

ИСПИТИВАЊЕ ДЕФОРМАЦИОНИХ СВОЈСТАВА МИКРОАРМИРАНИХ ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИТА

Драгица Јевтић¹
Димитрије Закић²
Александар Савић³
Александар Радевић⁴

УДК: 620.178.2:691.328

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.075

Резиме: Позната је чињеница да се влакна најчешће додају цементним композитима (бетонима и малтерима) у циљу побољшања одређених физичко-механичких својстава, као што су: чврстоћа при затезању и савијању, отпорност на удар, скупљање, отпорност на дејство мраза, трајност, итд. С друге стране, побољшање деформационих својстава (на пример дуктилности или модула еластичности) предметних композита може бити једнако или чак и више значајно. Оцена остварене дуктилности (или жилавости) микроармираних цементних композита обично се заснива на одређивању површине захваћене σ - ϵ дијаграмима регистрованим током различитих статичких или динамичких испитивања. У овом раду приказани су резултати експерименталних испитивања деформационих својстава композита микроармираних различитим типовима и количинама влакана – током излагања напонима притиска.

Кључне речи: Микроармирани композити, деформациона својства, жилавост..

1. УВОД

Један од основних разлога за примену микроарматуре код бетона и малтера је настојање да се побољша капацитет апсорбовања енергије цементне матрице, тј. да се повећа њена дуктилност (жилавост). Величина енергије, апсорбоване током испитивања материјала до лома, обично се квантификује преко површине испод σ - ϵ дијаграма (напон-дилатација), или одговарајуће површине захваћене дијаграмом P - Δl (сила-угиб). Ово испитивање обично се врши путем статичког савијања (са једном силом у средини распона или две силе у трећинама распона),

¹ Драгица Јевтић, дипл.инж.тех., Универзитет у Београду, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Бул. краља Александра 73, тел:011 3370 097, e-mail: dragica@imk.grf.bg.ac.rs

² Димитрије Закић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Бул. краља Александра 73, тел:011 3370 097, e-mail: dimmy@imk.grf.bg.ac.rs

³ Александар Савић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Бул. краља Александра 73, тел:011 3370 097, e-mail: sasha@imk.grf.bg.ac.rs

⁴ Александар Радевић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Бул. краља Александра 73, тел:011 3370 097, e-mail: aradevic@imk.grf.bg.ac.rs

мада се могу вршити и тестови у којима се узорци излажу аксијалном притиску, затезању, цепању, итд. У последње време, све чешће се користе методе и технике код којих је на узорцима за испитивање унапред дефинисано место настанка прве прелине – у виду зареза. Такве су, на пример, метода савијања греде са зарезом ("*Notched Beam Flexural Test*") или метода цепања помоћу клина ("*Wedge Splitting Test*"). Код предметних метода, уместо дијаграма σ - ε (или P - Δl), користе се дијаграми σ - w (напон-локално раздвајање). Наиме, с обзиром да је пресек у коме се налази зарез најслабије место на узорку, прва прелина ће бити иницирана баш на тој локацији. Са порастом оптерећења, повећаваће се и отвор на месту зареза (односно прелине), што се региструје и прати помоћу посебних *CMOD* деформетара ("*Crack Mouth Opening Displacement*"). Ово локално раздвајање, односно ширење пукотине на месту зареза, користи се као "feedback" при наношењу оптерећења – што значи да се величина оптерећења током испитивања модификује тако да се брзина деформације одржава константном. На овај начин добија се најстабилнији одговор система након настанка прве прелине.

Најважнији фактори који утичу на напонско-деформацијско понашање неког микроармираног композита, а самим тим и на величину његове жилавости (дуктилности), су: врста влакана, геометрија влакана, количина влакана, састав и структура цементне матрице, величина испитиваних узорака, врста оптерећења, брзина наношења оптерећења, прецизност инструмената за мерење деформација, начин контроле приликом испитивања (на пример: контролисана брзина наношења оптерећења или контролисана брзина деформације) и однос крутости машине (рама) помоћу које се наноси оптерећење према крутости испитиваних узорака [1]. Што се тиче деформационих својстава, позната је чињеница да је класичан бетон изразито крт материјал. Додатак влакана, међутим, може значајно да поправи перформансе предметног композита у том домену. У том смислу, посебно добри резултати постижу се код бетона справљеног са ситнијим агрегатом, што доводи до побољшане адхезије између матрице и влакана, па су самим тим и ефекти микроармирања израженији и повољнији него код крупнозрних бетона. Зато се овакви бетони по правилу справљају са агрегатом крупноће до 20 mm (или са код нас уобичајеним трофракцијским агрегатом, тј. са $D = 16$ mm).

Као што је познато, додатак влакана цементној матрици у принципу "продужава" дијаграм напон-деформација. Међутим, ефекат микроармирања не долази до изражаја све док се у цементној матрици не појаве прелине. Када се, приликом испитивања, напон повећа до одређеног нивоа (што је, у суштини, чврстоћа при затезању матрице), почиње формирање прво микропукотина, које касније прелазе у макрупукотине. Након настанка пукотине у цементној матрици, дистрибуција напона у том попречном пресеку се драстично мења и то тако што оптерећење, које је до тада прихватала матрица, морају да преузму влакна која премошћавају предметну пукотину. Стање, које се у теорији механике лома назива "прва пукотина" представља у ствари границу линеарности (односно пропорционалности) на дијаграму σ - ε и најлакше се може уочити при директном аксијалном затезању или при испитивању затезања савијањем. Код дијаграма добијених испитивањем при притиску, ову границу често није лако утврдити. Напон који одговара првој пукотини, много више зависи од својстава матрице,

него од својстава микроарматуре (на пример, показало се да додатак силикатне прашине утиче на повећање овог напона [2]).

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСТРАЖИВАЊЕ

У оквиру Лабораторије за материјале Грађевинског факултета Универзитета у Београду вршена су бројна испитивања жилавости (дуктилности) различитих микроармираних композита типа малтера и бетона. У оквиру овог рада, биће приказана нека од истраживања која су обухватила испитивање деформационих својстава микроармираних композита изложених напонима притиска.

Тако на пример, за потребе истраживања параметара дуктилности и ударне отпорности ситнозрних бетона микроармираних различитим врстама синтетичких влакана, направљено је укупно седам серија бетона, и то: еталон (Е) - серија ознаке "0" (без додатка влакана), микроармирани бетон (МАБ) - серија ознаке "1" (са 1 kg/m^3 монофиламентних полипропиленских влакана "Fibrin" дужине 12 mm), микроармирани бетон (МАБ) - серија ознаке "2" (са 5 kg/m^3 монофиламентних полипропиленских влакана "Fibrin" дужине 12 mm), микроармирани бетон (МАБ) - серија ознаке "3" (са 1 kg/m^3 монофиламентних полипропиленских влакана "Fibrin" дужине 18 mm), микроармирани бетон (МАБ) - серија ознаке "4" (са 5 kg/m^3 монофиламентних полипропиленских влакана "Fibrin" дужине 18 mm), микроармирани бетон (МАБ) - серија ознаке "5" (са 1 kg/m^3 монофиламентних синтетичких макро влакана "Strux" дужине 40 mm), микроармирани бетон (МАБ) - серија ознаке "6" (са 5 kg/m^3 монофиламентних синтетичких макро влакана "Strux" дужине 40 mm).

Количина употребљених влакана за справљање бетона ознака "1", "3" и "5" (1 kg микроарматуре по 1 m^3 свежег уграђеног бетона), усвојена је као уобичајена вредност - која се јавља код највећег броја практичних примена композита микроармираних синтетичким влакнима.

Количина влакана код серија "2", "4" и "6" (5 kg микроарматуре по 1 m^3 свежег уграђеног бетона), одабрана је након обављених претходних проба, као максимална вредност чијом применом не долази до драстичне промене конзистенције, тј. до значајног смањења степена уградљивости и обрадљивости свежег бетона. Такође, водило се рачуна о томе да се ни у једној фази справљања предметних бетона не дозволи да дође до појаве ефекта нагомилавања ("balling") примењених синтетичких влакана.

У оквиру полазних параметара, са којима се ушло у пројектовање састава бетонских мешавина, предвиђено је да бетон буде пластичне конзистенције (слегање: $H= 5-9 \text{ cm}$, односно распростирање: $R = 42-48 \text{ cm}$). У складу са класификацијом конзистенције према стандардима SRPS ISO 4103 и SRPS EN 206-1, ради се о бетону класе S2 (класа према слегању), односно класе F3 (класа према распростирању). Што се тиче услова квалитета за очврсли бетон, усвојена је марка MB30 (односно одговарајућа пројектована класа чврстоће C25/30). С обзиром да није била предвиђена употреба никаквих хемијских додатака (типа суперпластификатора), а имајући у виду напред наведена захтевана својства за

свеж и очврсли бетон, јасно је да су предметне мешавине справљане са релативно високом вредношћу водоцементног фактора ($\omega \sim 0,50$).

За справљање предметних бетона коришћен је речни агрегат и то прве две стандардне фракције: I (0/4 mm) и II (4/8 mm), у размери мешања 60% : 40% (што је усвојено као меродавна размера након анализе утврђеног гранулометријског састава ових фракција). Код свих типова бетона коришћен је цемент на бази портланд цементног клинкера са мешаним додатком (згуре и кречњака) - тип СЕМ II oznake: PC 20M(S-L) 42.5R произвођача "Lafarge"- Беоцин.

Од деформационих својстава предметног бетона, испитиван је статички модул еластичности (E) - при старости узорака од 120 дана, као и σ - ε дијаграм при притиску (за исту старост узорака). Испитивање модула еластичности вршено је у складу са одредбама стандарда DIN 1048:1991, на серво-контролисаној хидрауличној преси капацитета 200 kN. Цео процес испитивања био је аутоматизован, што значи да су преса и систем за аквизицију података са два индуктивна деформетра, били међусобно повезани преко компјутера, на коме је био инсталиран специјалан софтвер за испитивање у складу са стандардом DIN 1048. За предметно испитивање употребљени су призматични узорци димензија 10×10×35 cm (по три комада од сваке серије бетона). Према наведеном стандарду, уобичајено је да се статички модул еластичности одређује при старости бетона од 28 дана, али је овом приликом одлучено да се узорци испитују при старости од 120 дана, у складу са претпоставком да је бетон тада достигао највећи део од укупне вредности чврстоће при притиску.

Као што је познато, стандардно испитивање модула еластичности подразумева да се прво одреде границе доњег (σ_d) и горњег (σ_g) напона, између којих се, затим, врши циклично оптерећивање и растерећивање узорака, уз истовремено мерење напона и одговарајућих еластичних деформација. Овакво "тренирање" узорака врши се у 3-4 корака, у циљу елиминисања постојећих пластичних деформација бетона. Доњи напон се обично бира као минимални напон који одговара тзв. "техничкој нули" и уобичајено је да он износи 0,5 МПа. Горњи напон зависи од чврстоће при притиску испитиваних узорака (f_p) и његова вредност се усваја тако да важи релација: $\sigma_g \approx f_p/3$.

С тим у вези, пре почетка испитивања усвојени су доњи напон ($\sigma_d=0,5$ МПа) и горњи напон ($\sigma_g=15,0$ МПа - као вредност која је била приближно једнака 1/3 очекиване чврстоће при притиску на узорцима димензија 10×10×35 cm, при старости од 120 дана). Деформације су мерене помоћу два индуктивна деформетра (постављена на средини висине, на две супротне стране призматичног узорка), са тачношћу од 0,001mm и мерном базом од 100mm. Програмирана брзина наношења оптерећења (односно растерећења), током целог теста износила је 0,5 МПа/sec. Диспозиција предметног испитивања приказана је на слици 1.

Током испитивања модула еластичности, аквизиција података (време, сила, средња вредност деформације) вршена је аутоматски, а сви подаци су регистровани на рачунару. Као коначан резултат испитивања, за сваки узорак одређен је његов статички модул еластичности (E) у складу са формулом:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_g - \sigma_d}{\varepsilon_g - \varepsilon_d} \quad (1)$$

Укупно је испитано по три узорка од сваке серије, тј. $3 \times 7 = 21$ узорак.



Слика 1. Диспозиција испитивања статичког модула еластичности

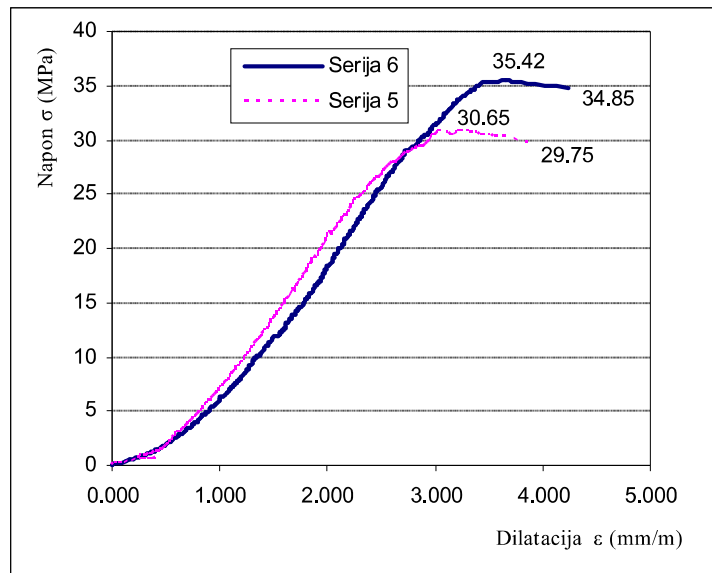
У оквиру табеле 1. приказани су резултати испитивања који представљају средње вредности статичког модула еластичности за сваку од третираних серија бетона ("0"- "6"), при старости од 120 дана. У истој табели, ради поређења, дате су и вредности одговарајућих чврстоћа при притиску (такође при старости од 120 дана). Иначе, призматични узорци димензија $10 \times 10 \times 35$ cm који су коришћени за одређивање модула еластичности, нису након завршеног теста испитивани до лома, већ су из њих, исецањем на призме димензија $5 \times 5 \times 15$ cm, формирани узорци за одређивање σ - ε дијаграма бетона при притиску.

Табела 1. Упоредни приказ вредности модула еластичности E и чврстоћа f_p

| Серија | "0" | "1" | "2" | "3" | "4" | "5" | "6" |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| E (GPa) | 36.5 | 35.4 | 32.8 | 34.9 | 32.2 | 35.6 | 33.3 |
| f_p (MPa) | 64.9 | 67.3 | 66.8 | 65.9 | 67.7 | 69.6 | 70.6 |

Познато је да σ - ε дијаграм (у литератури се често користи и термин: радни дијаграм) представља својеврсну "личну карту" сваког материјала. Из њега се могу добити веома значајне информације у вези са понашањем неког материјала, у смислу промене напона и деформација, под различитим режимима оптерећења -

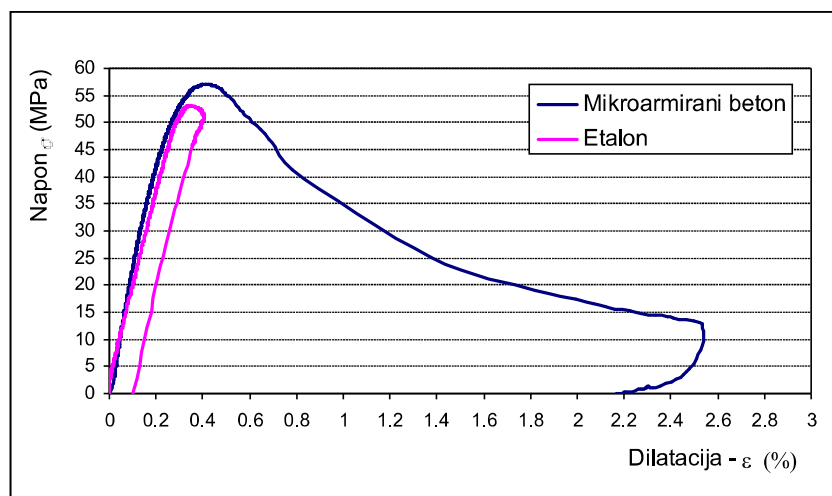
односно при различитим напонским стањима (притисак, затезање, савијање, смицање, итд.). Иако су досадашња истраживања која су презентирана у бројним литературним одредницама (на пр. [1], [4], [5]), а која се односе на одређивање σ - ε дијаграма композита са ниским садржајем синтетичких влакана (испод 1%), показала да се ови дијаграми углавном незнатно разликују од дијаграма добијених испитивањем еталона (односно "обичних" бетона справљених без додатка микроарматуре), одлучено је да се овај део испитивања ипак уврсти у програм истраживања. Ово је учињено у жељи да се сагледа комплетна слика понашања ситнозрних бетона микроармираних синтетичким влакнима (са ниским учешћем ових влакана) и направи што обухватнија анализа утицаја микроарматуре на својства предметног композита при деловању доминантног оптерећења за бетон – тј. напона притиска. Као што је и било претпостављено, добијени радни дијаграми за свих 7 серија бетона ("0"- "6"), међусобно су се незнатно разликовали и није било могуће дати одговарајући конзистентан закључак у вези са тим како количина и врста употребљене микроарматуре утиче на σ - ε дијаграм при притиску. Међутим, при упоредној анализи резултата испитивања серија бетона справљених са истим типом, а различитим количинама влакана (дакле серије "1"- "2", "3"- "4" и "5"- "6"), уочено је да већа количина влакана ипак у извесној мери доприноси повећању укупних дилатација при лому, порасту укупне дуктилности композита, као и повећању капацитета апсорбоване енергије (који се може дефинисати као површина испод σ - ε дијаграма). Као илустрација оваквог закључка, на слици 2. дат је упоредни приказ радних дијаграма бетона серије "5" (доњи дијаграм) и "6" (горњи дијаграм).



Слика 2. Упоредни приказ σ - ε дијаграма бетона серија "5" и "6"

Једно друго истраживање показало је да, за разлику од композита армираних релативно малим количинама синтетичких влакана, у случају бетона справљених

са челичним влакнима могу се уочити значајније разлике у регистрованим σ - ϵ дијаграмима. Тако на пример, резултати испитивања деформационих својстава бетона справљеног на бази додатка челичних влакана домаће производње - "Спајић", показали су да је армирање цементне матрице таквим влакнима допринело значајном повећању жилавости бетона при притиску. У овом случају, одабрана су влакна савијена на крајевима, димензија $30 \times 0,6$ mm (фактор облика $l/d = 50$) у количини од 25 kg/m^3 (0,3% у односу на запремину). У овом случају усвојен је трофракцијски речни агрегат "Моравић", са номинално најкрупнијим зрном $D=16$ mm, као и композитни цемент (СЕМ II) класе 42.5N, произвођача "Lafarge"- Беоцин. Као основни услов квалитета бетона усвојена је марка бетона МВ30, а у функцији практичне примене предметног бетона, усвојена је и пластична конзистенција за свеж бетонске мешавине, што значи да је пројектована мера слегања према Абрамсу износила 6-10 cm. Испитивања о којима је реч, обухватила су одређивање σ - ϵ дијаграма код две серије бетона (еталона - справљеног без додатка влакана и микроармираног бетона - справљеног са 25 kg/m^3 челичних влакана), уз анализу параметара дуктилности предметних композита. Ова испитивања односила су се такође само на напонско стање аксијалног притиска у бетону, а вршена су на призматичним узорцима димензија $12 \times 12 \times 36$ cm, при старости од 28 дана. Помоћу динамометра одговарајуће тачности мерена је промена силе, док су истовремено помоћу индуктивних (LVDT) деформетара мерене промене дужине на 2 мерне базе током времена (почетна дужина обе мерне базе износила је $l=100$ mm). Наведени уређаји били су повезани са рачунаром на коме су праћене и регистроване све промене на релацији сила-деформација током трајања испитивања, тј. од почетка наношења оптерећења па све до лома бетона. Уколико се у истом координатном систему прикажу оба σ - ϵ дијаграма (слика 3), види се да је дуктилност микроармираног бетона - која се може дефинисати као површина ограничена σ - ϵ линијом и ϵ -осом, вишеструко већа (са 12 пута) од дуктилности еталона, тј. бетона без додатка влакана.



Слика 3. σ - ϵ дијаграми две серије бетона (еталона и микроармираног бетона)

У оквиру трећег истраживања о коме ће у овом раду бити речи, справљене су четири мешавине самозбијајућих - SCC бетона (*Self-Compacting Concrete*), са додатком раније већ поменутих монофиламентних синтетичких (полиолефинских) макро влакана типа STRUX, и то: еталонска мешавина (надаље означена у тексту као "V0"), мешавина са додатком 900 g/m^3 STRUX 90/40 влакана (ознаке "V9"), мешавина са додатком 1200 g/m^3 STRUX 90/40 влакана (ознаке "V12") и мешавина са додатком 1800 g/m^3 STRUX 90/40 влакана (ознаке "V18").

За справљање предметних бетона коришћен је речни агрегат и то три стандардне фракције: I (0/4 mm), II (4/8 mm) и III (8/16 mm), у размери мешања 50% : 25% : 25% (што је усвојено у складу са претходним пробама, да би се добила потребна конзистенција која карактерише SCC – распростирање слегањем између 745-790 mm према SRPS EN 12350-8:2012 (*Испитивање свежег бетона – Део 8: Самоуграђујући бетон – Испитивање распростирања слегањем*)). Код свих типова бетона коришћен је "чист" цемент (без додатака) на бази портланд цементног клинкера (CEM I) ознаке: PC 42.5R произвођача "Lafarge"- Беоцин. При томе, вредност водопрашкастог фактора код све четири серије бетона износила је 0,34.

У свим мешавинама је осим чистог цемента (330 kg/m^3) у својству прашкасте компоненте (тј. минералног додатка) употребљена мешавина кречњачког брашна ("Рујевац" – БА, произвођача "Гранит пешчар" а.д. Љиг) и летећег пепела (нетретираног, пореклом из ТЕ Колубара) у количинама од 180 kg/m^3 и 100 kg/m^3 . Такође, у свим мешавинама употребљен је и суперпластификатор на бази поликарбоксилата, у количини од 2% у односу на масу цемента.

Од већег броја обављених различитих испитивања, овом приликом се наводе само резултати који се односе на испитивања при притиску. Наиме, предметни бетони постигли су чврстоће при притиску које су се кретале између 57.1 МПа (SCC ознаке "V9") и 59.0 МПа (SCC ознаке "V18") при старости од 28 дана. Што се тиче динамичког модула еластичности, он се кретао од 40.6 GPa (SCC ознаке "V18") до 41.9 GPa (SCC ознаке "V9"), а динамички Поасонов коефицијент у границама од 0.228 (SCC ознаке "V0") до 0.257 (SCC ознаке "V18"). Сви наведени резултати детаљније су приказани у оквиру табеле 2.

Табела 2. Упоредни приказ вредности чврстоће f_p , динамичког модула E_d и динамичког Поасоновог коефицијента μ_d код микроармираних SCC мешавина

| Серија | V0 | V9 | V12 | V18 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| f_p [MPa] | 58.8 | 57.1 | 58.8 | 59.0 |
| E_d [GPa] | 41.1 | 41.9 | 41.1 | 40.6 |
| μ_d [-] | 0.228 | 0.246 | 0.247 | 0.257 |

3. ЗАКЉУЧАК

Након бројних истраживања деформационих својстава, као и параметара жилавости (дуктилности) различитих микроармираних композита, обављених у оквиру Лабораторије за материјале Грађевинског факултета Универзитета у

Београду (од којих су у овом раду приказана само три карактеристична случаја), може се закључити следеће:

- додатак влакана (било синтетичких или челичних) цементној матрици у принципу "продужава" дијаграм напон-деформација, односно побољшава жилавост (дуктилност) композита типа малтера и бетона,
- ефекат микроармирања (у смислу повећања жилавости) израженији је у случају употребе челичних влакана и генерално се побољшава са повећањем количине употребљене микроарматуре,
- додатак синтетичких влакана нема велики утицај на промену како статичког, тако ни динамичког модула еластичности (процентуалне разлике између регистрованих вредности E за различите серије бетона, кретале су се између 2-10%); ово се може објаснити пре свега релативно ниским процентуалним учешћем микроарматуре у оквиру цементне матрице, као и чињеницом да је модул еластичности синтетичких влакана знатно нижи од модула бетона (односно цементне матрице),
- с друге стране, забележено је извесно повећање динамичког Поасоновог коефицијента код микроармираних композита (између 8 и 13%), што значи да микроармирање у извесној мери доприноси повећању попречних деформација композита у односу на подужне деформације,
- што се тиче σ - ε дијаграма код композита са ниским садржајем синтетичких влакана (испод 1%), истраживања су показала да се ови дијаграми углавном незнатно разликују од дијаграма добијених испитивањем еталонских узорака,
- с друге стране, у случају испитивања композита са додатком челичних влакана, дуктилност микроармираног бетона (која се може дефинисати као површина ограничена σ - ε линијом и ε -осом), била је вишеструко већа (сва 12 пута) од дуктилности еталона.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Balaguru P.N., Shah S.P.: Fiber Reinforced Cement Composites, Mc Graw-Hill, New York, 1992.
- [2] Šušteršič J.: Vlaknasti betoni visokih uporabnih svojstava, Doktorska disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1998.
- [3] Закић Д.: Физичко-механичка својства малтера са додатком полипропиленских влакана, Магистарска теза, Грађевински факултет, Београд, 2001.
- [4] Bentur A., Mindess S.: Fiber Reinforced Cementitious Composites, Elsevier Applied Science, London, UK, 1993.
- [5] Hannant D.S.: Fiber Cements and Fiber Concretes, John Wiley and Sons, New York, 1987.
- [6] Јевтић Д., Закић Д.: Анализа резултата испитивања бетона микроармираног челичним влакнима "Спајих", Симпозијум ЈДГК, Врњачка Бања, 2004, стр. 321-326.

- [7] Мурављов М, Јевтић Д, Закић Д.: Примери побољшања перформанси бетона и малтера путем микроармирања, Зборник радова Грађевинског факултета у Суботици бр. 14, 2005, стр. 225-235.
- [8] Јевтић Д., Закић Д.: Микроармирани малтери и бетони - могућност побољшања физичко-механичких својстава, Материјали и конструкције 3-4/2006, стр. 35-45.
- [9] Jevtić, D., Zakić, D., Savić, A.: Fiber Reinforced Cement Composites – Improvement of Mechanical and Deformation Properties, Journal of Engineering & Processing Management, Vol.1/2009, pp. 7-17.
- [10] Закић Д.: Истраживање параметара дуктилности и ударне отпорности ситнозрних бетона микроармираних синтетичким влакнима, Докторска дисертација, Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2010.
- [11] Јевтић, Д., Закић, Д., Савић, А.: Релевантне статичке и динамичке методе за оцену живавости микроармираних бетона, Грађевински материјали и конструкције бр.1/2011, стр. 3-27.

TESTING OF DEFORMATION PROPERTIES OF FIBER REINFORCED CEMENT COMPOSITES

Summary: *It is a known fact that fibers are usually added to cementitious composites (concrete and mortar) in order to improve some of their physical-mechanical properties, such as: tensile and flexural strength, impact resistance, shrinkage, freeze-thaw resistance, durability, etc. On the other hand, improvement of deformation properties (such as ductility or elasticity modulus) of such composites can be equally or even more important. Evaluation of ductility (or toughness) of fiber reinforced cementitious composites is usually related to the area under the σ - ϵ diagram obtained during different static or dynamic tests. This paper presents the experimental testing results of deformation properties of fiber reinforced composites made with different types and quantities of fibers – when subjected to compression.*

Keywords: *Fiber reinforced composites, deformation properties, toughness.*