Utókezelési módszerek hatása a beton korai zsugorodásból származó repedéseire¹

SÁROSI MÁRTON ■ PORR Építési Kft. ■ marton.sarosi@porr.hu

Effects of curing methods on plastic shrinkage concrete cracks

In the construction industry cracks are among the most common damages on buildings. They have influence on the structural behavior as well as the serviceability of the structures.

The purpose of this study was to determine a crack and shrinkage sensitive concrete mixture, and to test conventional and advanced, time sparing curing methods on this. In the case of conventional curing method, water was sprayed on the surface of the concrete, while advanced curing method was carried out by adding super absorbing polymers to the mixture during mixing. The properties were tested between intense drying circumstances. According to the experimental results it is statable that both methods have their technical advantages, but the convenient curing method has to be always determined by considering the properties of the certain concrete structure.

Key words: curing, super absorbing polymers, shrinkage

Kulcsszavak: utókezelés, nagy vízfelvételű polimerek, zsugorodás

Sárosi Márton (1983)

2007-ben végzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar Szerkezetépítő szak Geotechnika és Magasépítési szakirányán. 2006-2007-ben 8 hónapos Erasmus ösztöndíjon vett részt a Stuttgarter Egyetemen. 2007. augusztusától a Strabag AG Alagútépítésénél dolgozott munkahelyi mérnökként. 2008. szeptemberétől építészvezető a Porr Építési Kft. Speciális Mélyépítésénél. Érdeklődési köre: beton utókezelése, lőttbeton

1. Bevezetés

A beton építményeken keletkező károk között a repedések vezető helyet foglalnak el. A repedések befolyásolják az építmény teherbírását és használhatóságát. A mélyépítési szerkezeteknél gyakran kell az erőtan követelmények mellett használhatósági követelményeknek is teljesülniük, ilyen például a szerkezet vízzárósága. Ezeket a használhatósági követelményeket egy, a kivitelezés, vagy az üzemeltetés során keletkező repedés negatívan befolyásolhatja [1].

Kutatásaimat, amelyek diplomamunkám alapját képezték, a stuttgarti egyetem (Universität Stuttgart) Építőanyagok Tanszékének (Institut für Werkstoffe im Bauwesen) és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékének vezetésével végeztem. Egyes tervbe vett kísérletekre a diplomamunka által szabott szűk időkeretek miatt nem kerülhetett sor. A jelenleg legelterjedtebb utókezelési módszerek a locsolás (vízpermet), párazárás, elárasztás és letakarás. Munkám során a locsolásos utókezelést és a napjainkban teret hódító *belső* utókezelési módszert hasonlítottam össze. A *belső* utókezelés lényege: nagy víztartalmú, a vizét később leadó polimer adagolása. A kísérleteket a stuttgarti egyetem anyagvizsgáló laboratóriumában végeztem.

2. Vizsgálatok

2.1 Célkitűzések és kísérletek

A kísérletek célja a *belső* utókezelés eredményességének megfigyelése volt. Az első lépés egy olyan betonkeverék készítése volt, amely erőteljes szárító körülmények hatására hajlamos korai zsugorodásból származó repedésre. Ezzel az ún. „referenciakeverékkel” (II. keverék, 1. táblázat) lehetett megkezdni az eltérő utókezelési módszerek hatásának megfigyelését. A kísérletet 30 °C-os és 50% relatív páratartalmú klímazobában végeztük. Ilyen körülmények között a betonfelület erőteljes szárító hatásnak van kitéve. A beton bedolgozása utáni első 8 órában lehetett a *korai* zsugorodásból (*plastic shrinkage*; *Früh-*

schwinden) származó repedésekre számítani és ezt próbáltuk két utókezelési módszerrel megakadályozni. Korai (képlékeny) zsugorodást, „töppedést” okoz a keverővíz elpárolgása a felület készre simításától kezdve a kötés megindulásáig: ezalatt – nevezik pihenési, pihentetési időnek (*Liegezeit*) is – a beton még könnyen alakítható (nem lépésálló) utóvibrálható. A diszperzió – cementpép, vagy bármely más finomszemcsés anyag szuszpenziója – először a szabad felület felé párologva veszti a vizét, majd a szemcsék süllyedése/tömörödése után a víz a felületi húzófeszültség révén a kapillárisokból fölfelé szívódik és elpárolog (ezért hívják kapilláris zsugorodásnak is). A felső réteg térfogatcsökkenését az alsók fékezik és ezért a felület szabálytalanul, térképszerűen megrepedezik. Ez a korai (friss, képlékeny, kapilláris) zsugorodás a 4 mm/m-t is elérheti és a repedések tágassága 0,5–2,0 mm, mélységük akár 10 cm is lehet [2].

A vizsgálataimhoz megalkottunk egy repedésfigyelő rendszert. Ez a megfigyelőrendszer egy szoftver (képrögzítő program) és egy hardver (webkamera, számítógép) egységből áll, amellyel egy 9 cm × 11 cm méretű területen lehetséges a repedések megfigyelése. A webkamera felbontása miatt a megfigyelt terület nem lehetett nagyobb, ezért a rendszert csak irányítottan keletkező repedések megfigyelésére lehetett alkalmazni.

A repedések megfigyelése önmagában nem volt elegendő, ezért számos kapcsolódó kísérlet is szükséges volt a repedések pontos miértjének megértéséhez.

A *kétféle* utókezelési módszer közül a hagyományos „locsolásosnál” a beton felületét adott időközönként a felületre egyenletesen permetezett vízzel nedvesítettük.

A másik módszernél *belső* utókezelést végeztünk a friss betonba kevert nagy vízfelvételű polimerekkel (SAP – Super Absorbent Polymers). Ezeket leginkább nagy szilárdságú betonoknál (HSC High-Strength Concrete) alkalmaztuk. Itt az autogén (*belső*) zsugorodás meggátlásában, ill. megszüntetésében volt nagy szerepe, *belső* víztartalékokat nyújtva a cement szemcséknek hidratációjuk során. A kísérletek során polyakril savakat használtunk, mivel a vízfelvételi arányszámuk (felvett vízmennyiség/saját tömeg) az összes ismert polymer közül ezeknek a legnagyobb, saját tömegüknél akár tízszer több vizet

¹ Az SZTE 2007. évi Diplomadíj pályázatán díjazott diplomamunka alapján

képesek felvenni. Ezek a polimerek az általuk abszorbeált vizet képesek a beton kötése során fokozatosan visszaadni, így a kötés során a felületi feszültség által a beton belső rétegeiből elvont vízmennyiséget folyamatosan pótolni tudják [3]. Így megszűnik a többi utókezelési módszernél szükséges külön emberi és anyagi ráfordítás.

A vizsgált betonkeverékek összetételüket tekintve hasonlóak voltak (1. táblázat). Ahhoz, hogy a betonkeverékek az adott körülmények között hajlamosak legyenek repedésekre, követelmény volt a nagy víz/cement tényező, melynek következtében a beton kivérzésre hajlamossá vált. A keverékek mindegyike sok finomrészt tartalmazott, mely a vízmegtartó képességet, így a repedésérzékenységet is megnövelte [4]. Ez minden elkészített keverékre jellemző volt. Az utókezelési módszerek ellenőrzésekor elegendő repedéshajlamú a II. keverék (1. táblázat) volt, így ez lett a "referencia keverék".

2.2 Repedéskép megfigyelése

A repedéskép megfigyelésére kétféle módszert alkalmaztunk. Az első kísérletnél egy nagyméretű (160×60×8cm), csak körbemenő vasalással ellátott lemezen vizsgáltuk a repedések keletkezését. A vasalásnak a betonlemez zsugorodása során létrejövő alakváltozás meggátolásában volt szerepe. A kísérletek 8 órán át tartottak és óránként jegyeztük fel a beton felületén változásokat.

A második kísérletnél az alkalmazott lemez méret sokkal kisebb volt. Itt egy 6 mm-es vaslemezekből összehegesztett 20×30×8 cm-es zsalut használtunk, amelyben különböző keresztmetszet gyengítéseket hajtottunk végre: ezzel a repedéseket irányítottuk. Ennél a kísérletnél lehetett alkalmazni a már említett webkamerás repedésfigyelő rendszert.

Mind a nagyobb, mind a kisebb lemezeket a klímazobában (30 °C és 50% relatív páratartalom) egy szélcsatorna alá helyeztük, amelyben egy ventilátor segítségével 5 m/s-os szélsébséget állítottunk elő. Ezek a körülmények tovább növelték a friss betont érő szárító hatást.

2.3 A vízvesztés mérése

A vízvesztés méréséhez külön erre a célra elkészített zsalura volt szükség (30×30×8 cm). A zsalut a friss betonnal megtöltve, egy digitális mérlegre helyezve mérhető volt az elpárolgott víz mennyisége.

2.4 A zsugorodás mérése

A zsugorodási próbatesthez szintén egy 30×30×8 cm-es zsalura volt szükség. A friss beton zsaluba helyezése után a zsalu szélére erősített analóg nyúlásmérő órával, és a betonba szúrt, referenciapontként szolgáló két vastüskével lehetett a beton zsugorodásából eredő alakváltozásokat mérni, már a beton egy óras korától kezdve.

Az adatokat mindkét mérés során (2.3, 2.4) 24 órán keresztül rögzítettük, az első nyolc órában óránként, utána a 24 órás megfigyelés végén.

2.5 Betonszilárdság mérése

Korai mérések: 4, 7, és 24 óra után elvégzett mérésekkel meghatároztuk a nyomószilárdságot és a hajlító-húzószilárdságot. A próbatestek mérete 160×40×40 mm volt.

Késői mérések: A nyomószilárdsági és hasító-húzószilárdsági méréseket 1, 3, 7, és 14 nap után mértük 10×10×10 cm-es próbatesteken.

Jelölés Felhasználás	Mérték- egység	I.	II. 160×60×8 cm lemez	III.	IV.	V.	VI. 30×20×8 cm lemez	VII.	VIII.
Nyomószilárdság*	N/mm ²	13,25	15,5	15,1	15,5	-	-	-	-
Cement (360 kg/m ³)	-	CEM I 32,5 R	CEM II/A-LL 32,5 R						
Víztartalom	kg/m ³	270					198		
Víz/cement tényező	-	0,75					0,55		
Adalékszerék									
Képlékenyítő	%	-		0,12	-	-	0,12	0,58	-
Polimer	%	-		0,2	-	0,2**	0,2	-	-
Kiegészítő anyag									
Kvarcliszt	kg/m ³	-	135						
Adalékanyag									
Szemeloszlási görbe***		A8	C8						
Összes finomrésztartalom (d ≤ 0,125 mm)	kg/m ³	476	680						
Frissbetontulajdonságok									
Terület	cm	56	49	51	49	49	52	52	34
Légpórustartalom	%	2,5		2,2	2,5		2,2		-
Frissbetontestsűrűség	kg/dm ³	2,119	2,223	2,304	2,220	2,228	2,229	2,308	-
Utókezelés		-	-	pol.	víz	pol.	pol./víz	-	-

* 14 nap után 10×10×10 cm oldalhosszúságú próbakockán mérve

** zsaluba helyezés után betonfelületen elhintve

*** MSZ 4798-1:2004

1. táblázat A különböző keverékek jellemzői
Table 1. Properties of the used mixtures

2.6 A hőfejlődés mérése

A repedésterjedési kísérletekhez kapcsolódóan mérhető volt a különböző betonkeverékek hőfejlődése. Ehhez a betonlemezbe hőszenzorokat telepítettünk. A hőmérsékletet 3 ponton mértük: a betonlemez középső keresztmetszetében, a betonlemez felületén, valamint a külső környezet hőmérsékletét.

3. Eredmények

3.1 Repedéskép megfigyelése

3.1.1 Repedéskép megfigyelése a 160×60×8 cm-es betonlemezekon

Az eredmények a 2. és 3. táblázatban találhatók.

Keverék jele	Betonfelület	Vízvesztesség	Repedésterület** nagylemez / kislemez (mm ²)	Repedés- tágasság (mm)
I.	nem szép	nagyon erős	-	-
II.	nem szép	erős	355 / 120*	0,25 / 0,60*
III.	nem szép	nem jelentős	360 / 240*	0,12 / 1,2*
IV.	szép	erős	450,8 / 50*	0,23 / 0,25*
V.	nem szép	nincs	140*	0,7*
VI.	szép	nincs	180*	0,9*
VII.	nem szép	nincs	25*	0,3*
VIII.	nem szép	nincs	-	-

* kis lemezeknél

** repedések hossza x repedéstágasság

2. táblázat A repedéskép megfigyelés eredményei
Table 2. Results of the crack monitoring

Keverék	Nagy lemez 160×60 cm	Kis lemez 30×20 cm
II.		
III.		
IV.		

3. táblázat A lemezek repedései
Table 3. Crack pattern of the slabs

I. keverék: A keverék nem repedt meg, a zsaluba helyezés után hirtelen feladta a vizet a felületére, amely a nagy víztartalom és a többi keverékhez képest kicsi vízmegtartó képessége eredménye. Felülete nem esztétikus, a kivérzés miatt létrejött cementpép réteg könnyen eltávolítható, leveles állapotú volt. Utókezelés nem volt.

II. keverék: Összetétele az I. keverékétől csak a hozzáadott kvarciszot által megnövekedett finomrésztartalomban különbözött. Ezáltal a vízmegtartó képessége jelentősen megnövekedett, a kivérzés ugyan nem szűnt meg, de csökkent. A betonfelület, a felületre feladott víz miatt nem volt esztétikus. A repedésképen 10–20 cm hosszú, 0,25 mm átlagos szélességű repedések jelentek meg a lemez ventilátor felőli és középső harmadában, egyenletes eloszlással. Utókezelés nem volt.

III. keverék: A keverék összeállítása hasonló volt a II. keverékéhez, de ez tartalmazott a cement tömegére vonatkoztatott 0,2% SAP polimer adalékot. Ennél a keveréknél nem, vagy csak alig jelent meg a beton felületén a többletvíz, így a megszilárdult felület egyenletes és jó minőségű volt. A polimer adagolással mégsem sikerült a repedéseket meggátolni. A repedések átlagos szélessége csökkent ugyan, de a repedésszám, és így a repedések átlagos felülete növekedett.

IV. keverék: A betont hagyományosan utókezeltük, a kötési folyamat során egyenletes mennyiségű és időközű vízfelhordással. A keverék összetétele teljesen megegyezett a referencia keverékkel. Az utókezelés a zsaluba helyezés utáni első 3 órában történt, óránként 75 g/m² vízmennyiség (összesen 225 g/m²) betonfelületre való permetezésével. Az utókezelésnek köszönhetően a betonfelület szép egyenletes lett, de a repedésfejlődést ez

a módszer sem tudta meggátolni. A repedésszélesség jelentéktelen mértékben csökkent, de a repedések száma és hossza, így a repedésfelület is, növekedett.

3.1.2 Repedéskép megfigyelése a 30×20×8 cm-es kisméretű betonlemezekon

Az I. „nem repedő” keverék kivételével az összes keveréknek megvizsgáltuk a repedéshajlamát irányított repedések esetén is. Az itt kapott eredmények jelentősen különböztek a nagyméretű lemezeknél tapasztaltaktól. A csökkentett keresztmetszet 2 cm vastag volt, ami erőteljesebbé tette a beton kiszáradását és zsugorodását abban a keresztmetszetben. A repedésszélesség többszörösére növekedett minden keverék esetén (2. táblázat).

3.2 Vízesztés mérése

Az eredmények azt mutatták, hogy az egyenlő víztartalmú keverékek közül annak nagyobb a vízesztése, amelynek a legkisebb a finomrész tartalma, illetve a vízmegtartó képessége. A kezdeti vízesztés összefügg a beton felületére feladott vízzel, amely onnan a párolgás hatására gyorsan távozik. Látható volt, hogy az SAP polimerek a beton kivérzését megszüntetve csökkentették az első órai vízesztését (1. ábra).

1. ábra A keverékek vízesztése
Fig. 1. Water loss of the concrete mixtures

2. ábra A keverékek képlékeny zsugorodása
Fig. 2. Plastic shrinkage of the concrete mixtures

3.3 A zsugorodás mérése

A repedések méretei általában jól tükrözték a keverékek zsugorodásának mértékét. A zsugorodást az első 8 órában óránként mértük (2. ábra). Látható, hogy a II. „referencia” keverékhez képest a kétféleképpen utókezelt III. és IV. keverék zsugorodási értékei jóval kedvezőbbek voltak.

3.4 Betonszilárdság zöld/fiatall betonon

Korai mérések

A korai zsugorodás által okozott repedéseknél, amelyek a betonozást követő első 16 órában keletkeznek, nagy jelentősége van a beton korai szilárdságának [5]. Ez egészen fiatal korban nehezen mérhető, de néhány óra elteltével már meghatározható. Jelen keverékek esetében az összetételt úgy választottuk meg, hogy a beton repedésekre hajlamos legyen. A kezdeti szilárdsági értékek annyira alacsonyak voltak, hogy a repedések az első szilárdságmérési kísérletek előtt kialakultak. Ezért a korai zsugorodásból származó repedések megelőzése szempontjából alkalmasabb lehet egy helyesen megválasztott repedésre nem érzékeny betonösszetétel.

Késői mérések

A hosszú távú szilárdsági kísérleteknek a repedések szempontjából nem, de a keverékek pontosabb besorolása és ismerete szempontjából nagy jelentőségük volt. Az 1. táblázatban látható, hogy milyen hatása van a nagy víz/cement tényezőnek, vagy éppen az SAP polimereknek a beton szilárdulására.

3.5 A hőfejlődés mérése

A hőfejlődés mérésekor az utókezelés hatását vizsgáltuk a betonban keletkező hidratációhoz elvezetése szempontjából. A polimerek hatása volt a legjelentősebb a hőkiegyenlítés szempontjából. A III. keveréknél alig jelentkezett különbség a keresztmetszet közepén és a lemez felületén mért hőmérséklet között. A külső utókezelés, a felpermetezett víz szintén alkalmas volt a beton hűtésére (IV. keverék), de ennek nem volt jelentős hatása a keresztmetszet középső részeire.

4. Eredmények összefoglalása

A mai trendeknek megfelelően a beton utókezelésére fordított munkaidőnek és élőmunka-szükségletnek a csökkentése fontos feladat. Egy olyan utókezelési módszer, amely a gyártás helyén, ellenőrzött körülmények között végezhető és az építési helyszínen nem, vagy csak alig igényel többlet ráfordítást, jelentősen előnyös a hagyományos, munkaterületen történő és a munkavégzés minőségétől erősen függő utókezeléssel szemben. A hagyományos és a korszerű utókezelési módszerek közti költségoldali különbségek azonban csak akkor kiaknázhatók, ha a két módszer műszaki tartalma közel egyenértékű. A tapasztalatok azt mutatják, hogy vékony, nagyfelületű szerkezeteknél nagy jelentősége lehet a jól megválasztott utókezelésnek a korai zsugorodás okozta repedések szempontjából. Az utókezelésnek jelentős hatása van a repedések keletkezési időpontjára és terjedésére. A repedések megfigyelésénél megállapítható, hogy nagy mértékű szárító hatás esetén az alkalmazott utókezelések a repedésfelületet nem, csak a repedéstágasságot, illetve a felület minőségét tudták javítani. Az SAP polimeres utókezelésnél a repedésfelület kissé növekedett az utókezelés nélküli betonéhoz képest, több vékony repedés keletkezett és az összrepedéshossz megnőtt, de az egyes repedések tágassága a felére csökkent. A hagyományos utókezelésnél a repedéstágasság kis mértékben csökkent. Ennél a módszernél a felületre való vízfelhordás jobb időbeni elosztásával – az első várható repedések keletkezése előtt nagyobb mennyiségű vízfelhordás – az eredmények javíthatók. A betonfelület minőségét tekintve megállapítható, hogy az SAP polimerekkel a betonban levő többletvíz megtartva megszüntethető a beton kivérzése és ezáltal a felület esztétikája is javul. A kísérleteket összehasonlítva elmondható, hogy a nagyobb betonlemezekben eltérő hatása volt ugyanazon utókezelési módszernek, mint a kisebb betonlemezekben. A polimerekkel történő utókezelés a kisméretű lemezeknél a nagyon vékony szerkezeti vastagság esetén nem volt olyan

hatásos, mint nagy lemezek esetén, míg a felületi utókezelés az előbbi estén mutatott jobb eredményeket. A hagyományos, nedves utókezelési módszer a kellő időben, szakszerűen végrehajtva megfelelő védelmet nyújthat. Az újfajta modern utókezelésnek, SAP polimerpor felhasználásával azonosan kedvező hatásai vannak, mint a hagyományos utókezelési módszernek, alkalmazását egyéb szempontok (gazdaságosság, munkaerő ráfordítás, kivitelezhetőség) indokolják.

5. Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond konzulenseinek Dr. Balázs L. György (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék) és Dr. Hans-Wolf

Reinhardt (Universität Stuttgart Institut für Werkstoffe im Bauwesen) egyetemi tanároknak, illetve Sven Mönnig úrnak (Universität Stuttgart Institut für Werkstoffe im Bauwesen) a munkája során nyújtott segítségükért.

Felhasznált irodalom

- [1] Thienel, K.-Ch.: *Skript für Vorlesungen Bauschäden*. Universität München, 2006
- [2] Erdélyi A.: *A zsugorodás fajtái. Kérdésfeltevés*. Cement – Beton Zsebkönyv, 2007
- [3] Mönnig S.: *Water saturated super absorbent polymers used in high strength concrete*. Otto Graf Journal Vol. 16, 2005
- [4] Wischers, G.; Manns, W.: *Ursachen für das Entstehen von Rissen in jungem Beton*. Betontechnologische Berichte 1973, Heft 4, pp.: 67-94
- [5] Manns, W.: *Rissvermeidung bei der Betonherstellung – Ursachen und Erkenntnisse zur Rissbildung von grünem und jungem Beton*. Betontechnologische Berichte 1993, Heft 10, pp.:502-510