

# UTICAJ MIKROARMATURE NA HIDRAULIČKO SKUPLJANJE BETONA

Arpad Čeh<sup>1</sup>

Milan Kekanović<sup>2</sup>

Danijel Kukaras<sup>3</sup>

Karolj Kasaš<sup>4</sup>

Golub Karaman<sup>5</sup>

UDK: 666.982.2

DOI: 10.14415/zbornikGFS22.009

**Režime:** Skupljanje je zapreminska promena svežeg i očvrslog, neopterećenog betona u funkciji vremena. Jedan od efikasnih načina kontrole pojave prslina u betonu je mikroarmiranjem pomoću vlakana različitih vrsta. Određena vlakna značajno smanjuju plastično skupljanje svežeg betona i široko se primenjuju u građevinskoj praksi u tu svrhu, dok druge vrste mikroarmature se primenjuju prvenstveno iz drugih razloga (npr. povećanje duktilnosti betona). Veoma je interesantan međutim i njihov uticaj na hidraulično skupljanje betona. U radu su prikazani rezultati ispitivanja hidrauličkog skupljanja mikroarmiranih betona. Korišćena su sintetička i čelična vlakna različite vrste, koja se najčešće primenjuju i u praksi, kao i njihova kombinacija. Hidrauličko skupljanje je praćeno na uzorcima 120 dana pri kontrolisanim uslovima.

**Ključne reči:** Mikroarmirani betoni, hidrauličko skupljanje.

## 1. UVOD

Skupljanje betona se može objasniti kao zapreminska promena bez uticaja vanjskih sila, koja je posledica hemijskih procesa ili promene vlažnosti, temperature i brzine kretanja vazduha. Njegov intenzitet je u direktnoj vezi sa intenzitetom procesa koji ga uzrokuju. U opštem slučaju u betonu ukupno skupljanje se sastoji od autogenog, plastičnog, hidrauličkog i od skupljanja izazvanog karbonatizacijom. [1], [2]

Autogeno skupljanje (ili hidrataciono skupljanje) je rezultat kontrakcije produkata hidratacije. Reč je o zapreminskoj promeni koja se dešava bez prenosa vlage iz svežeg betona (tj. i u uslovima kada je sušenje betona potpuno sprečeno). U nekim slučajevima predstavlja značajan deo ukupnog skupljanja i može izazvati pojavu mikroprrslina unutar

---

<sup>1</sup> Asistent Arpad Čeh, dipl. inž. građ., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 024/554-300, e-mail: ceh@gf.uns.ac.rs

<sup>2</sup> Doc. dr Milan Kekanović, dipl. inž. građ., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 024/554-300, e-mail: kekec@gf.uns.ac.rs

<sup>3</sup> Doc. dr Danijel Kukaras, dipl. inž. građ., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 024/554-300, e-mail: danijel.kukaras@gmail.com

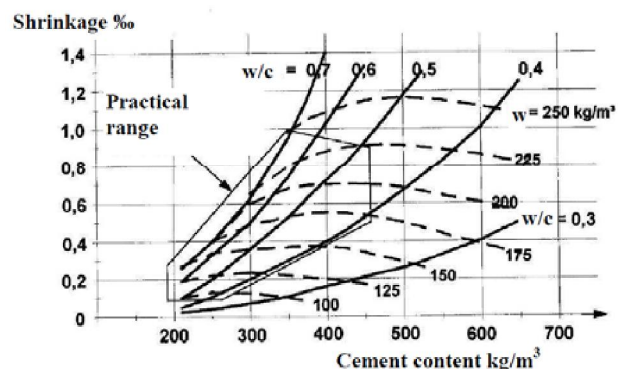
<sup>4</sup> Prof. dr Karolj Kasaš, dipl. inž. tehn., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 024/554-300, e-mail: kksasas@gf.uns.ac.rs

<sup>5</sup> Viši laborant Golub Karaman, inž. građ., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 024/554-300, e-mail: golub@gf.uns.ac.rs

betona čak i kada je zaštićen od gubitka vlage. Ukupno autogeno skupljanje je uglavnom magnitude do 0,25 mm/m. [3]

Plastično skupljanje (ili kapilarno skupljanje) nastaje usled isparavanja vode u procesu vezivanja cementa. U poređenju sa ostale tri vrste može se reći da je po veličini plastično skupljanje najveće, međutim pošto se dešava u još svežem betonu, uglavnom se ne registruje i smatra se manje štetnim. Ipak nekontrolisani veliki gubitak vode iz svežeg betona je najčešći razlog pojave površinskih prslina. Skupljanje (unutar cementnog kamena) izaziva napone zatezanja u betonu. Kada ti naponi dostignu veličinu njegove čvrstoće pri zatezanju dolazi do pojave prslina. Pošto je skupljanje uglavnom uzrokovano gubitkom vlažnosti, prsline se pojavljuju prvo na površini betona. Dok je reč samo o površinskim mikroprrslinama, one nisu štetne, međutim imaju tendenciju produbljivanja i ako dostignu veće dubine postaju veoma štetne. U ekstremnim slučajevima mogu se pojaviti pukotine i širine 1 mm, kojima je trajnost armiranobetonске konstrukcije značajno smanjena. Jedna od najvažnijih preventivnih mera je kontrolisanje gubitka vlage iz svežeg betona, tj. sprečiti isparavanja veća od  $1\text{ kg/m}^2/\text{h}$ . Smanjenje zapremine usled ove vrste skupljanja je uglavnom veličine 1% od apsolutne zapremine suvog cementa u mešavini betona. [4], [5]

Hidrauličko skupljanje očvrslog betona je izazvano isparavanjem vode, kada postoji razlika u pritiscima između vlažnosti vazduha okoline i vode u porama betona. Radi se o vrsti skupljanja, koja je u praksi najznačajnija među pomenutim tipovima. Nekontrolisano hidrauličko skupljanje može imati neželjene posledice u vidu pojave prslina, pukotina, pa i mogućeg vitoperenja elemenata od betona. Faktori koji u mešavini dokazano utiču na hidrauličko skupljanje (i na skupljanje uopšte) su mnogobrojni: količina cementa, specifična površina cementa, količina finih čestica (manje od 0,125 mm), specifična površina sitne frakcije, vodocementi faktor, ukupna količina agregata, vrsta agregata, upijanja agregata, hemijski dodaci, poroznost, mikroarmatura, itd. Ipak, mogu se odvojiti faktori koji kod običnih betona u svakodnevnoj praksi najviše utiču na ovu pojavu i na osnovu kojih orijentacione vrednosti konačne veličine hidrauličkog skupljanja mogu predvideti - slika 1. [6], [7]



Slika 1. Uticaj količine cementa (cement content), vodocementnog faktora ( $w/c$ ) i količine vode ( $w$ ) u mešavini na konačnu vrednost hidrauličkog skupljanja betona [8]

Skupljanje usled karbonatizacije nastaje u očvrsлом betonu usled reakcije nekih jedinjenja nastalih hidratacijom cementne paste, pre svega portlandita ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), sa ugljendioksidom. Najintenzivniji je ovaj proces pri relativnoj vlažnosti sredine oko 50%

i manje je izražen u vlažnim sredinama, kada su površinske pore u betonu delimično ispunjene vodom. Ova vrsta skupljanja je najizraženija u slučajevima kada se dešava posle hidrauličkog skupljanja, pošto dalje produbljuje već nastale površinske prsline i na taj način može uzrokovati ozbiljnu ispucalost betona.

Po veličini, skupljanje usled karbonatizacije betona može biti veličine čak i kao hidrauličko skupljanje i zahteva posebnu pažnju u sredinama sa povećanom koncentracijom CO<sub>2</sub> (npr. podzemne garaže, rashladni dimnjaci termoelektrana, itd...). [9], [2]

Među navedenim vrstama skupljanja betona, plastično skupljanje je po veličini najveće, međutim pošto se dešava u još svežem betonu i ako se dešava pri uslovima koji ne izazivaju pojavu prsline, ona nisu štetna. Smatra se da ukoliko je gubitak vode sa površine betona u fazi vezivanja manji od 0,5 litara/m<sup>2</sup>/h, neće imati štetne posledice. Ukoliko je isparavanje veće od 1 l/m<sup>2</sup>/h, plastično skupljanje će neminovno rezultirati pojavom prsline i pukotina. U tim situacijama, kako bi se to izbeglo, trebati preduzeti dodatne mere predostrožnosti.

U nekim slučajevima, pogotovo kod tankih betonskih elemenata kojima je velika površina izložena isparavanju (podovi, ploče, cevi, prefabrikovani elementi, itd...), je veoma teško izbeći pojavu prsline u svežem betonu. Jedan od efikasnih načina povećanja zatezne čvrstoće svežeg betona je korišćenjem mikroarmature, pogotovo veoma tankih sintetičkih vlakana (naprimer polipropilenskih). Mikroarmatura smanjuje sklonost ka razvoju prsline u svežem betonu i smanjuje plastično skupljanje. Važno je podvući da upotreba vlakana ne utiče na pojavu mikroprrsline, već povoljno utiče na njihovu stabilizaciju, odlaže vreme, tj. sprečava propagaciju prsline i smanjuje njihovu širinu.

Veoma je važno vreme, kada se skupljanje dešava. Ukoliko se skupljanje dešava u ranijem periodu veća je verovatnoća da će biti praćena pojavom prsline, međutim ako se skupljanje dešava postepeno i u dužem period, njegov intenzitet se delimično može i smanjiti usled tečenja već opterećenog betona. Iz tog razloga se uvek teži ka tome, da skupljanje usled gubitka vode odloži što je moguće duže i da se izbegne naglo povećanje intenziteta isparavanja. Upotreba građevinskih materijala, sa dodatkom različitih tipova vlakana, može se reći da je jednaka istorijatu čovečanstva.

U današnje vreme za mikroarmiranje betona i maltera uglavnom se koriste čelična i sintetička vlakna. Upotrebom vlakana povećava se duktilnost betona, smanjuje količina potrebne armature, povećava se otpornost na mraz, - na abraziju, - na uticaje visokih temperatura, - na udare, povećava se moć apsorpcije energije usled mehaničkih uticaja i do 40 puta, povećava se kohezija u svežoj mešavini, a time i lepljivost za podlogu. Takođe, kao što je već spomenuto dodavanje vlakana u betonu je efikasan način kontrole prsline.

Mnoga istraživanja su dokazala, da kratka i tanka vlakna (sintetička, grafitna, fiberglas, itd...) su veoma efikasna preventivna mera za pojavu prsline u svežem betonu i mogu smanjiti plastično skupljanje i do 35%, dok duža i deblja (uglavnom čelična) vlakna imaju manji doprinos.

Ukoliko se na adekvatan način obezbede povoljni uslovi nege svežeg betona, dodavanjem mikroarmature može se, dakle značajno smanjiti plastično skupljanje betona. U praksi mnogo veći značaj ima hidrauličko skupljanje i često je važno poznavati ne samo ukupnu veličinu skupljanja (konačnu vrednost) već i koliko je skupljanje nakon određenog vremena (npr. prednapregnuti nosači, kada se novi beton ugrađuje u kontaktu sa očvrslim itd...).

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Za potrebe eksperimenta napravljeni su uzorci sa 6 različite mešavina betona čije recepture su date u Tabeli 1.

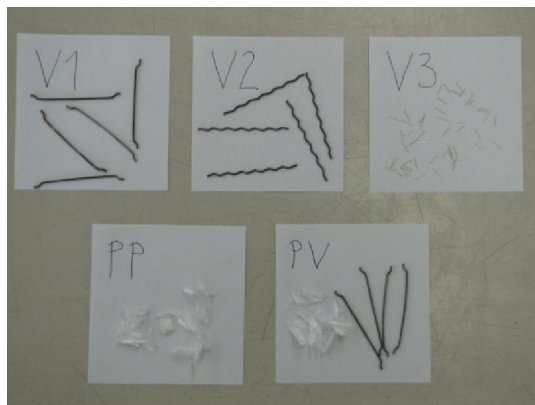
*Tabela 1. Sastav betonskih mešavina*

Recepture [kg/m <sup>3</sup> ]	Cement	Agregat 0/4 mm	Agregat 4/8 mm	Voda	Aditiv Sika VSC 3800	Čelična vlakna	PP vlakna
E	421,0	942,6	628,4	240,0	-	-	-
V1	421,0	920,0	613,0	240,0	1,57	39,0	-
V2	421,0	920,0	613,0	240,0	1,57	39,0	-
V3	421,0	920,0	613,0	240,0	0,81	39,0	-
PP	421,0	942,0	628,0	240,0	-	-	1,2
PV	421,0	932,0	621,0	240,0	-	19,5	0,6

Uzorci sa oznakom E su etalonski uzorci, bez dodatka mikroarmature i na osnovu njih se mogu pratiti uticaji različitih vlakana na hidrauličko skupljanje betona. Uzorci sa oznakama V1, V2 i V3 su mešavine betona, gde su bila dodata različita čelična vlakna (proizvođač „Spajic“) u količini 0,5% u odnosu na ukupnu zapreminu svežeg, ugrađenog betona. Kod mešavine V1 korišćena su čelična vlakna sa kukicom sa faktorom oblika  $l/d=50/1$  – vrsta koja se najčešće primenjuje u praksi. Mešavina V2 je napravljena sa valovitim čeličnim vlaknima sa faktorom oblika  $l/d=50/1$  – vrsta koja zahvaljujući značajnoj moći sidrenja, pored toga što povećava žilavost očvrslog betona, uspešno smanjuje i plastično skupljanje svežeg betona. U mešavinu V3 su dozirana kratka ravna čelična vlakna sa ravnom površinom, gde je  $l/d=0,6/0,02$ .

Betoni sa oznakom PP su pravljene dodavanjem polipropilenskih vlakana, tipa Sika Fibers dužine 6 mm, sa 240 miliona vlakana/kg.

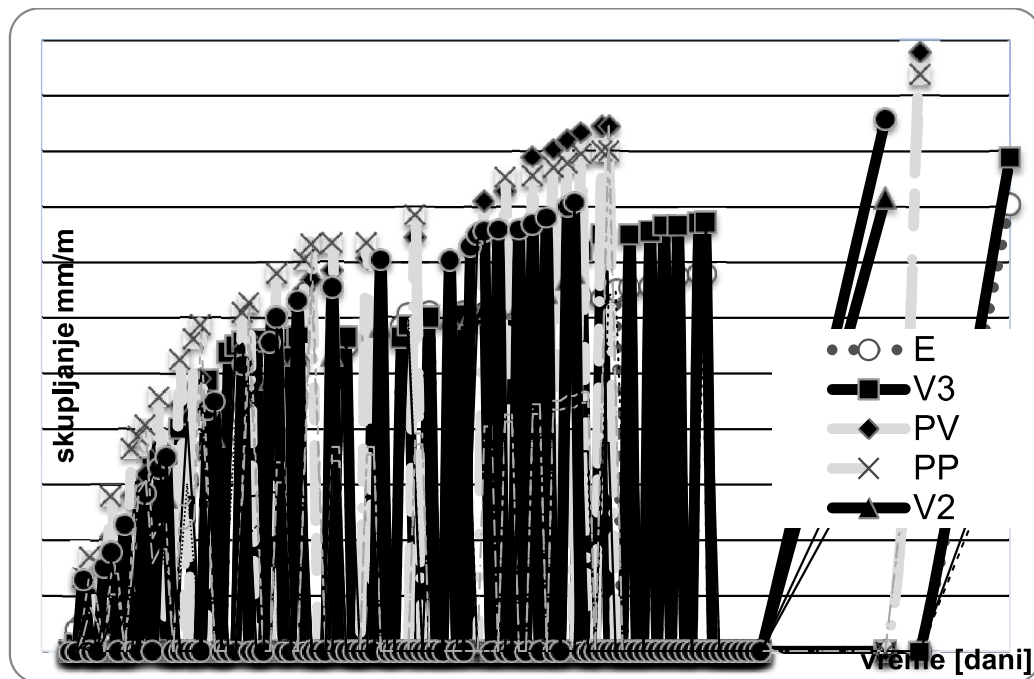
Kombinacija polipropilenskih vlakana Sika Fibers i čeličnih vlakana (koji su upotrebljeni i pri mešavini V1) je korišćena kod betona sa oznakom PV. Sva upotrebljena vlakna su prikazana na slici 2.



*Slika 2. Upotrebljena čelična i polipropilenska vlakna*

Za spravljanje betona korišćen je cement CEM II/B-M(S-V-L)32.5R i frakcije 0/4 i 4/8 rečnog agregata. Na svežem betonu etalonske mešavine (E) je izmerena je mera konzistencije S3 (110 mm). Poznato je da čelična vlakna, pogotovo duža, smanjuju ugradljivost betona i na taj način povećavaju poroznost svežeg betona. Kako bi poboljšala ugradljivost mikroarmiranih betona, tj. bila ekvivalentna konzistenciji etalonske mešavine, korišćen je hemijski dodatak tipa superplastifikator Sika Viscocrete 3800. Na taj način tokom eksperimenta u svim mešavinama je postignuta ekvivalentna konzistencija, pri istim količinama cementa i vode. Pošto su frakcije agregata redukovane za količinu agregata, razlika u zapreminskoj masi svežeg, ugrađenog betona se minimalno razlikovala (manje od 1%) kod svih opitnih mešavina.

Ispitivanje skupljanja betona je sprovedeno prema SRPS U.M1.029 na prizmatičnim epruvetama dimenzija 40x10x10 cm<sup>3</sup> urađenim od navedenih šest mešavina. Nakon ugradnje su ostali u kalupima 24 sata, pokriveni plastičnom folijom kako bi se obezbedila vodom zasićena sredina  $RH \geq 95\%$ . Nakon vađenja iz kalupa, naredna dva dana su negovani u vodi. Posle vađenja iz vode, pri ukupnoj starosti od 72 sata su postavljeni na njih komparatori, koji su ostali tokom čitavom merenja skupljanja u naredna 4 meseca, pri relativnoj vlažnosti od  $RH = 40\%$ . Temperatura tokom nege i tokom merenja je bila  $20 \pm 4^\circ\text{C}$ , shodno standardu. Rezultati ispitivanja skupljanja betona su prikazani na slici 3.



Slika 3. Dijagrami skupljanje betona

### 3. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Kao što je na slici 3. prikazano najmanje skupljanje je izmereno na etalonu (E), a svi ostali mikroarmirani betoni imali su veće skupljanje.

Najveće hidrauličko skupljanje je zabeleženo kod uzoraka sa polipropilenskim vlaknima (PP) i sa kombinacijom polipropilenskih i čeličnih vlakana (PV). Kod uzoraka PV hidrauličko skupljanje izmereno nakon 90 dana je skoro 50% veće od etalona, a kod uzoraka sa oznakom PP je veće za približno 40 %.

Kod čeličnih vlakana, koji imaju manji efekat na smanjenje plastičnog skupljanja, takođe se može primetiti tendencija povećanja hidrauličkog skupljanja. Najveće povećanje (oko 20%) hidrauličkog skupljanja je izmereno kod vlakana sa kukicama, a najmanje (4%) kod valovitih vlakana.

Za tumačenje ovih rezultata je važan podatak da je merenje dilatacije uzoraka je počelo na uzorcima pri starosti od 72 sata, što praktično znači da plastično skupljanje je već završeno, kao i značajan deo autogenog skupljanja usled hemijskih procesa u cementnom kamenu. Merene dilatacije su nastale isparavanjem vode i hemijskim vezivanjem vode u betonu. Kao što je već spomenuto, vlakna u betonu smanjuju plastično skupljanje svežeg betona. Pogotovo sintetička vlakna su veoma efikasna u tome i to u najranijem periodu, dok je još njihov modul elastičnosti manji od modula elastičnosti betona. Na taj način je smanjena pojava prslina i skupljanje se prolongira u kasniji period, kada je već čvrstoća betona veća. Veće hidrauličko skupljanje kod mikroarmiranih betona od etalona, tokom našeg eksperimenta, se može objasniti upravo zaostalim, tj. prolongiranim skupljanjem iz rane faze očvršćavanja. Za tačnije objašnjenje svakako su potrebna dalja istraživanja sa različitim količinama vlakana i variranjem vodocementnog faktora u betonu.

Ova pojava većeg skupljanja kod mikroarmiranih betona u odnosu na etalon se naravno ne može generalizovati i moguće je da se povećanjem količine vlakana menja čak i tendencija skupljanja.

### ZAHVALNOST

Zahvaljujemo kompanijama Spajić d.o.o. iz Negotina i Sika d.o.o. iz Beograda, koji su obezbedili materijal potreban za ispitivanje kao i na saradnji pri ispitivanju ovih materijala.

Ovaj rad je urađen u okviru Naučno-istraživačkog projekta III-42012, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

### LITERATURA

- [1] Rüşch, H.: Creep and shrinkage, Springer - Verlag, New York, **1983**.
- [2] Mindess, S., Young, J.F., Darwin D.: Concrete 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall, Pearsons Education Inc., Upper Saddle River, NJ 07458, **2003**.
- [3] Leivo, M., Holt, E.: Autogenous Volume Changes at Early Ages, Self-desiccation and its importance in concrete technology, Proceedings of an International Research Seminar in Lund, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, **1997**.



- [4] Muravljov, M.: Osnovi teorije i tehnologije betona, Građevinska knjiga, Beograd, **2010.**
- [5] Popovics S.: Concrete-making materials, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, **1979.**
- [6] Skenderović B., Kekanović M.: Građevinski materijali-hemija-struktura-tehnologija-korozija, Agm knjiga, Beograd, **2011.**
- [7] Neville, A.: Properties of Concrete, 4<sup>th</sup> edition, Prentice Hall, Pearsons Education Inc., Edinburgh Gate, Harlow, Essex, England, **2000.**
- [8] Grube, H. : Definition der verschiedenen Schwindarten, Beton- und Stahlbetonbau, Ernst & Sohn, 12/ 2003, **2003.**
- [9] Skenderović B., Čeh, A.: Possible improvements of hydraulic activities of fly ash produced in Serbia, Building Materials and Structures, 4/2012, Beograd, **2012.**

## **DRYING SHRINKAGE OF FIBER REINFORCED CONCRETE**

**Summary:** *Shrinkage is a time-dependent volume change of either fresh or hardened, unloaded concrete. One of the effective ways of crack-control in concrete is through the use of different types of fibers. Certain fibers significantly reduce plastic shrinkage in fresh concrete and are widely used in construction practice for this purpose, while other types of fiber reinforcement are used primarily for other reasons (eg, increasing the ductility of concrete). Both affect the drying shrinkage of concrete. This article presents the results of testing the drying shrinkage on fiber reinforced concretes. The experiments included the use of synthetic and steel fibers of different types, which are most commonly utilized as well as their combination. The drying shrinkage of concrete samples were measured for 120 days under controlled thermo-hygroscopic conditions.*

**Keywords:** *Fiber reinforced concrete, drying shrinkage.*