

## ОЈАЧАЊЕ ЗИДОВА ОД БЛОК ОПЕКЕ И БЕТОНСКОГ БЛОКА „FRCM“ КОМПОЗИТИМА

Жељка Радовановић<sup>1</sup>

УДК: 624.012.8

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2015.021

**Резиме:** У раду су приказана експериментална истраживања ојачавања зиданих зидова различитим врстама „FRCM“ композита. Узорци зидова су након тестирања на дијагонално затезање ојачавани „FRCM“ композита. Поновним тестирањем ојачаних зидова утврђено је да се носивост зидова вишеструко повећала.

**Кључне речи:** зидане конструкције, експеримент, ојачања, „FRCM“ композити

### 1. УВОД

Национални истраживачки пројекат „Смањење сеизмичког ризика у објектима од камена и опеке“, чији је носилац Грађевински факултет у Подгорици, реализује се у периоду од 2012. до 2015. године. Циљ пројекта је да се тестирањем на узорцима зидова од блок опеке и бетонског блока дефинишу механичке карактеристике ове врсте зидова и предложе једноставне и јефтине методе ојачања.

У периоду јун-јул 2014 спроведена су експериментална тестирања 24 узорка зиданих зидова од блок опеке и бетонског блока и на основу нивоа аплицираног оптерећења и измјерених деформација утврђене су чврстоћа на притисак и модул еластичности. Такође, испитани су и ламинати направљени од материјала који су лако доступни на црногорском тржишту, а могу се користити као матрица или арматурна влакна у систему спољашњег ојачања зиданих зидова.

У току мјесеца децембра 2014 испитана су 22 узорка зиданих зидова у циљу утврђивања главних напона зетања у зидовима од блок опеке и бетонског блока зиданих у малтеру различитог састава и чврстоће на притисак. Испитивање је извршено аплицирањем силе притиска по дијагонали узорка. Након утврђених главних напона затезања одабрана су три узорка зида од блок опеке и три од бетонског блока. Узорци су ојачани „FRCM“ облогама, које су имале као матрицу „Betoprotekt RT“ и малтер направљен по сопственој рецептури. „FRCM“ облоге армиране су стакленом мрежицом „Ceresit CT 325“ у два и у три слоја. Након 28 дана од дана ојачавања, у јануару 2015, узорци зидова тестирани су поново аплицирањем притиска по дијагонали.

<sup>1</sup> Доц.др Жељка Радовановић, дипл.инж. грађ, Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет Подгорица, Цорца Вашингтона б.б, 81000 Подгорица, Црна Гора, tel: +382 20 244-905, e-mail: [radovanovic@t-com.me](mailto:radovanovic@t-com.me)

У раду ће бити дат приказ резултата тестирања ламината од различите врсте „FRCM“ композита на централно затезање, избор материјала за ојачање зидова, као и регистровани главни напони затезања на узорцима прије и након ојачања.

## 2. „FRCM“ КОМПОЗИТИ

### 2.1. Основне карактеристике материјала

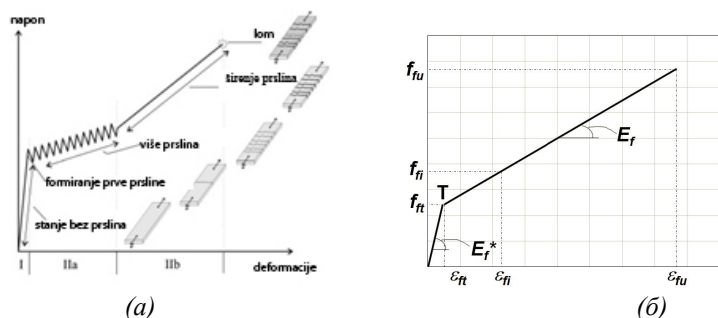
Друга генерација композитних система за спољашње ојачање бетонских и зиданих конструкција су „TRC“ (Textile Reinforced Concrete) композити. Naaman, [3], их је дефинисао као: „Бетоне код којих је матрица на бази цемента армирана са више слојева 2D или 3D текстила, при томе је најмање један слој текстила постављен на двијема спољашњим странама конструктивног елемента. Текстил може бити направљен од метала, синтетике, полимера, органских или неких других одговарајућих материјала. Финоћа цементне матрице и њен састав треба да буду компатибилни са текстилном арматуром коју треба сасвим да обухвате.“

„FRCM“ (Fabric-Reinforced Cementitious Matrix) композит је једна од подврста „TRC“ композита код којих се за арматуру користе „отворене“ тканине које се приликом ојачања најчешће постављају у два ортогонална правца. „FRCM“ композитни материјал се састоји од матрице на бази цемента (cement based matrix) и једног или више слојева арматуре-отворне мреже. Мрежа је израђена од влакана од: алкално отпорног стакла, арамидних, карбонских, PBO (polyaraphenylene benzobisoxazole PBO) или хибридних структура. Мреже, тканине „отворене“ структуре, омогућавају већу додирну површину влакана и матрице, и тако обезбијеђују боље композитно понашање система. Величина отвора мреже не би требало да буде већа од 2 cm, [2].

Влакна су компонента композита чија је улога да изврши ојачање система и преузму силе затезања након појаве прелина у матрици. Матрица има улогу да изврши дистрибуцију сила, узрокованих спољашњим или унутрашњим дејствима, на влакна, и истовремено да повеже „FRCM“ композит са елементом који се ојачава (у овом случају зидани зид).

Истраживачи наводе да би у случају „идеалне“ везе између цементне матрице и арматуре (текстил или влакна) дијаграм деформације-напон, при испитивању узорка композита на затезање изгледао као на слици 1 (а).

У стању I, без прелина, композит остаје еластичан и има крутост која одговара крутости матрице. Након формирања прве макро прелине оптерећење се преноси на влакна и она прихватају оптерећење до достизања чврстоће на затезање. Овакав механизам лома је могућ ако је обезбијеђено да влакна односно текстил не „проклизавају“ при тесту на затезање.



Слика 1. (а) Типичан одговор „FRCM“ композита при тесту на затезање, (б) Идеализовани дијаграм „FRCM“ ламината, [2]

Испитивање на затезање облоге вршено је према стандарду „AC434-13 Acceptance Criteria for Masonry and Concrete Strengthening Using Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Composite Systems, [1]. Циљ је одређивање идеализованог билинеарног дијаграма узорака „FRCM“ облога, слика 1 (б).

## 2.2. Избор „FRCM“ композита

Да бисмо одабрали „FRCM“ композите које ћемо користити као облоге за ојачање зидова, који су претходно испитани на дијагонални притисак, спроведена су испитивања различитих врста „FRCM“ композита са различитом матрицом и различитом врстом арматурне мреже. Испитивања су извршена у двије серије.

У првој серији испитивања, као матрице коришћени су материјали који се као сува мјешавина могу купити на тржишту: „Betonprotekt RT“ и „Ytong“ танкослојни малтер. Испитани су „FRCM“ ламинати у којима је нека од ових матрица армирана мрежама са стакленим влакнима,  $125\text{g/m}^2$  или рабиц мрежом,  $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ .

Вариран је и број мрежа у композиту, тако да је разматрано 7 различитих врста облога са следећим ознакама:

YG1 – „Ytong“-ов бијели танкослојни малтер са једним редом стаклене мрежице;

YG2 – „Ytong“-ов бијели танкослојни малтер са два реда стаклене мрежице;

BG1 – „Betonprotekt RT“ са једним редом стаклене мрежице;

BG2 – „Betonprotekt RT“ са два реда стаклене мрежице;

BC1 – „Betonprotekt RT“ са једним редом челичне, рабиц мреже;

BC2 – „Betonprotekt RT“ са два реда челичне-рабиц мреже;

BCG2 – „Betonprotekt RT“ са једним редом челичне- рабиц мреже и са једним редом стаклене мрежице.

### Испитивање матрице

Испитивање матрице од „Betonprotekt-a RT“ и „Ytong“ танкослојног малтера, на савијање и притисак, спроведено је у складу са стандардима: EN 1015-2: 2009 и EN 1015-11: 2009. Установљено је да „Betonprotekt RT“ има запреминску тежину од  $2070\text{kg/m}^3$ , чврстоћу на затезање услед савијања  $7.1\text{MPa}$  и чврстоћу на притисак

од 43.2 МПа. „Ytong“ танкослојни малтера има запреминску тежину од 1440 kg/m<sup>3</sup>, чврстоћу на затезање усљед савијања 1.8 МПа и чврстоћу на притисак од 4.8 МПа.

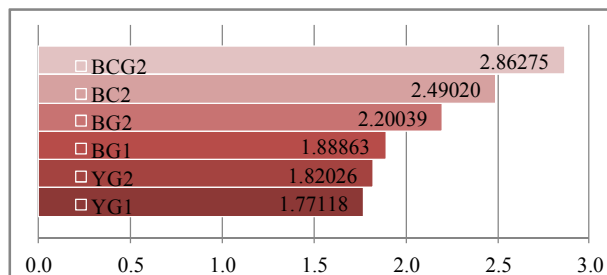
### Испитивање узорка ламината

Према америчком стандарду AC434-13, [1], дефинисање механичких карактеристика „FRCM“ система се врши на минимум 5 правоугаоних узорка облоге, добијених резањем „FRCM“ панела. Израда и испитивање једног узорка је приказано на слици 2.



Слика 2. „FRCM“ узорци: израда панела, резање, испитивање на затезање

Након испитивања седам серија ламината, са по пет узорка у серији, добијене су средње вриједности напона у ламинату при затезању, а њихове вриједности су приказане на слици 3.



Слика 3. Напон затезања у МПа за различите врсте „FRCM“ композита

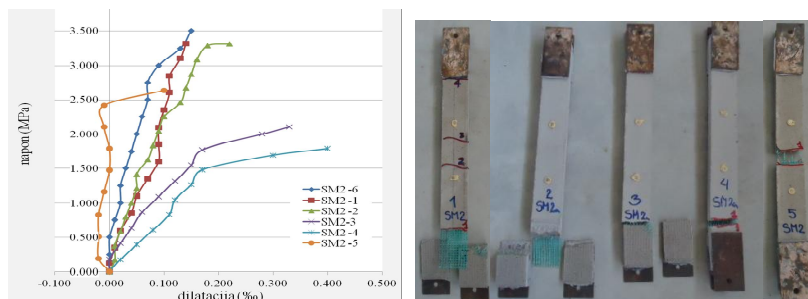
Након испитивања прве серије „FRCM“ композита установљено је сљедеће:

- Код YG2 узорка остварује се добра веза мрежице и матрице, али се достижу мале чврстоће на затезање. Лому узорка са „Ytong“ матрицом претходи клизање мрежице;
- Код узорка са матрицом од „Betonprotekt-а RT“ лом је ненајављен, крт и изненадан;
- Коришћена стаклена мрежица од 125 gr/m<sup>2</sup> није добар избор, јер има недовољну чврстоћу на затезање, те је неопходно користити јачу мрежицу. Стога су узорци зидова ојачани глас мрежицом од 160 gr/m<sup>2</sup> (Ceresit CT 325). ;
- Челична-рабиц мрежица због своје структуре клизи између слојева матрице, те није у стању да прихвати оптерећење након појаве прве прелине. Уградња ове мреже је знатно тежа него рад са стакленом мрежицом;

- Намеће се потреба прављења матрице од материјала који ће имати већу прионљивост са мрежицом, а чврстоћу на притисак и затезање мању од „Betonprotekt RT“. Стога је направљена сопствена малтерска мјешавина. Ознака ове врсте матрице на узорцима ламината и зидова је SM.

### Испитивање узорака ламината од сопствене малтерске мјешавине

Састав цементне матрице је од суштинског значаја за правилно функционисање и добре карактеристике „FRCM“ система. Састојци од којих је изграђена „SM“ матрица су: цемент, хидратисани креч, силикатна прашина, електрофилтерски pepeo, дробљена опека, фино гранулисани пијесак (фракција мања од 3mm) и вода. Додатак креча побољшава еластичност и обрадљивост и олакшава уграђивање. Након испитивања „SM“ матрице констатована је запреминска тежина од 1986 kg/m<sup>3</sup>, чврстоћу на затезање услед савијања 5.7 МПа и средња чврстоћа на притисак од 26.6 МПа.



Слика 4. Дијаграм „дилатације-напони затезања“ у узорцима са „SM“ матрицом

Треба истаћи да је приликом испитивања матрице од „Betonprotekt RT“, који је уграђен као матрица у облоге за ојачање, констатована запреминска тежина од 2149 kg/m<sup>3</sup>, чврстоћу на затезање услед савијања 6.5 МПа и средња чврстоћа на притисак од 50.8 МПа.

### 3. ОЈАЧАВАЊЕ ИСПУЦАЛИХ ЗИДОВА „FRCM“ КОМПОЗИТА

Одабрани узорци зидова од блок опеке и бетонског блока, претходно испитани на дијагонални притисак, ојачани су различитим „FRCM“ облогама: „В 1.5“ (матрица од „Betonprotekt-а RT“ дебљине 1.5 cm, ојачан са двије глас мрежице; „В 2“ матрица од „Betonprotekt-а RT“ дебљине 2.0 cm, ојачан са двије глас мрежице и у средини облоге дијагонално; „SM 2“, сопствени малтер, у четири слоја, укупне дебљине 2.0 cm, ојачан са двије глас мрежице и у средини облоге дијагонално. На слици 5 приказана је израда једног од тестираних „FRCM“ система.



Слика 5. Ојачавање зида од блок опеке, „FRCM“ систем „SM 2“

#### 4. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА ЗИДОВА

У табели 1 приказана је чврстоћа на смицање прије ојачања зидова од блок опеке (ознака IM) и бетонског блока (ознака BM) и испуцалих зидова који су ојачани различитим врстама „FRCM“ системима.

Табела 1. Чврстоћа на смицање зидова прије и након ојачања

Ознаке узорка зида	Напон $\tau_i$ - чврстоћа на смицање (MPa)	Ознаке узорка зида	Напон $\tau_i$ - чврстоћа на смицање (MPa)
IM1-1	0.69	BM1-3	0.82
IM1-1 B 1.5	<b>1.09</b>	BM1-3 B 1.5	<b>1.72</b>
IM1-3	0.63	BM1-2	0.76
IM1-3 B 2	<b>1.87</b>	BM1-2 B 2	<b>2.03</b>
IM3-2	0.64	BM3-3	0.80
IM3-2 SM 2	<b>1.26</b>	BM3-3 SM 2	<b>2.25</b>

Након упоређења резултата тестирања утврђено је да се носивост на смицање испрсканих зидова ојачаних „FRCM“ системима значајно повећала, и то од два до три пута у односу на неиспрскале зидове.

#### 5. ЗАКЉУЧАК

„FRCM“ систем ојачања представља нову технологију ојачања, за коју се предвиђа да ће постати уобичајен начин санације зиданих, али и бетонских конструкција. Испитивања презентирана у овом раду потврђују висок допринос облоге у подизању носивости ојачаних зидова. У неком наредном истраживању додатно би требало радити на побољшању својства прионљивости матрице, као и детаљније истражити реолошке карактеристике материјала.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] AC434-13 Acceptance Criteria for Masonry and Concrete Strengthening Using Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Composite Systems, **2011**,
- [2] Arboleda, D.: *Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Composites for Infrastructure Strengthening and Rehabilitation: Characterization Methods*, A Dissertation, University of Miami, **2014**,
- [3] Naaman, N.: Textile reinforced cement composites: Competitive status and research directions. *International RILEM Conference (MatSci) I*, **2010**, pp. 3-22.

## STRENGTHENING OF BRICK AND CONCRETE BLOCK WALLS WITH FRCM COMPOSITES

**Summary:** *This paper presents experimental research of masonry walls strengthened with "FRCM" composites. After testing on the diagonal compression samples of the walls are strengthened with selected types of "FRCM" composites. Retesting strengthened walls was found that to shear capacity of the walls was considerably increased.*

**Keywords:** *masonry structures, experiment, strengthening, "FRCM" composites*