

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТИВАЊЕ НОСИВОСТИ АБ ГРЕДА СА МИКРОАРМАТУРОМ БЕЗ УЗЕНГИЈА

Смиља Живковић¹

Арпад Чех²

Данијел Кукарас³

УДК: 624.012.45.072.2

DOI: 10.14415/konferencijaGFS 2015.037

Резиме: У овом раду су представљене могућности примене микроармираног бетона за израду гредних носача без узенгија, као и утврђивање оптималне количине челичних влакана у односу на укупну запремину готове бетонске мешавине. Испитивања су спроведена на три групе узорака са различитим уделом челичних влакана а добијени резултати представљају охрабрење за даља истраживања у овом правцу.

Кључне речи: микроармирани бетон, гредни носач, узенгије

1. УВОД

У оквиру овог рада се приказују резултати експерименталног испитивања армиранобетонских гредних носача ојачаних челичним микровлакнима при чему је уграђена стандардна подужна арматура без додатног осигурања смичућих напона. Испитивани су модели статичког система просте греде, оптерећени двома концентрисаним силама у трећинама распона. Овакав систем и оптерећење су одабрани са циљем да се обезбеди приближно константан момент савијања између две силе и константна величина трансверзалних сила у првој и последњој трећини греде. Циљ експерименталног испитивања је био утврђивање носивости греда код којих су у потпуности изостављене узенгије и/или друга арматура за пријем смичућих напона уз претпоставку да ће додавањем микровлакна бити довољно повећана чврстоћа бетона на смицање. Формирање арматуре на овај начин је значајно поједностављено, нарочито код сложенијих попречних пресека и места у носачима где због укрштања више армиранобетонских елемената долази до

¹ Смиља Живковић, дипл.инж.грађ., студент докторских студија, Грађевински факултет Суботица, Суботица, е-mail: zivkovicsmilja@gmail.com

² Арпад Чех, дипл.инж.грађ., стручни сарадник, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, Суботица, е-mail: ceh@gf.uns.ac.rs

³ Проф. др Данијел Кукарас, дипл.инж.грађ., Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, Суботица, е-mail: danijel.kukaras@gmail.com

нагомилавања арматуре која онда доводи у питање могућност правилног уграђивања бетона.

Експериментално испитивање модела армиранобетонских греда са применом челичних микровлакна је спроведено у просторијама Лабораторије за грађевинске материјале и конструкције Грађевинског факултета у Суботици. Добијени резултати су упоређени са рачунским вредностима које се добијене применом једноставнијих прорачунских модела који одговарају одредбама Правилника о техничким нормативима за бетон и армирани бетон (ПБАБ'87). Прорачунски модел је усвојен као да се ради о армиранобетонској греди која је класично армирана. У настојању да поређење буде што директније прорачуни су вршени са применом чврстоћа бетона добијених испитивањем узорака бетона старости 28 дана, при чему су узорци узети од бетона који је уграђен у моделе а и испитивање самих модела је вршено приближно 28 дана након бетонирања.

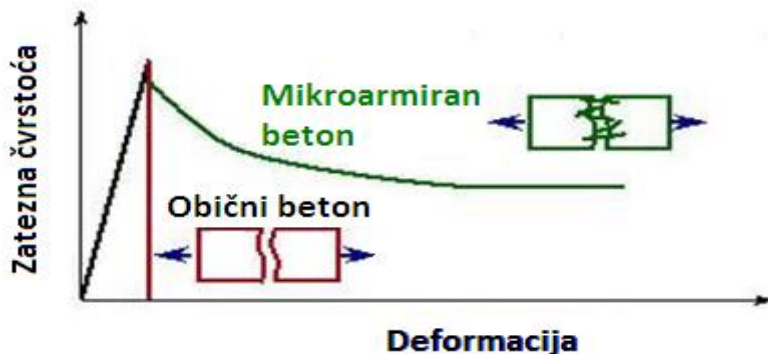
2. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МИКРОАРМИРАНОГ БЕТОНА

Микроармирани бетон је грађевински материјал који, осим класичних компоненти бетона, у себи садржи и одређену количину влакана различитог облика и од различитих материјала. Осим по додатим влакнима, овај бетон се разликује се од обичног бетона и по саставу бетонске мешавине. Досадашњу примену бетона ојачаног влакнима [1] карактерише повећана количина цемента ($300-500 \text{ kg/m}^3$), мања количина агрегата чија зрна агрегата не треба да буду већа од 10 mm (ретко 15 mm). Запреминска количина влакана у зависности од примењеног типа и жељених карактеристика бетона се креће од 0,5 до 2,0%, у ређим случајевима и до 5%, у односу на укупну запремину готовог бетона [2].

Влакна су униформно распоређена и насумично оријентисана у бетону. Она заправо чине дисконтинуалну арматуру, при чему се не очекује да замене класичну арматуру него се користе за побољшање одређених својстава бетона. Микровлакна нарочито повољно делују на повећање затезне чврстоће (Слика 1), отпорности на појаву прелина и на чврстоћу на смицање. Понашање услед динамичких и термичких утицаја је такође повољније што омогућава веома широку примену бетона са микровлакнима. Према подацима [3] микроармирани бетон се највише употребљава за индустријске подове (око 50 %), у тунелоградњи (око 45 %) и у индустрији префабриковаих бетонских монтажних елемената (< 5 %). Остала су подручја примене према количини употребљених влакана занемарива.

Данас се најчешће користе челична влакна и синтетичка влакна направљена од полипропилена, а поред тога влакна се пороизводе и од стакла и природних материјала. Свака врста влакана даје другачије карактеристике бетону. Челична влакна између осталог дају већу чврстоћу на смицање и затезање, смањују потребну количину обичне арматуре и повећавају дуктилност бетона [4]. Синтетичка редукују негативне утицаје скупљања бетона и настанак прелина, побољшавају кохезију бетонске смеше, побољшавају отпорност на циклусе

смрзавања-одмрзавања а такође се користе за пумпани бетон [2]. Ова два типа влакана се могу и међусобно комбиновати ради постизања жељених особина. Код обичног микроармираног бетона након појаве прве прслине долази до смањења носивости али за разлику од обичног бетона не долази до лома испитног узорка. Дуктилније понашање након појаве прве прслине је последица преноса напона влакнима преко прслине на суседне пресеке. Ово указује на важност остварења најбоље могуће интеракције између влакана и цементне матрице која омогућује ово повећање дуктилности.



Слика 1. Дијаграм зависности напона затезања и дилатација за обични и за микроармирани бетон [5]

Да би избегли проблеме са сегрегацијом и агломерацијом, односно да би се осигурала равномерна расподела влакана, неопходно је поштовање предвиђених рецептура [5] приликом контроле додавања влакана у мешавину:

- дужина изабраног влакна треба да буде већа од двоструке вредности максималне димензије агрегата
- дужина влакана (L) је дефинисана функцијом најмање стране структурног елемента (S_{min}), према следећој размери:

$$S_{min} \geq 1,5 L$$

Код уграђивања микроармираног бетона најчешће се јављају два проблема, и то:

- густина бетона ојачаног челичним влакнима је често мања од густине класичног бетона али се правилним избором метода уграђивања ово стање може променити, и
- стварање челичних грудвица у бетону, односно тежња да се влакна у току мешања и при уградњи постепено закаче једна за друге. Влакна мање прекидне чвстоће и мањег модула еластичности склонија су стварању грудвица.

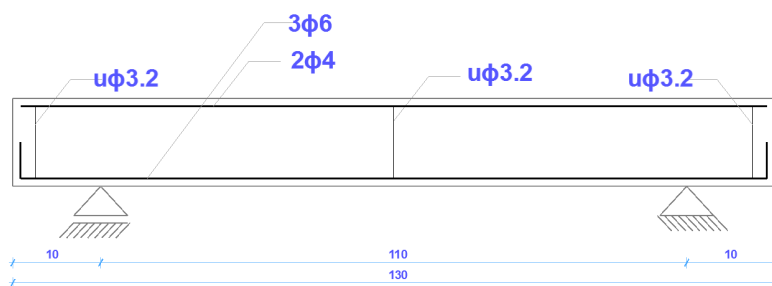
Препоручује се избегавање коришћења игличастог вибратора приликом уграђивања оваквог бетона јер на местима извлачења вибратора из бетонске масе остају сингуларна места која челична влакна недовољно покривају. Код префабрикације елемената често се користи вибростол. Вибрирање утиче и на оријентацију челичних влакна. Челична влакна се распоређују у равни управно на

правац вибрирања, па то може негативно да утиче на очекиване особине вибрираног елемента.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО РАДА

Циљ спроведеног истраживања је био да се утврди у којој мери повећање чврстоће бетона на смицање и затезање применом челичних микровлакана утиче на понашање армиранобетонске греде. У ту сврху експериментална испитивања су спроведена на 9 греда које су подељене у 3 групе са по 3 греде (А, В, С). Прва група (МА-0,5) има 0,5% , друга група (МА-1,0) 1,0% док трећа група (МА-2,0) има 2,0% запреминске количине влакана у односу на укупну запремину готовог бетона. Све греде су израђене са марком бетона МВ30 и без узенгија. Дакле, испитивања су вршена на 9 геометријски идентичних греда које се међусобно разликују једино у погледу количине челичних влакана.

За добијање микроармираног бетона кориштена су влакна пречника 0,4 mm и дужине 30 mm са затезном чврстоћом 1400 N/mm². Горња зона греде је армирана са две шипке MAR 500/560 арматуре Ø4 mm, доња зона са три шипке MAR 500/560 арматуре Ø6 mm, Слика 2. По три узенгије Ø3,2 mm које су имале улогу дистанцера за арматуру горње зоне су постављене у сваку греду, и то: по једна на крајевима и једна у средини греде, тако да је њихов допринос носивости греде буде занемарив.



Слика 2. Шематски приказ армирања испитиваних греда

Пројектовани састав мешавине за 1 m³ бетона са додатком влакана дат је у следећој табели:

Табела 1. Састав мешавине микроармираног бетона

	Микроармирани бетон		
	МА - 0,5 %	МА - 1,0 %	МА - 2,0%
Вода [kg]	240,0	240,0	240,0
Цемент [kg]	421,0	421,0	421,0
Адигтив [kg]	1,85	1,85	1,85
Влакна [kg]	39,0	80,0	160,0
Агрегат [kg]	1553,7	1540,6	1514,4

Испитивање механичких карактеристика бетона (чврстоћа на притисак, чврстоћа на затезање савијањем и модул еластичности) вршено је на узорцима следећих димензија и облика: коцке 15x15x15 cm, призме 10x10x40 cm и цилиндричне призме Ø15 cm са висином од 30 cm. Добијени резултати на узорцима старим 28 дана су приказани у Табелама 2 и 3:

Табела 2. Чврстоћа бетона на притисак

Узорци	МА 0,5%	МА 1,0%	МА 2,0%
А	39,55	38,93	29,16
В	38,93	39,64	39,29
С	36,09	33,78	33,24

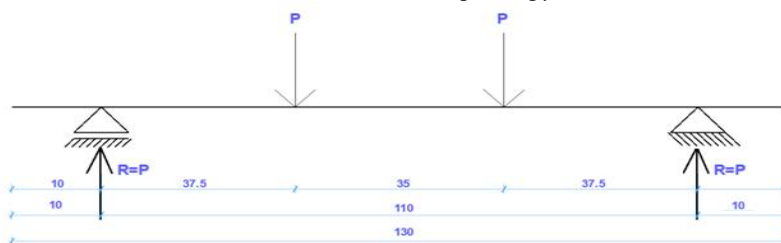
Табела 3. Затезна чврстоћа бетона при савијању

Узорци	МА 0,5%		МА 1,0%		МА 2,0%	
	Сила [kN]	f_{cs} [Мра]	Сила [kN]	f_{cs} [Мра]	Сила [kN]	f_{cs} [Мра]
А	15	6,75	17	7,80	21	9,45
В	16	7,20	17	8,20	16	7,20
С	16	7,20	18	8,10	20	9

Опрема која је коришћена за испитивање микроармираних АБ греда је била следећа: преносни челични рам, хидраулична ручна преса капацитета 10 тона, дигитална помична мерила са податком 0,01 mm (мерење угиба средњег дела греде) и дигитални компаратери са податком 0,001 mm (мерење померања ослонаца). Сва испитивања вршена су у просторијама Лабораторије за грађевинске материјале и конструкције Грађевинског факултета у Суботици и Табела 4 представља приказ експериментално добијених резултата испитивања греда. Фотографија са испитивања једне од греда групе В је дата на Слици 3 док је на Слици 4 дата шема испитиваних греда.



Слика 3. Испитивање греда групе В



Слика 4. Шематски приказ статичке шеме и оптерећења испитиваних греда

Табела 4. Приказ добијених експерименталних резултата за микроармиране гредне носаче

Групе греда (просечна вредност)	Сила лома P_{ru} (експ. вредност) [kN]	Момент лома M_{ru} (експ. вредност) [kNm]
МА 0,5%	17,12	6,42
МА 1,0%	19,94	7,48
МА 2,0%	22,25	8,35

За потребе прелиминарне анализе добијених резултата срачунате су вредности граничне силе лома и момента лома предметних греда. Ове вредности су срачунате уз примену прорачуна који је у складу са одредбама ПБАБ '87 при чему су за вредности чврстоћа бетона узете експериментално добијене вредности за ово испитивање. Оваквим прорачуном је добијено да је сила лома узорка $P_{m}=15,89 \text{ kN}$ док је одговарајући момент лома пресека $M_{m}=5,96 \text{ kNm}$

4. ЗАКЉУЧАК

Експериментално добијени резултати и њихово поређење са прелиминарним рачунским резултатима указују на следеће закључке:

- Са повећањем количине челичних микровлакана у испитиваним гредама је повећана гранична носивост при лому у односу на класичну армиранобетонску греду. Добијена су следећа повећања силе лома, приказана у процентима:

Греде са 0,5% челичних микровлакана: 7,70 %

Греде са 1,0% челичних микровлакана: 25,49 %

Греде са 2,0% челичних микровлакана: 40,00 %

- Челична микровлакна су повољно утицала на расподелу прслина при чему је прва прслина настала при сили која је износила приближно 30% силе лома,
- Утврђена су значајна повећања чврстоће на затезање при савијању где је повећање било и до 100% код греда са 2% челичних микровлакана,
- Додавањем челичних микровлакана значајно је повећана чврстоћа на смицање тако да током испитивања није утврђена смањена носивост греда иако нису уграђиване узенгије односно арматура за пријем смичућих напона.

Резултати приказаног експерименталног испитивања указују на потребу даљих истраживања усмерених на побољшање понашања које код гредних/линијских армиранобетонских носача доноси уградња микровлакнима. Добијени резултати такође оправдавају израду комплекснијих нумеричких модела спроведних испитивања која ће укључити нелинарно понашање бетона при оптерећивању, различито понашање бетона при напонима притиска и напонима затезања и појаву прслина у условима примене бетона са микровлакнима.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мурабљов М., Уљаревић М.: Микроармирани бетони, Монографија Специјални бетони и малтери - својства, технологија, примена, Грађевински факултет у Београду, Београд 1999., стр. 97-117.
- [2] Уљаревић М., Грујић Б., Грујић Ж.: Примена микроармираног прсканог бетона у тунелоградњи, Зборник радова, Грађевински факултет Суботица, Суботица, 2013, број 22, стр.107-113.

- [3] Сказлић М., Ткалчић Д., Шомоши Д.: Оптимализација микроармираног бетона за оптерећења на савијање, Грађевинар, Загреб **2008**, vol. 60, бр. 2, стр. 133-140.
- [4] Сказлић М., Бјеговић Д., Марковчић С.: Микроармирани бетон бисоких упорабних својстава, Грађевинар, Загреб **2004**, vol. 56, бр. 2, стр. 69-78.
- [5] Рафаи Г.: Гранична носивост АБ гредних носача ојачаних челичним микровлакнима, Завршни рад мастер академских студија, ментор: проф. др Данијел Кукарас, Грађевински факултет Суботица, Суботица 2014.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ULTIMATE BEARING CAPACITY OF RC BEAMS WITH MICROFIBERS AND WITHOUT STIRRUPS

Summary: This paper presents possibilities of application of concrete with microfibers in beam girders without stirrups, as well as determination of optimal quantity of steel microfibers within the concrete mixture. Experimental investigations were performed on beams that had normal longitudinal reinforcement bar but with no stirrups. Three groups of beams were tested with different quantity of steel microfibers. Obtained results serve as encouragement for similar research in the future.

Keywords: Concrete with microfibers, beam girders, stirrups