfogó berendezés részletei
RILEM Bulletin, 1963	Italcementi, Bergamo (Itália)	Csonkakúp $\varnothing 11,4$ cm henger $L=50$ cm	
RILEM Bulletin, 1963	Istituto Sperimentale Stradale del T.C.I. Milano (Italia)	Kiszélesített hasáb $14 \times 14 \times 30$ cm-es hasáb	
RILEM Bulletin, 1963	Building Research Station Garston (G.B.)	Csonkakúp $\varnothing 7,5/15$ cm henger	
RILEM Bulletin, 1963	Université de Liège-Faculté des Sciences Appl. Institut du Génie Civil, Liège (Belgique)	Ragasztás $100$ cm <sup>2</sup> keresztmetszet, ill. $\varnothing 15/30$ cm henger	
RILEM Bulletin, 1963	Università di Napoli-Instituto di Technica delle Costruzioni, Napoli (Italia)	Kiszélesített hasáb $7 \times 7 \times L$ cm hasáb	
Kasznovszkij, Krol, Sevcova, 1968		Bebetonozott fémgyűrűkhöz csuklós kapcsolat $\varnothing 15/500$ henger	
Pellier, 1961	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris	Bebetonozott acélrúd $\varnothing 18/36$ cm	
Mirimanov 1962	TNSZGFI, Moszkva	Kúposan kialakított fej szorító fogása $\varnothing 113/550$ henger	
Komlós	USTARCH Bratislava		
RILEM Bulletin, 1963	C.E.B.T.P. Paris (France)	Ragasztás $7 \times 7 \times 28$ cm hasáb, ill. $\varnothing 16/30$ cm henger	
RILEM Bulletin, 1963	Materialprüfungsamt für das Bauwesen an der Technischen Hochschule München (R.F.A.)	Ragasztás $8,9 \times 15 \times 30$ cm hasáb	
RILEM Bulletin, 1963	Portland Cement Association-Research and Development Div. Skokie (Ill.) USA	Ragasztás $\varnothing 15/30$ cm henger	
Speila, Kadlecek, 1966	Stavební ústav CVUT Praha	Ragasztás A próbatest hasáb, vagy henger	
Boretti, 1959	Varsói Műegyetem Vízépítési Tagozata, Építési Tanszéke		
Hughes, Chapman, 1965	Department of Civil Engineering University of Birmingham, England	Ragasztás, négyszekszletmetszet, $30,5$ cm hosszú	

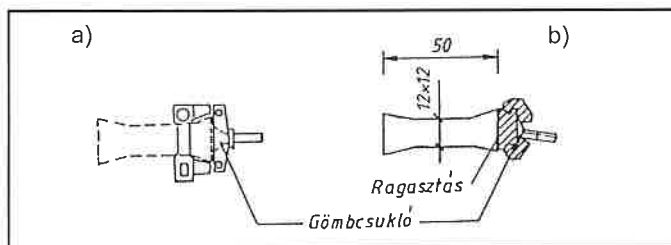
2. ábra. A húzó-próbatestek alakja, mérete és megfogása [2]

bi vizsgálat elsősorban annak a megítélésére jó, hogy az előírt betont készítették-e el.

Utóljára hagytam a központos húzóvizsgálatot (1a ábra), amely rutinvizsgálatokra alkalmatlan, mégis megkerülhetetlen, mert a beton húzási (szilárdsági, pl. határfeszültség) és alakváltozási jellemzőit (pl. rugalmas vagy rugalmas-keplékeny) ebből a vizsgálatból származtatják le. A vizsgálat azonban nehéz, amit az is szemléltet, hogy erre nincs szabványos vizsgálat. 1973-ig a 2. ábrán feltüntetett próbatesteket, vizsgálati módokat használták. Hazánkban csak én foglalkoztam a beton központos húzóvizsgálatával.

A problémát az okozza, hogy egyrészt nehéz a központos húzást megvalósítani, másrészt a betont magunk készítjük és az anyagi középpont, valamint a geometriai középpont ritkán esik egybe. Utóbbira magyarázat: Ha a hasábot álló helyzetben betonozzuk, akkor ugyan az anyagi és a geometriai középpont valószínűleg egybeesik, de a beton bedolgozásával felfelé haladva csökken a beton szilárdsága. Ha a hasábot fekvő helyzetben készítjük, akkor a beton tömörsége alulról felfelé haladva csökken. Mégis úgy ítéltük meg, hogy igen gondos tömörítés esetén a fekvő helyzetben betonozással érünk el jobb eredményt.

Az új vizsgálati mód kialakítása során piskóta alakú próbatesteket készítünk fekvő helyzetben. A húzóvizsgálathoz a 3. ábra szerinti, kétféle megfogó szerkezetet készítettünk. Mindegyiknek fő eleme a gömbcsukló. A 3a ábra szerinti megfogó szerkezet központosan beáll – ezt többször használtuk –, a 3b szerinti – ritkábban használtuk – megfogó szerkezetet a próbatesthez ragasztottuk. Csak azokat az eredményeket fogadtuk el jónak, amikor a szakadás a próbatest állandó szakaszán következett be, de nem a kiszélesedés kezdetén. Ilyen volt a vizsgálati eredmények kb. 70%-a.



3. ábra. A központos húzóvizsgálat próbatestjei és megfogásuk [2]

Ezzel az új vizsgálati móddal a következő vizsgálati irányokat kutattuk. A sok vizsgálatból 1-1 példát mutatunk be.

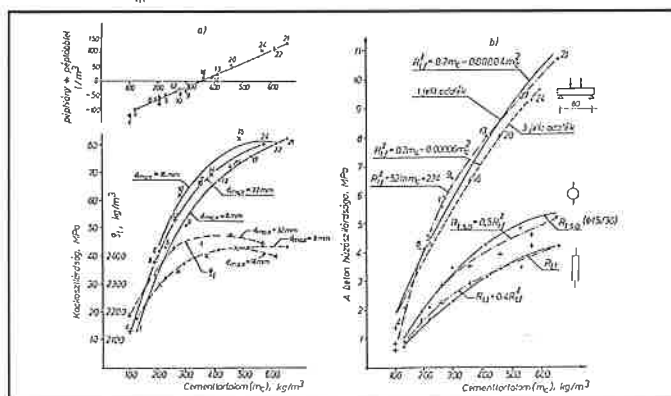
- a) Ha a  $130-600 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmú, 8, 16, ill. 32 mm legnagyobb szem nagyságú, 0,7-0,8 Glanville szerinti tömörödési tényezővel jellemezhető beton szilárdságát a cementtartalom függvényében ábrázoltuk, akkor, míg a beton kockszilárdsága lényegesen függött a beton péptelítettségétől (4a ábra), a húzószilárdsága majdnem arányosan nőtt a cementtartalommal (4b ábra).
- b) A húzószilárdságok egymásba átszámíthatók (4b ábra), nevezetesen

$$R_{1,f}^2 = 2R_{1,s,0} = 2,5 R_{1,l}$$

A képletben  $R_{1,l}$  a hajlító-húzószilárdság harmadpontos terhelése,

$R_{1,s,0}$  a hasító-húzószilárdság,

$R_{1,f}$  a központos húzószilárdság.

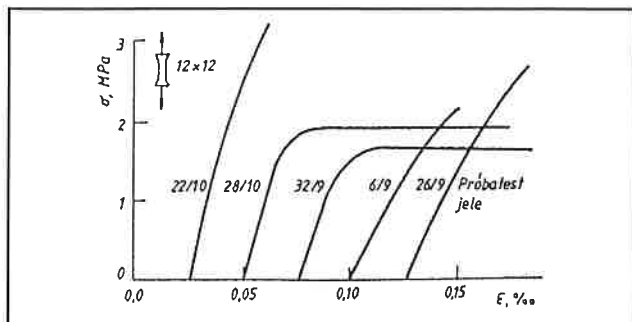


4. ábra. A beton szilárdsága a cementtartalom függvényében: a) kockszilárdság; b) húzószilárdság.

Megjegyzés:  $d_{max}$  az adalékanyag legnagyobb névleges szem nagysága.

## VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

c) Nyúlásmérő bélyegekkel megállapítottuk, hogy a húzásra igénybevett betont a szakadás helyén rugalmas-képlékeny anyagként tekinthetjük, szemben az addig rugalmasnak feltételezettel (5. ábra).



5. ábra. A feszültség–nyúlás diagramok jellege.  
Megjegyzés: a 28/10 és a 32/9 jelű próbatest a nyúlásmérő alaphosszán belül szakadt.

### A cementkő és az adalékanyag közötti tapadás (3)

#### A tapadás jelentősége

Ismert, hogy a beton tulajdonságai (könnyűbetonokat kivéve) rosszabbak mind az adalékanyag-közet, mind a cementkő tulajdonságainál. Míg az adalékanyag nyomószilárdsága általában 50–300 MPa, a cementkőé 70–100 MPa, addig a betoné 5–100 MPa. Ez a különbség a két anyag eltérő tulajdonságaira, elsősorban eltérő alakváltozási tulajdonságaira és alakváltozó képességére, valamint a cementkő és az adalékanyag közötti tapadásra vezethető vissza.

Amidőn a beton szilárdságát (központos nyomásból, illetve húzásból) a törőerőből kiszámítjuk, akkor feltételezzük, hogy a betonban a feszültség állandó. De ez nem így van. A nagy szilárdságú adalékanyagban – azonos összenyomódás esetén – mindig nagyobb a feszültség, mint a cementhabarcsban. A két anyag a tapadás révén dolgozik együtt. A beton tönkremenetele a tapadás megbomlásával kezdődik.

A mikrorepedések, amelyek a kötés és a szilárdulás folyamán, valamint kis terhelés hatására keletkeznek, a cementhabarcs és a durva adalékanyag határfelületén jelennek meg. Ezeket tapadási repedéseknek nevezzük. A terhelés növelésével ezek megnyílnak. A terheléssel a teherbírás felé haladva megjelennek a pép-, ill. habarcsrepedések, amelyeknek mind a hossza, mind a száma nő a feszültség növekedésével.

Az adalékanyag határfelületén tapadási repedéseket okozhatnak a húzó- és nyíróerők egyaránt. Eszerint a tapadás két alapesetét különböztetjük meg:

a) Húzási típusú tapadási repedés akkor jön létre, ha az adalékanyag felületén a húzófeszültség eléri az adalékanyag húzó-tapadási szilárdságát. Ez az adalékanyag és a habarcs részleges elválását eredményezi.

b) Nyírási típusú tapadási repedések akkor keletkeznek, ha az adalékanyag felületén a nyírófeszültség eléri a nyíró-tapadási szilárdságot. Ez a jelenség az adalékanyag és a habarcs közötti elcsúszásban jelentkezik.

Utóbbi esetben, ha a húzóerő nagy a nyíróerőhöz képest, a húzási tapadásba való átmenet következhet be. Ily módon a húzási tapadás úgy is felfogható, mint a nyírási igénybevételi mód egyik szélsőértéke.

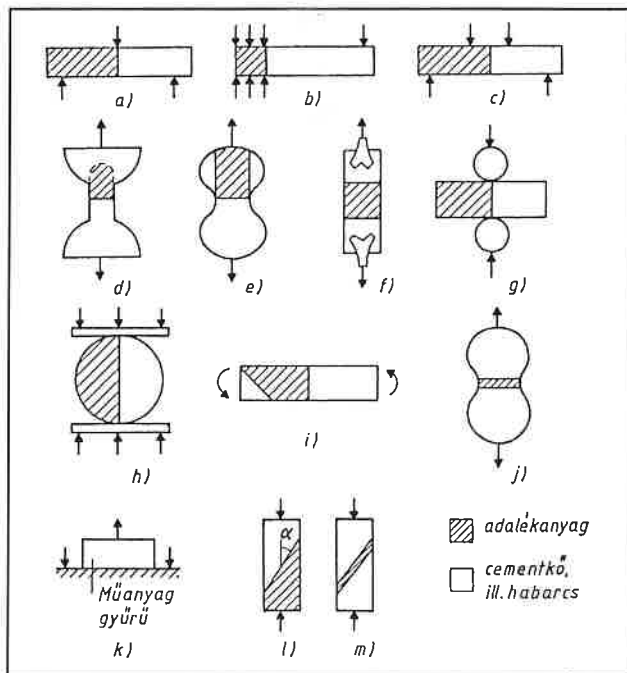
A tapadást a két alapeseten belül természetesen számos tényező befolyásolja. Egyik alapvető tényező a cementkő, annak a hidratáció folyamán a szilárdulási és tárolási feltételektől függő tulajdonságai, az adalékanyag határfelületén kialakuló réteg hidrátszerkezete és összenövése az adalékanyaggal. A másik alapvető tényező az adalékanyag alaptulajdonságai és felületi érdessége.

Eppen ezekből kiindulva szokás kémiai és mechanikai tapadást megkülönböztetni. Előbbi elsősorban a cementtől, utóbbi az adalékfelülettől függ.

#### A tapadási szilárdság

Az adalékanyag-cementkő vagy cementhabarcs tapadási szilárdságának vizsgálatára sokféle modellt használnak. Az általunk ismerteket a 6.

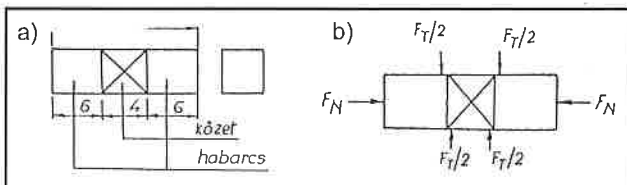
ábrán foglaltuk össze. E szerint alapvetően kétféle modell ismert, nevezetesen: a húzó-tapadási és a nyíró-tapadási modell.



6. ábra. Az adalékanyag és a cementkő, cementhabarcs tapadásának vizsgálatára használt modellek: a)–k) húzó-tapadási modellek; l)–m) nyíró-tapadási modellek. Szerzők: a), b), l): Alexander; m) Taylor és Broms; j) Henning; k): Rehm és Zünbmann; c), d), e), f), g), h), i): Mesnager, Farran, Valenta, Hsu és Slate [3]

### Új modell a nyíró-tapadás vizsgálatához

Kutatásaink során a húzó-tapadás vizsgálatára a 6a ábra szerinti modellt használtuk. A nyíró-tapadás vizsgálatára pedig új módszert dolgoztunk ki. A próbatesteket úgy készítettük el, hogy a közethasábokból 4 cm élhosszú kockát fűrészeltünk ki, és abból állítottuk elő a 7a ábra szerinti hasábokat, amelyeket a 7b ábra szerint vizsgáltunk. Külön eszközt készítettünk a nyomó- és a nyíróerő kifejtésére.



7. ábra. Nyíró-tapadási vizsgálat. a) a próbatestek elkészítésének vázlata; b) a nyírókészülék elvi felépítése [3]

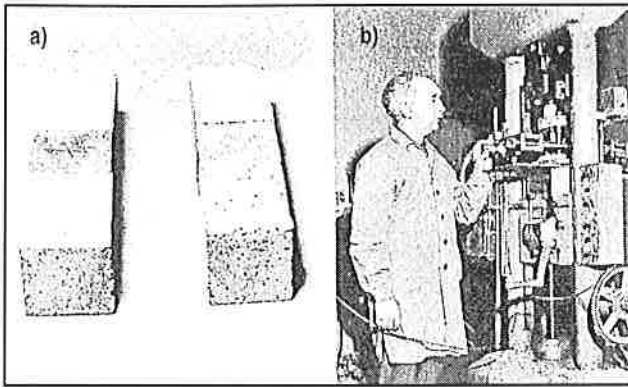
A vizsgálat során először meghatároztuk a köbetétes hasábokkal egyidejűen készített 4x4x16 cm méretű habarcs-hasábok hasábszilárdságát. Feltételeztük, hogy kb. ilyen nyomófeszültséget bír el a köbetétes hasáb is.

Ez után a köbetétes hasábot központosan elhelyeztük a fekvő keretben. Ez egy merev szerkezet volt, amellyel a hasábra a nyomóerőt két golyóscsapágyon mozgó csavar meghúzása által adtuk át. Az erő nagyságát a közbeiktatott dinamométerrel mértük. A dinamométerrel ellentétes oldalon gömbcsuklót helyeztünk el.

Majd ezt a készüléket behelyeztük a 100 kN mérés határú Schopper-gépbe. A nyíróerőt a gépbe helyezett szerszám közbeiktatásával maga a gép fejtette ki, és a törőgép skáláján olvastuk le. A törőgépbe helyezett vizsgálókészüléket a 8b ábra szemlélteti.

A kutatás során változtattuk a habarcs minőségét, a habarcs korát, az adalékanyag fajtáját (2 bazalt, 2 mészkő, 1 riolitúfa, 8 andezit), a köfelület érdességét, a minta nedvességi állapotát.

A habarcsminőség négyféle volt. A habarcs konzisztenciáját tekintetűk állandónak, azaz a víz–cement tényezőt úgy változtattuk, hogy az



8. ábra. Nyíró-tapadási vizsgálat (a törőgépnél Schifferer Lőrinc laboráns).

a) a vizsgálatra előkészített próbatestek; b) a vizsgálat

MSZ 523-53 szabvány szerint a képlékeny habarcsvizsgálathoz előírt terülmérő készülékkel meghatározott terület 13-14 cm között legyen.

A köfelület érdessége kétféle volt:

- a) Bauschinger-Böhme-koptatóberendezésen lecsiszolt felület,
- b) rovátkolt felület, a barázdák mélysége kb. 1 mm volt.

A nedvességi állapot – a tárolással jellemezve – háromféle volt:

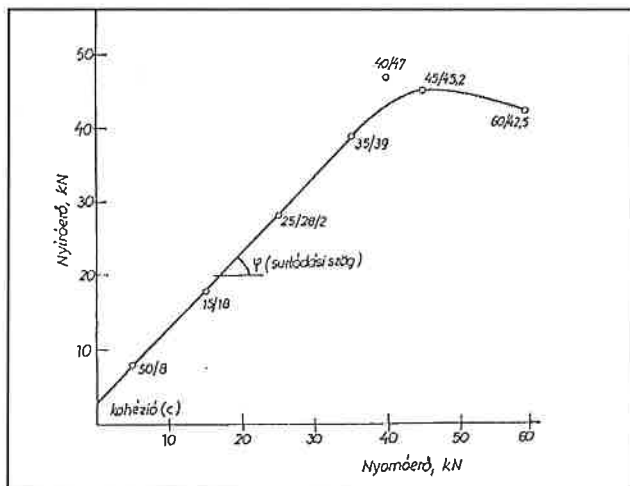
- a) végig vízben,
- b) 1 hétig vízben, azután szobalevegőn,
- c) 1 hétig vízben, azután szobalevegőn, vizsgálat előtt 1 héttel szárítóban.

### A vizsgálat eredményei

Az első próbatestben a habarcs hasábszilárdsága 10–15%-ának megfelelő központos nyomóerőt hoztunk létre. Ezt követően a Schopper-gép közvetítésével a próbatestet nyíróerővel addig terheltük, amíg a kő és a habarcs felülete között az elcsúszás meg nem kezdődött. Terhelés közben állandóan ellenőriztük a nyomóerőt.

A következő próbatesteknél úgy ismételtük meg ezt a kísérletet, hogy a nyomóerőt minden próbatestnél növeltük.

A mérési eredmények alapján szerkesztettük meg a nyomóerő-nyíróerő diagramokat (példa a 9. ábra). Ha a nyomóerőt 16 cm<sup>2</sup>-rel, a nyíróerőt 2x16 cm<sup>2</sup>-rel osztottuk, akkor megkaptuk a  $\tau_{lap} = f(\sigma)$  diagramot. Ez a függvény kezdetben egyenes volt. Nagy nyomóerőknél elgörbült. A legnagyobb nyomófeszültség a habarcs szétmorzsolódását eredményezte. Ebben az esetben  $\tau_{lap} = 0$  volt. A  $\sigma = 0$  értékhez tartozó  $\tau_{lap}$  értéket neveztük kohézióknak. A függvény egyenes szakaszának a hajlásszöge a súrlódási szög.



9. ábra. A 7 jelű (R5) próbatest nyomóerő-nyíróerő diagramja

### A kísérlet eredményei

A kísérlet eredményei alapján a következőket állapítottuk meg:

A  $\tau_{lap} = f(\sigma)$  összefüggésben a **súrlódási szöget sem a kőzetfajta, sem a kőzet felületének az érdessége (a vizsgált érdességgel), sem a**

habarcs minősége, sem kora, sem a próbatest nedvességi állapota nem befolyásolta lényegesen, 25–30° közötti értéket kaptunk. A kohézió azonban lényegesen függött a habarcs minőségétől, korától, a kőzet fajtájától. Nagy hatása volt a próbatest nedvességi állapotának. A végig vízben tárolt próbatest kohéziójához képest a 7 napig vízben, 2 hétig szobalevegőn tárolt, majd 1 hétig szárított próbatestek kohéziója felére-harmadára csökkent. Ha adalékközetnek műgyantahabarcsot használtunk, a kohézió zérus lett, de nem változott meg lényegesen a súrlódási szög.

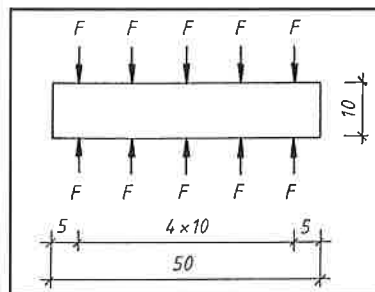
## A cement modellezése klinkerásványok segítségével

### A szilárdság vizsgálatának új módszere

Az irodalom kiterjedten foglalkozik a hidratált klinkerásványok szilárdságának a mechanizmusával, valamint a keletkezett hidráttermékek morfológiájával. Ezzel szemben kutatásainkig kevés közlemény tárgyalt a klinkerásványok szilárdságát, ezen belül alig lehetett adatot találni a húzószilárdságra. Ezért új módszert dolgoztunk ki a kockaszilárdság és a húzószilárdság vizsgálatára.

Mindkét esetben abból kellett kiindulni, hogy a klinkerásványok kilogrammonkénti ára már 1980-ban is több volt 100 000,- Ft-nál, tehát csak kis próbatesteket készíthettünk.

Mivel a törőgépek adottak voltak, és az ezeken vizsgált kockák szilárdságának a szórása igen nagy volt, a klinkerásványokból pedig legfeljebb 2, ill. 3 cm élhosszú kockákat készíthettünk, ezért a Dombitól [4] veit gondolat alapján valamennyi kockához (ez vonatkozik a kísérlet során vizsgált összes próbatestre, tehát a betonokra is) olyan gömbcsuklót készítettünk, amelynek a gömb központja a kocka középpontjával egyezett meg. Ezzel a szórás minimálisra (1–2%) csökkent. Ezt próbatestekhez illesztett gömbcsuklónak neveztük el.



10. ábra. Klinkerásványpépek hasító-húzóvizsgálata

A húzószilárdság meghatározása hasábok hasítóvizsgálatával a betonoknál ismert. Ezt a módszert alkalmaztuk 1x1x5 cm méretű klinkerásvány

hasábokra, gondosan kikísérletezve a megfelelő hasítóék típusát. Így egy hasáb vizsgálatával 5 mérési eredményt kaptunk (10. ábra).

### A hidratáció befagyasztása

A próbatesteket a szilárdsági vizsgálat után elporítottuk, és derivatográfias, valamint röntgenvizsgálatnak vetettük alá.

Röntgenvizsgálattal a keletkezett hidrátok fajtáját határoztuk meg, míg derivatográfia ez mennyiségét.

Mint ahogy az adott korú mintákat nem tudtuk mindig a megfelelő időpontban derivatografálni, a hidratációt izopropil-alkoholos kezeléssel „befagyasztottuk”, ami után a minták vizsgálata bármikor elvégezhető volt. Ezt a módszert azonban csak a hidratált C<sub>3</sub>S, βC<sub>2</sub>S és idősebb korú, illetve gőzölt cementpépek és betonok esetében használhattuk. Mint ismeretes, a C<sub>3</sub>A-ból és C<sub>4</sub>AF-ből keletkező hidrátok nem stabilisak, átalakulásuk vízfélzabradulással jár, ami további hidratációt segíthet elő, tehát „befagyasztásuk” nem gátolja a hidratáció előrehaladását. Ezért ezeket a mintákat mindig a megadott időpontban (korban) vizsgáltuk.

A hidratált klinkerásvány-, ill. cementpépmintákat a következőképpen készítettük elő: a kockának mind a hat lapjáról 2-3 mm-nyi réteget eltávolítottunk, a „meghámozott” kis kockát összetörtük, majd a szabályos negyedeléssel készített, szükséges mennyiségű átlagmintát addig porítottuk, míg a 60 μm lyukbőségű szitán át nem hullott. Ezt a műveletet a lehető leggyorsabban kell elvégezni, hogy közben sem karbonátosodásra, sem egyéb reakcióra ne legyen lehetőség. A hidratált C<sub>3</sub>S- és βC<sub>2</sub>S-pépek megporított mintáit haladéktalanul megfelelő térfogatú G4-es üvegszűrőre helyeztük, ami a vízlégszivattyúval összekötött addig porítottuk, míg a 60 μm tölcserrel együtt zárt rendszert alkotott. A hidratáció befagyasztása céljából háromszor egymás után kb. 50 ml izopropil-alkoholt, majd kb. 50 ml dietil-étert szivattunk a mintán keresztül, végül azt a

# VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

tölcsér csapjának elfordítása után mintegy fél órán át vákuumban szárítottuk, hogy az izopropil-alkohol, ill. dietil-éter utolsó nyomai is eltávozhassanak. A mintát a szűrőről levéve azonnal jól záró mintatartóba tettük, és a vizsgálat időpontjáig szobahőmérsékleten tároltuk. A tiszta izopropil-alkohol – az etil-alkoholhoz hasonlóan – korlátlanul elegyedik a vízzel, így az átszívítás során szinte magával ragadja a minta adszorpciós vizét, a rétegek közé azonban elágazó szénláncá következtében nem tud behatolni, és a hidratációtermékekkel nem alkot reakciót. Tehát a vizsgálandó minta hidratát klinkerásvány- vagy cementpép-szerkezetében sem fizikai, sem kémiai változásokat nem okoz, alkalmazása csak azt a vizet távolítja el, ami további hidratációt tett volna lehetővé.

## A cement repedésérzékenységének vizsgálata (5)

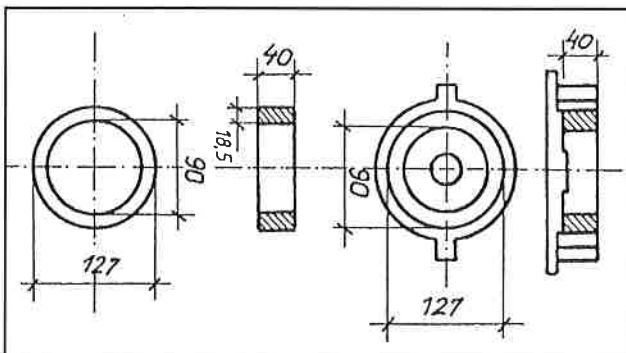
### A repedésérzékenység vizsgálatának célja és eszköze

A bedolgozott friss betonban bonyolult fizikai-kémiai folyamatok hatására megindul a kötés, majd a szilárdulás. Ennek eredményeként nő a beton szilárdsága és rugalmassági modulusa. Ezen kívül a cement exotherm hője, valamint a külső tényezők (napsugárzás, léghőmérséklet, légsebesség) együttes hatására a betonban jelentős hőmérséklet-emelkedés, egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás, abból saját feszültségek lépnek fel. Ehhez járul még a zsugorodás, az ebből adódó zsugorodási feszültségek. Végül a belső feszültségek hatására fellép a lassú alakváltozás, amely a feszültségeket némileg csökkenti. Ha a betonban kialakuló húzófeszültség eléri a beton húzószilárdságát, illetve a beton nyúlása a nyúlóképességét, akkor felületi kéreg-, ill. átmenő repedések lépnek fel, amelyek vízzáró betonban, vízepítési betonban, útbetonban, sugárvédő betonban annyira károsak, hogy gondoskodni kell a megelőzésükről.

A jelenség rendkívül összetett. Ugyanis a szilárdulás kezdeti állapotban óráról órára változik a beton minden tulajdonsága. Azonban kezdetben alakváltozások feszültségek nélkül is keletkezhetnek.

A befolyásoló tényezők hatását számos kutató vizsgálta, és van jelentős építési tapasztalat is, de még mindig sok a nyitott kérdés. A legfontosabb tényező a cement. A cement repedésérzékenységének a vizsgálatára nem volt magyar szabvány.

Ezért a repedésérzékenység vizsgálatát során az AFNOR-P 15.434 és AFNOR-P 15.402 francia szabványok által előírt módszerből indultunk ki. A szabvány szerint 90 mm átmérőjű mag köré 18,5 mm vastag, 40 mm magas keresztmetszetű pépgyűrűt alakítanak ki egy külső sablon segítségével (11. ábra), amelyet cementi kötése után eltávolítanak. A gyűrű külső felületére elektromos vezetőréteget visznek fel, amely egy áramkör része. A repedés időpontját az áramkör megszakadásának időpontját jelző műszer rögzíti.

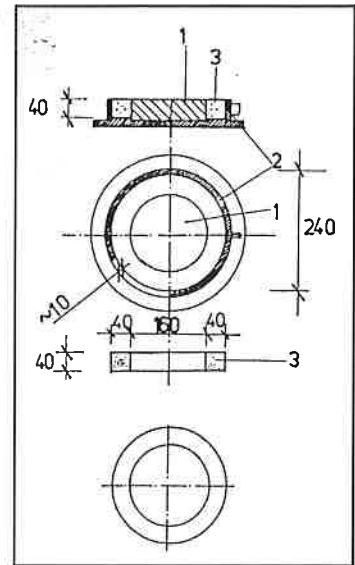


11. ábra. A francia szabvány szerinti próbatesszt és sablonja

Ennek a vizsgálati módnak az alkalmazása egyszerű feladatnak látszott, de igen sok előkísérletet kellett végeznünk, mire a gyűrű helyes méretét, a regisztrálás módját, a próbatesszt egyenletes minőségét elértük. Ezeket az előkísérleteket Borján József egyetemi adjunktus, Zimonyi Gyula egyetemi docens, Cary Silva Jaime bolíviai egyetemi hallgató és Kálovics Ferenc technikus végezték el.

A 40x40 mm keresztmetszetű (12. ábra) pépgyűrűt azért választottuk, mert így a repedésérzékenységi, a szilárdsági és a zsugorodási kísérletek során vizsgált próbatesszt keresztmetszeti mérete azonos

lett, és ez által a lejátszódó folyamatok is hasonlóak tételvezetők fel. A sablon alsó része egy acélkorong alaplemez, amelyre felcsavarozható egy hengeres acélmag, és ráilleszhető a gyűrű külső zsaluzatát alkotó acélgyűrű. A cementpép kötése után (24 óras korban) a külső gyűrűt eltávolítottuk, majd a magot és a cementpépgyűrűt együttesen leemeltük az alaplemezről. Ezáltal a pépgyűrű 3 felülete érintkezett a klimatizált légkörrel (20°C hőmérséklet, 65% rel. légnedves-ség-tartalom), egy oldala pedig a maghoz szorult. Az elrendezés a pépgyűrű keresztmetszetére nézve szimmetrikus volt.

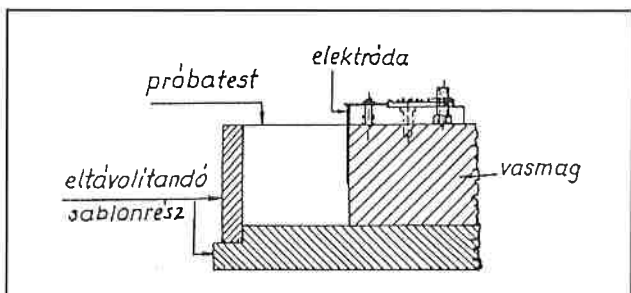


12. ábra. Kutatásaink során készített gyűrűs próbatesszt és sablonja

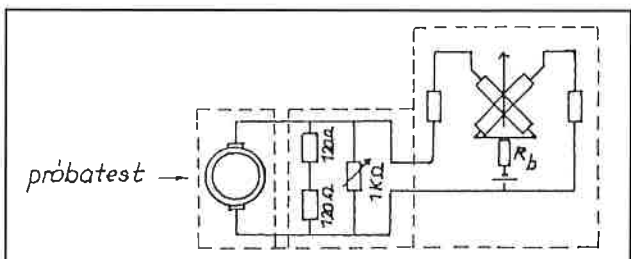
A cementgyűrűben a gáttolt alakváltozásból eredő igénybevétel egyenletesnek tételvezetők fel. A repedés tehát ott következett be, ahol a keresztmetszet a leggyengébb volt. A legtöbb gondot a keveréssel és a bedolgozással bevitt buborékok okozták. Az egyenletesség érdekében a cementeket – bár nem voltak csomósak – átszítáltuk 1 mm lyukbőségű szitán. A pépet a szabványos cementvizsgálathoz előírt gépi keverőben kevertük meg, majd szabványos ejtőgépen 3x60 ejtegetéssel tömörítettük. Minden vizsgálatához 3 gyűrűt készítettünk. A gyűrűket az elkészítéstől a 24 óras kori kiszérésig 100% rel. légnedves-ségű térben tároltuk. A kiszértelt gyűrűt kb. 10 m<sup>3</sup>-es klímakamrában tároltuk, amelynek mind a hőmérsékletét, mind a légnedves-ség-tartalmát a 6 db egyszerre elhelyezett gyűrű elhanyagolható mértékben változtatta meg.

Kiszérés után a gyűrűt a maggal együtt egy rögzítő állványra helyeztük, és forgatás közben a külső hengerpalástra ecsettel felvitük az előzőleg besűrített grafitfestéket. A gyűrűket ez után a tároló lemezre helyeztük. A gyűrűket úgy helyeztük el, hogy három felületüket a levegő szabadon érte, míg a belső gyűrűfelület a vasmagnak feszült. A két elektróda (13. ábra), amelyeket a gyűrűs próbatesszt készítése során bebetonoztunk, olyan szénkefe volt, amelyet háztartási kismotorokhoz használnak. A jó elektromos csatlakozást a gyűrű és a szénkefe közé cseppentett grafitfestékkel értük el. A gyűrűre felvit grafitréteg a szem-

lét, és ez által a lejátszódó folyamatok is hasonlóak tételvezetők fel. A repedés tehát ott következett be, ahol a keresztmetszet a leggyengébb volt. A legtöbb gondot a keveréssel és a bedolgozással bevitt buborékok okozták. Az egyenletesség érdekében a cementeket – bár nem voltak csomósak – átszítáltuk 1 mm lyukbőségű szitán. A pépet a szabványos cementvizsgálathoz előírt gépi keverőben kevertük meg, majd szabványos ejtőgépen 3x60 ejtegetéssel tömörítettük. Minden vizsgálatához 3 gyűrűt készítettünk. A gyűrűket az elkészítéstől a 24 óras kori kiszérésig 100% rel. légnedves-ségű térben tároltuk. A kiszértelt gyűrűt kb. 10 m<sup>3</sup>-es klímakamrában tároltuk, amelynek mind a hőmérsékletét, mind a légnedves-ség-tartalmát a 6 db egyszerre elhelyezett gyűrű elhanyagolható mértékben változtatta meg.



13. ábra. Az elektróda elhelyezésének vázlata



14. ábra. A grafitfestékes repedésjelző készülék kapcsolási rajza

ben elhelyezett elektródák között két, kb. azonos nagyságú, párhuzamosan kapcsolt ellenállást képezett. Repedéskor ezek egyike megszakadt, a mérőkör ellenállása megnőtt, amit a műszer kitérése jelzett. A regisztráló műszer a Ganz Műszer Művek elektromos ellenállás-változáson alapuló, PKC-6 típusú hatsatornás pontszinírója volt. A kapcsolási vázlatot a 14. ábra szemlélteti.

A repedésérzékenység mértékének azt az időtartamot tekintettük, ami a pép megkeverésétől a gyűrű megrepedéséig eltelt, szigorúan betartva a tárolási körülményeket. A repedést a gyűrűre felvitt vékony grafitsík ellenállásának a repedés következtében bekövetkező megváltozásával regisztráltuk.

**Kiegészítő vizsgálatok**

A zsugorodást Zeiss gyártmányú, 12 cm alaphosszú mikroszkóppal mértük. A műszer 2 db szálereszttel ellátott mikroszkóp volt, amelyek közül az egyiket optikai mikrométeres leolvasó-berendezéssel szereltük fel. A látómezőben egy osztás 0,05 mm, ami a mikrométercsavar 50 részre osztott teljes körülfordulásának felel meg.

A próbatesteket műanyaghabból előállított sablonban készítettük, hogy a mérést minél előbb megkezdhesük, és a sablonból víz ne távozzék el. Az alaphossznak megfelelő távolságra helyeztük el a diaüvegre ragasztott üvegszálból készített száleresztet. A látómezőben a két szál széleinek a metszéspontjában nagy fényerővel világító pont jelenik meg. Ezt tekintettük mérőpontnak.

A próbatesteket a kiszáradás után üveglapra helyezve a gyűrűs próbatestekkel együtt tároltuk, így azokhoz hasonlóan három oldaluk szabad volt.

A zsugorodás vizsgálatához felhasznált péptestek **tömegváltozását** 0,01 g érzékenységgű mérlegen, a **hajlító-húzószilárdságot** 4x4x16 cm-es hasábokon, 12 cm támaszközön, harmadpontos terheléssel határoztuk meg. Mivel a szilárdulási folyamatot kezdetől ismerni akartuk, ezért a hasábokat a kiszáradásig 100%-os rel. légnedvesség-tartalmú térben tároltuk. A hasábokat a kötés vége után 1,5-5 óra múlva szereltük ki. A kiszáradás után 20°C hőmérsékletű és 65% rel. légnedvesség-tartalmú térben tároltuk. Az első szilárdsági vizsgálatot a kiszáradáskor, míg a többit az első 10 napon bizonyos időközönként végeztük el.

**Penetráción** a bitumen penetrációjának a vizsgálatához használt penetrométertű behatolását értettük a vizsgálat kezdetétől számított 5 s alatt. Ezt a mérési módot *Juhász* Zoltán tudományos főmunkatárs dolgozta ki. Ezzel a kötési folyamatot kísértük nyomon.

**A kísérlet**

Az előkísérletből azt a következtetést vontuk le, hogy a víz-cement tényezőnek ±3 m%-os eltérése a repedésérzékenységet lényegesen nem befolyásolja. Ennek ismeretében a többi péptestet a kötésvízzel készítettük.

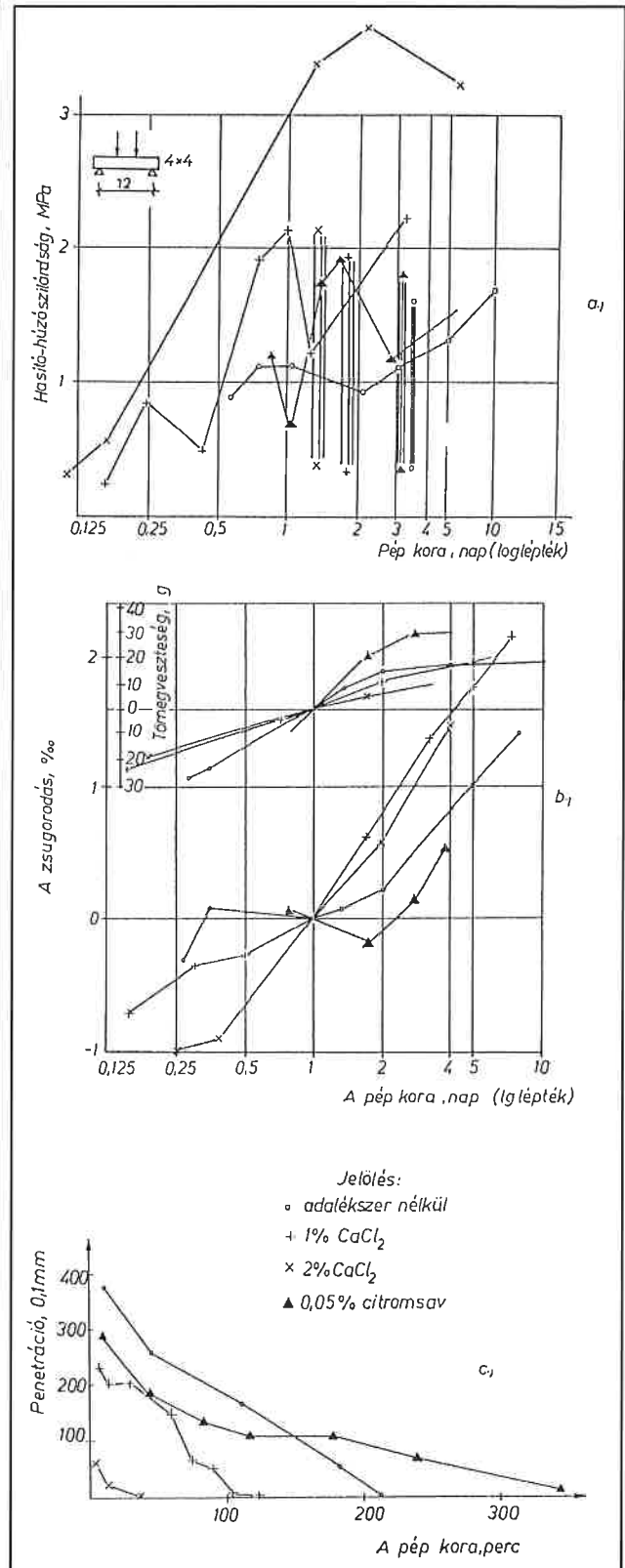
A kutatást 3 magyar és 3 külföldi (gyári) cementtel végeztük el. A repedésérzékenység szempontjából kiemelkedő tulajdonságaikat az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat: A vizsgált cementek

A cement neve	Jel	C <sub>3</sub> A-tartalom, m%	Fajlagos felület cm <sup>2</sup> /g	Kötésvíz, m%
Váci 350 kspc 40	1	15,6	2690	26,5
Váci 450 pc	3	12,5	3450	27,5
S54 350 pc	2	0,9	3130	23,2
Osztrák PZ 475	5	12,5	3960	26,0
Osztrák PZ 475	6	14,7	5490	29,5
Svéd nagy kezdőszilárdságú pc	4	13,5	3890	27,0

A kutatás keretében vizsgáltuk a cementpépek repedésérzékenységét, kötésiidejét és penetrációját, szilárdulási ütemét, zsugorodását és vízvesztését, a CaCl<sub>2</sub>-nak és a citromsavnak a felsorolt tulajdonságokra kifejtett hatását.

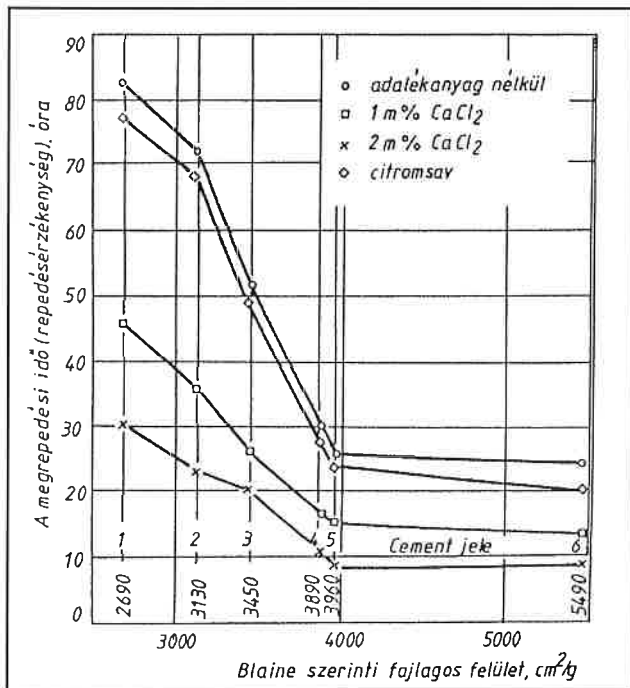
A 15. ábrán a vizsgált adalékszerek hatását mutattuk be. Mivel a zsugorodásmérést 24 órában szokás elkezdni, ezért a zsugorodási görbéket úgy ábrázoltuk, hogy 24 órában 0 zsugorodásról induljanak.



15. ábra. Váci 350 kspc 40 cementtel végzett kísérletek: a) hajlító-húzószilárdság, repedésérzékenység; b) zsugorodás, tömegvesztesség; c) penetráció

**A kísérlet eredményei:**

a) Azt már *Lafuma* [6] is kimutatta, hogy ha ugyanazt a cementet finomra őrlik, akkor nő a repedésérzékenysége. E kísérletnek az a legfontosabb eredménye, hogy a **cement őrlési finomságának meghatározó szerepe van a repedésérzékenységre** (16. ábra). Mindebből



16. ábra. Cementpépek repedésérzékenysége a fajlagos felület függvényében

az is következik, hogy útbeton térburkolatokhoz, ipari beton-padozathoz nemcsak a húzószilárdság, de a repedésérzékenység miatt is előnyösek a kis vagy közepes őrlési finomságú cementek.

b) Megvizsgáltuk a kötést befolyásoló kalcium-klorid és citromsav hatását is. Új eredmény az is, hogy a vegyszer nélkülihez viszonyítva a cement tömegére vonatkoztatott 1 m% vízmentes kalcium-klorid – függetlenül a cement őrlési finomságától – a repedési időt kb. a felére, 2 m% kalcium-klorid kb. 38%-ra csökkentette, tehát a repedésérzékenységet ezzel fordított arányban növelte. Ezzel szemben 0,05% citromsav a cementpépgyűrűk repedési idejét csak kb. 5%-kal csökkentette.

c) Egyezően Szkrantajev, Lescsinszkij, Vajraband, Popov, Orentlicher, L'Hermitte, Kando, Coutinho [7], Ilantzis [8] és mások véleményével, a gyűrűs készülék alkalmas szabványúságú pépek repedésérzékenységének a vizsgálatára. Kísérleteink szerint, ha a keve-

rővíz a kötéstől  $\pm 3\%$ -kal eltért, az a repedésérzékenység mérőszámát nem befolyásolta lényegesen. Míg a többi szerző utal arra, hogy a mérési eredmények megbízhatóságát rontja a nagy szórás, addig kísérleteink szerint gondos próbatétel-készítéssel és a tárolási körülmények pontos betartásával a szórást kicsire le lehet szorítani.

d) A gyűrű megrepedési folyamata nagyon bonyolult, tekintettel a sok befolyásoló tényezőre. Ilyenek: a húzószilárdság, a húzási rugalmassági modulus, az átlagos zsugorodás, a párolgás, amely egyenlőtlen alakváltozást és belső feszültségeket vált ki, és a lassú alakváltozás. Az azonos körülmények között elvégzett gyűrűs repedésérzékenységi, szilárdsági és zsugorodásvizsgálatok megvilágítják a repedési jelenség bonyolult voltát. Vegyszer nélküli és citromsav adalékszerrel készített pépek megrepedése akkor következett be, amikor a hajlító-húzószilárdság visszaesett vagy stagnált, miközben a zsugorodás folyamatosan nőtt. Ezzel szemben kalcium-klorid adagolásakor rendszerint előbb megrepedt a gyűrű a szilárdságcsökkenésnél vagy a szilárdság nem is csökkent. Ennek oka az, hogy a kalcium-klorid-tartalmú pépek a kötés végétől erősen zsugorodtak, és zsugorodásuk mindvégig nagyobb volt a vegyszer nélküli pékekénél. Különösen érvényes ez a 2 m% CaCl<sub>2</sub>-tartalmú pépre. Tehát a korábbi megrepedés oka, hogy a húzószilárdság és vele a húzási rugalmassági modulus nem tud lépést tartani a nagy zsugorodással.

## Irodalom

- [1] Balázs Gy.: Barangolásaim a betonkutatás területén. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2001
- [2] Balázs Gy.: A beton húzószilárdságának vizsgálata. BME Építőanyagok Tanszék Tudományos Közlemények 7. kötet, Közok, 1973.
- [3] Balázs Gy.: A betonstruktúra elemzése. Akadémiai doktori értekezés, 1982.
- [4] Dombi J.: Építőanyagok szilárdsága és szilárdsági vizsgálata. Nyomószilárdság. SZIKKI Tudományos Közlemények 61. kötet, ÉTK, 1980.
- [5] Balázs Gy. – Borján J. – Cary, S.J. – Liptay A. – Zimonyi Gy.: A cement repedésérzékenysége. BME Építőanyagok Tanszék Tudományos Közlemények 24. kötet, Közok, 1979.
- [6] Laluma, H.: Les céments, généralités, caractéristiques, action du milieu. Les céments, Special Bulletin, 1970, pp 12-39.
- [7] Mailjan, R.L.: Metogyika iszpitanyija i ocenki uszadocsnoj trescsinosztoj kosztyi betonov. Beton i Zselezobeton, 1968, pp. 40-42.
- [8] Ilantzis, N.A.: La résistance en traction et la fissuration des pâtes pures de ciment. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 1958. II., pp. 1231-1254.

## KÖNYVISMERTETÉS

Balázs György:

Barangolásaim a betonkutatás területén  
Akadémiai Kiadó 2001

Szerző saját, 50 éven át folytatott kutatásainak eredményeit foglalta össze könyvében bizonyítva, hogy alkotó módon, tudományosan meg-alapozottan fejlesztette szakterületét. A könyv jól szemlélteti az oktatás, a kutatás és a gyakorlat összetartozását.

A beton igen bonyolult építőanyagunk, amelyek tudományos megismerése kémiai, fizikai, anyagszerkezeti és statikai ismereteket kíván.

Szerző vizsgálatait a gyakorlat számára használhatóbbak, mivel túl-lépett a korábbi, tisztán kémiai vizsgálatokon. Mindig megvizsgálta a beton anyagösszetételét, a hidratáció mechanizmusát és kinetikáját, nyomószilárdságát és – a korábban alig vizsgált – húzószilárdságát is.

Sokoldalúan vizsgálta a cementő betonban betöltött szerepét. A cementő porozitása minden tulajdonságát alapvetően befolyásolja. Így például a tárolásnak és a cement fajtájának a cementő tömegváltozására, alakváltozására gyakorolt hatása a porozításban jut kifejezésre.

Könyve bevezető részében szerző tömören összefoglalja a beton, a portlandcement fogalmát és a kötés-szilárdulás elméleti alapjait. Kutatási eredményeit pedig fejezetekbe csoportosítva tárgyalja, nevezetesen: a cement modellezése klinkerásványokkal, a cementpép és a cementő tulajdonságai, betonszilárdítás, a beton húzó- és nyomó-

szilárdsága és ezek viszonyozása, a beton zsugorodása és lassú alakváltozása, a terhelés okozta alakváltozás jellemzői, a beton és a vasbeton tartóssága.

Szerző az eredményeit, hivatkozásokkal, a témakör tudománytörténetébe illesztve tárgyalja, amelyről ugyancsak ő írt négykötetes könyvet *Beton és vasbeton* címen, és amelynek kötetét 1994 óta folyamatosan jelentette meg az Akadémiai Kiadó. Az első kötetben a beton és a vasbeton fejlődéstörténetét, a második kötetben (1995) a mélyépítési beton- és vasbeton szerkezetek, a harmadik kötetben (1996) a magasépítési vasbeton szerkezetek történetét tárgyalja, míg a negyedik kötet (2001) a témakör egyetemi, főiskolai és szakközépiskolai oktatásának történeti áttekintése.

Nagyon fontosnak tartom felhívni olvasóink figyelmét szerző másik, kétkötetes művére, a *Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I.* (1997) és II. (2001) címűekre. A Műegyetemi Kiadó szerkesztésében megjelent kötetek elsőként tárgyalják átfogóan a beton, az acélbetét károsodásának és repedésképződésének okait, fizikai és kémiai vizsgálatának hagyományos és új módszereit.

Szerző műveit a műszaki szemlélet értekei: a világos tárgyalásmód, a szemléletes bemutatás és áttekinthetőség jellemzi és az a törekvés, hogy segítse az európai szintű szemlélet kialakulását, amelyben hangsúlyos az egyes tudományágak közti interdiszciplináris kapcsolatok megteremtése illetve erősítése.

Pólos László