



Получена: 20.03.2019 г.

Приета: 29.07.2019 г.

## ИЗПЪЛНЕНИЕ НА ОБРАЗЦИТЕ И ПОДГОТВИТЕЛНИ ДЕЙНОСТИ ПРЕДИ ДИНАМИЧНИ ИЗПИТВАНИЯ

Е. Абдулахад<sup>1</sup>, Е. Махмуд<sup>2</sup>

*Ключови думи:* Динамично изпитване, Еврокод 6, зидани конструкции, Еврокод 8

### РЕЗЮМЕ

В научноизследователския проект се изследва сеизмичното поведение на три различни образца с натурни размери, изпълнени съгласно изискванията на Еврокод 6 и Еврокод 8. Първата фаза от проекта е насочена към изпълнението на опитните образци и подготвителни дейности за реализиране на експеримента. Динамичните изпитвания на образците преди и след усилване с полимери, подсилени със стъклени влакна (GFRP), ще се осъществят във втората фаза на проекта в Института по земетръсно инженерство и инженерна сеизмология (IZIIS), намиращ се в гр. Скопие. Сеизмичните въздействия ще бъдат симулирани с вибрационна платформа (shaking table).

### 1. Въведение

В научноизследователския проект се разглежда актуален проблем, свързан със сеизмично осигуряване на масово използвани у нас и в света конструкции с оброчена зидария. Върху поведението на зиданите стени при сеизмични въздействия съществено влияние оказва както наличието, така и местоположението на отворите.

Целта на проектното предложение е да се изследват особеностите на зиданите конструкции при сеизмични въздействия при наличие на отвори в зидарията и търсене на подходящи системи, с които да се подобри носимоспособността, коравината и дуктилността им.

---

<sup>1</sup> Емад Абдулахад, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: georgosing@gmail.com

<sup>2</sup> Емин Махмуд, инж., докторант, кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: dipl.ing.eminmahmud@gmail.com

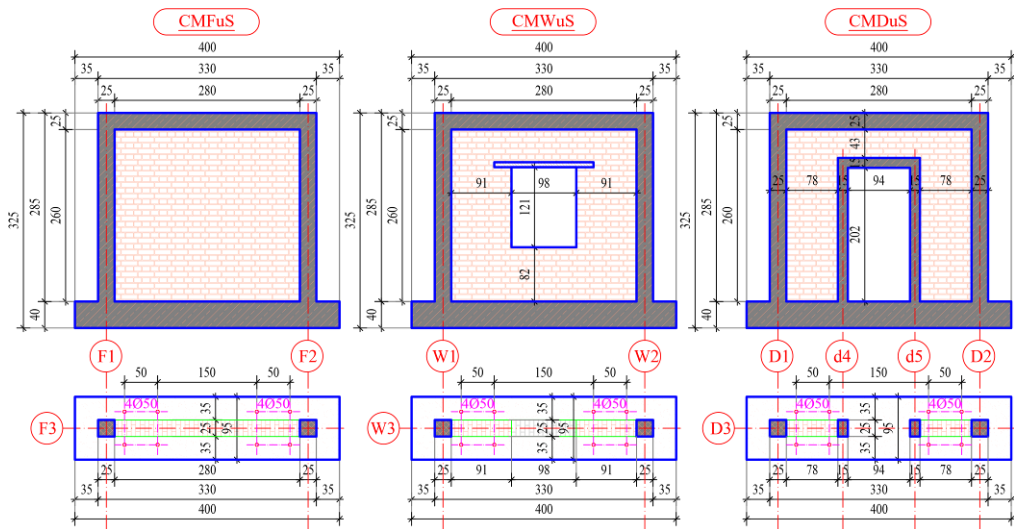
Освен това проектното предложение има отношение и към още един важен за строителната практика проблем, свързан с подходяща и съвременна методология за усилване и/или възстановяване на съществуващи сгради със зидани конструкции.

## 2. Обхват на натурния експеримент

За изследване на сеизмичното поведение на обрамчени и неармирани зидани стени преди и след усилване е подготвена експериментална програма, включваща три броя опитни образци. Изпитването на образците ще бъде в сеизмична платформа на два етапа – преди и след усилване на трите стени. По този начин ще се проведат общо шест изпитвания в Института по земетръсно инженерство и инженерна сеизмология (IZIIS), намиращ се в гр. Скопие, Република Северна Македония. Стените ще бъдат подложени на хоризонтално динамично натоварване в тяхната равнина.

### 2.1. Характеристики на опитните образци

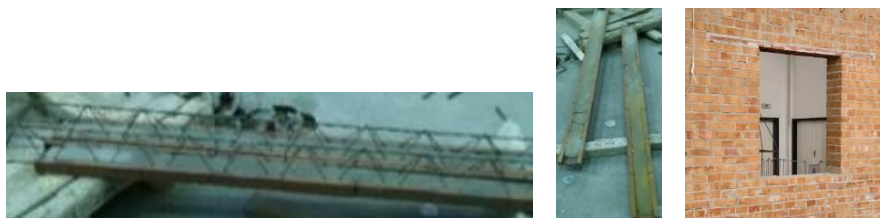
Изпълнени са три обрамчени и неармирани зидани стени със и без наличие на отвор в тях. Изпълнените стени са в мащаб 1:1, т.е. изследваните образци са с натурни размери. Зидарията е с дебелина 25 см, дължина 280 см и височина 260 см. Размерите на обрамчената зидана стена са: дебелина 25 см, дължина 330 см и височината, мерена от горен ръб фундамент, е 285 см (вж. фиг. 1). Под цялата стена е предвиден ивичен фундамент с размери 400/95/40 см. Във фундамента са предвидени 8 отвора с диаметър 50 mm, които са за фиксиране на образците към платформата.



Фиг. 1. Геометрични размери на изпитните образци

Образецът CMFuS е без наличие на отвор, докато CMWuS и CMDuS са с наличие на отвор, съответно отвор за прозорец и отвор за врата. Светлите размери на вратата са 94/202 cm и има площ 1,90 m<sup>2</sup>, което прави 20,19% от цялата площ на стената. Светлите размери на прозореца са 98/121 cm и има площ 1,19 m<sup>2</sup>, което прави 12,61% от цялата площ на стената (вж. фиг. 1).

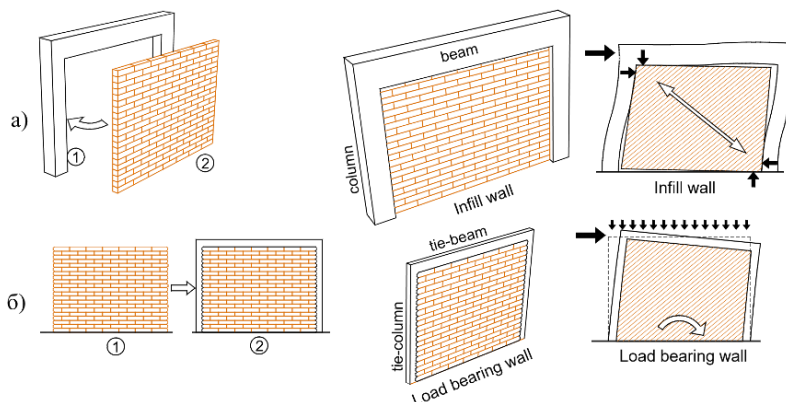
Вертикалните и хоризонталните обрамчващи стоманобетонни елементи са със сечение  $25 \times 25$  cm. От двете страни на отвора за врата, която има площ по-голяма от  $1,50 \text{ m}^2$ , съгласно изискванията на [1, 2] са поставени вертикални ограничаващи елементи – вертикалните са със сечение  $15 \times 25$  cm, а хоризонталният –  $20 \times 25$  cm. Площта на прозореца е по-малка от  $1,50 \text{ m}^2$  и [1, 2] допуска да няма вертикални ограничаващи елементи. За премостване на светлия отвор на прозореца е използван предварително изпълнен в заводски условия шурц от керамична обвивка, предварително армиран и специален бетонов пълнеж (фиг. 2).



Фиг. 2. Шурц за премостване на светлия отвор на прозореца

## 2.2. Изпълнение на опитните образци и използвани материали

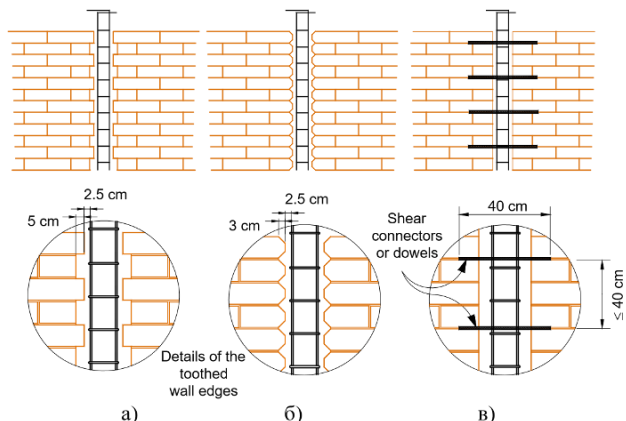
Външният вид на завършена обрамчена зидана конструкция и стоманобетонна рамкова конструкция с пълнежна зидария може да изглежда еднакъв, но тези две конструктивни системи са значително различни. Основните разлики се отнасят до 1) последователността на изпълнение, 2) размерите на обрамчващите елементи и 3) начина, по който тези конструкции се съпротивяват на вертикалните и хоризонталните въздействия – вж. фиг. 3.



Фиг. 3. Сравнение между СтБетРК с пълнежна зидария (а) и конструкция от обрамчена зидария; (б) последователност на изпълнение, размери на обрамчващите елементи и съпротивление срещу въздействия [3]

Сеизмичното поведение на обрамчени зидани стени може да се обясни със съчетаното действие на зиданата стена и съседни обрамчващи стоманобетонни елементи. Това комбинирано действие се дължи на връзката между зидания панел и вертикалните обрамчващи елементи (една от основните характеристики на конструкциите от обрамчена зидария). При изпълнението на опитните образци е спазена следната последователност: изпълнение на фундамента, после на зидарията и най-накрая обрамчващите стома-

нобетонни елементи. Еврокод 1998-1 [2] изисква, за да се получи ефективна връзка между ограничаващите елементи и зидарията, бетонът в ограничаващите елементи да бъде излят след изграждане на зидарията. Доста изследователи [3 – 6] препоръчват връзката между обрамчващите елементи и зидарията да бъде чрез назъбвания, а при липсата на назъбване, комбинираното действие да се осигури чрез хоризонтални армировки (дюбели) – вж. фиг. 4.



**Фиг. 4. Варианти за връзка между ограничаващите елементи и зидарията [3]**

При изпълнение на образците CMFuS и CMWuS връзката между обрамчващите елементи и зидарията е чрез назъбвания, докато при образец CMDuS е без назъбвания, но за всичките стени са спазени последователностите на изпълнение – вж. фиг. 5.



**Фиг. 5. Връзка между ограничаващите елементи и зидарията: стена CMFuS и CMWuS с назъбвания, а в стена CMDuS без назъбване**

При изпълнението на образците са спазени изискванията на Еврокод 6 и Еврокод 8 [1, 2, 7, 8]. Блоковете за зидария се застъпват в съседните редове, така че стената да действа като един конструктивен елемент. Еврокод 8 [2] допуска три алтернативни класа на фугите в местата на превръзките: изцяло запълнени с разтвор фуги, незапълнени с разтвор фуги и незапълнени с разтвор фуги с механична връзка между елементите на зидарията. При изпълнението на стените, които поемат сеизмични въздействия, вертикалните напречни фуги се запълват изцяло с разтвор. Хоризонталните и перпендикулярните фуги, направени от обикновен разтвор, са с дебелина, не по-малка от 6 mm и не по-голяма от 15 mm – вж. фиг. 6.



Фиг. 6. Дебелина на фугите и запълване на вертикалните фуги

През месец декември 2018 г. опитните образци бяха изпълнени в лабораторията на Института по земетръсно инженерство и инженерна сеизмология (IZIIS) – вж. фиг. 7. До осъществяването на експеримента опитните образци са оставени в лабораторията.



Фиг. 7. Изпълнени опитни образци

### 2.2.1. Блоковете за зидария

Използваните в експеримента глинени блокове за зидария са от Група 1, съгласно БДС EN 1996-1 [1], с общ обем на всички отвори 0%. Блоковете имат размери 250/12/60 mm, вж. фиг. 8. За определяне на механичните характеристики на блоковете са взети четири броя тухли. Вариацията в якостта на тухлите е по-малка от 25%. Всички резултати влизат в определянето на нормализираната им якост. Осреднената якост на натиск на блокове за зидария е 17,90 МРа.



Фиг. 8. Използвани материали – блокове и разтвор за зидария и армировъчна стомана

### 2.2.2. Разтвор за зидария

За изготвяне на разтвор е използван *Усјемал Сидарски цемент МС5* на фирма *Цементарница УСЈЕ АД Скопје* – вж. фиг. 8. Представява хидравлично свързващо вещество с висока степен на пластичност и дълготрайност. Минималното съдържание на клинкер е 25%, а останалите основни съставки са варовик, пясък, 1% естествен гипс (за контролиране на свързването) и химически добавки. За определяне на механичните

характеристики на разтвора за зидария са взети три броя призми с размер 160/40/40 mm. Очакваният клас на разтвора е между M5 и M15.

### 2.2.3. Бетон за обрамчващите елементи

Якостта на натиск на бетона, който е използван за вертикалните и хоризонталните обрамващи елементи е определена по разрушителни и безразрушителни методи. За определяне на механичните характеристики на бетона са взети три броя кубчета с размер 100/100/100 mm при изливане на трите опитни образеца на 15.12.2018 г.

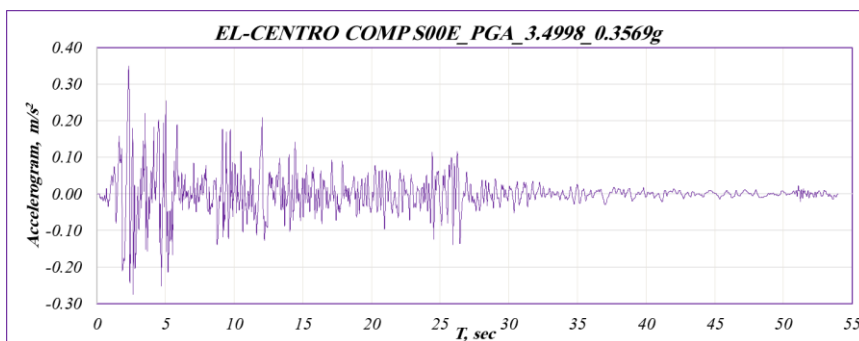
### 2.2.4. Армировъчна стомана за обрамчващите елементи и за фундамент

Надлъжната армировка в ограничаващите елементи съгласно [2, 8, 9] е взета с напречно сечение, по-голямо от 300 mm<sup>2</sup> и от 1,00% от напречното сечение на ограничаващите елементи. Надлъжната армировка в обрамващите елементи с размери 25×25 cm е 4Ф14, а в обрамващите елементи около врата е 4Ф12. Дължината на застъпване на надлъжната армировка е 60 пъти диаметъра. Предвидените стремежа около надлъжната армировка са с диаметър 8 mm през 100 mm и 150 mm. Армировъчната стомана е клас В съгласно [10].

## 3. Схема на натоварване

Опитните образци ще бъдат подложени на хоризонтално динамично натоварване в тяхната равнина. Сеизмичните въздействия ще бъдат симулирани с вибрационна платформа. Освен собствено тегло на образците се предвижда допълнително вертикално натоварване чрез чугунени тежести.

Най-големите предимства на динамичните изпитвания са свързани с това, че от една страна позволяват изследване/изпитване на конструкция или фрагмент от нея в реални мащаби, и от друга страна възможността да се използва широк спектър от симулирани земни движения, допринася за по-реалното симулиране на сеизмично поведение на конструкцията.



Фиг. 9. Акселерограма от земетресението в El-Centro, Калифорния, през 1940 г.  
El-Centro comp S00E PGA = 0,3569 g

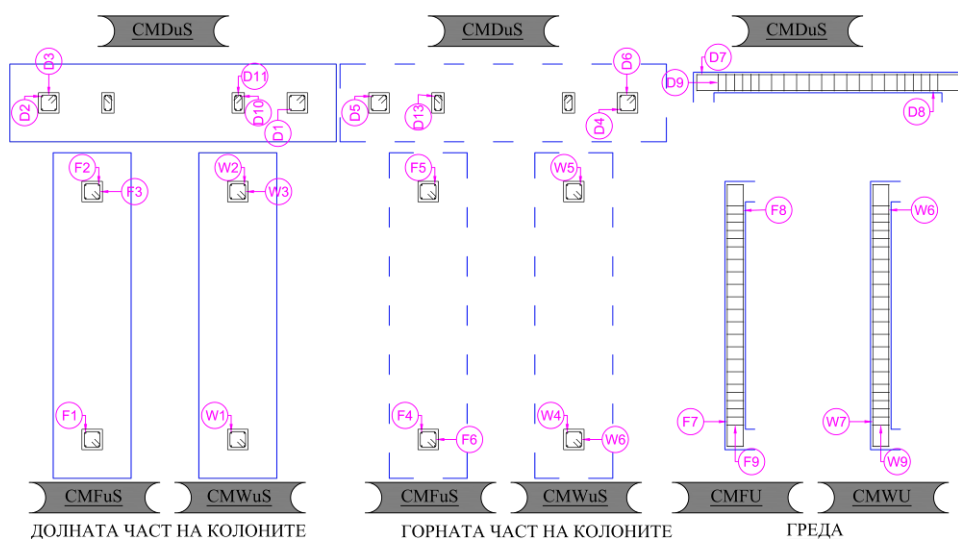
Ще се използва акселерограмата от земетресението в El-Centro, Калифорния, през 1940 г. (вж. фиг. 9). Характерното за тази акселерограма е продължителността, интензивността и типа на земната основа, която е скала. Динамичните изпитвания са на етапи

с увеличаване на ускорението, скалиране (мащабиране) на реалната акселерограма от земетресението в El-Centro, както и използване на хармонични (harmonic) и случайно (random) генерирани.

#### 4. Отчитане на резултати

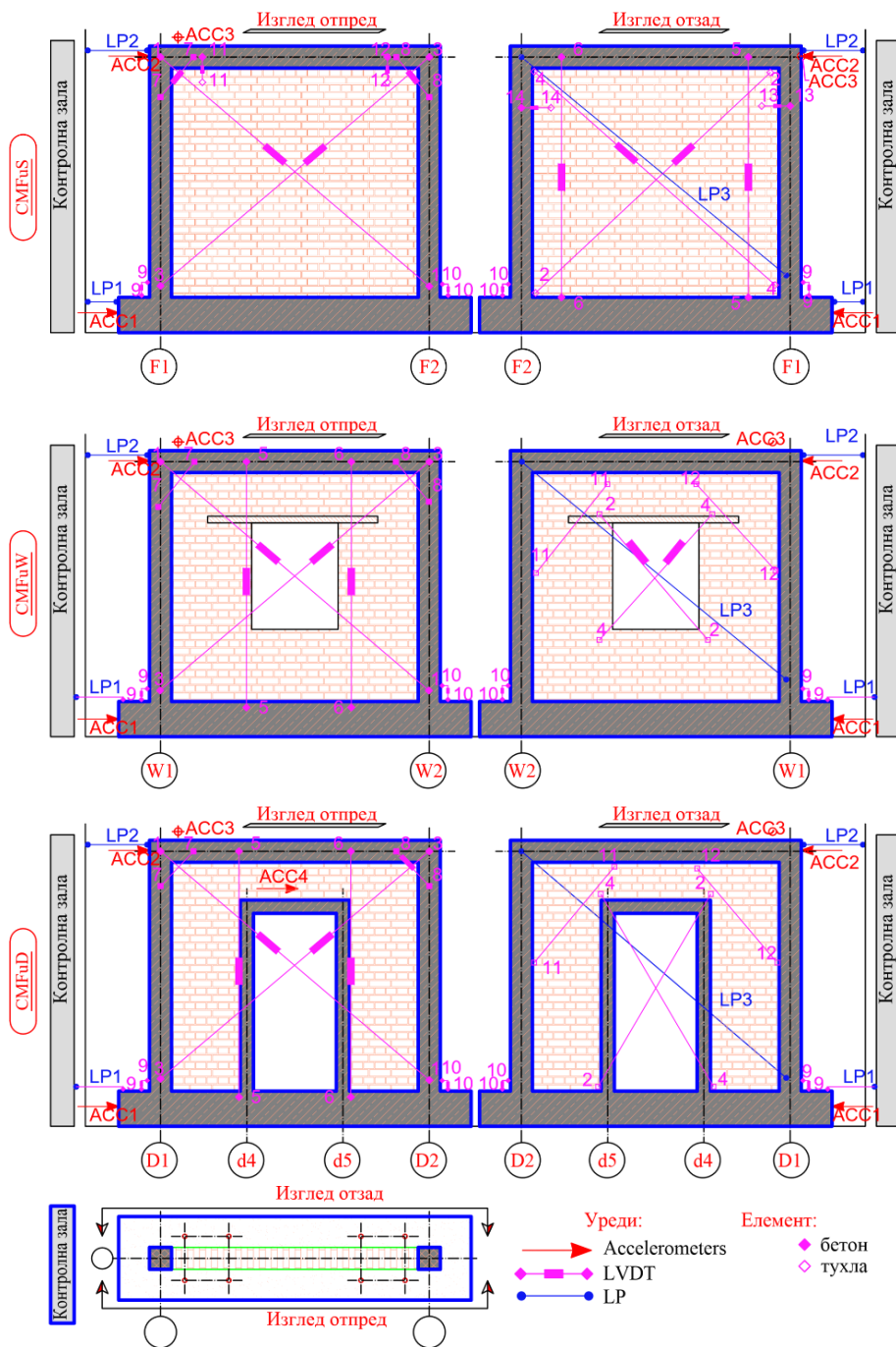
По време на изпитването ще се използват уреди и апаратури, осигуряващи информация за ускорения, премествания, деформации и напрежения в избрани нива и точки. Една част от тях ще осигуряват информация за обрамчващите елементи, а друга част – за зидарията. Уредите, които ще бъдат използвани, са електросъпротивителни деформоприемници (strain gages, SG), акселерометри (accelerometers, ACC), линейни потенциометри (linear potentiometer, LP), преобразуватели за премествания (linear variable differential transformer, LVDT) и др.

На фиг. 10 е показана схемата на разположение на електросъпротивителните деформоприемници в образците. За събиране на необходима информация за деформациите в армировките на определени места и армировъчни пръти са поставени електросъпротивителни деформоприемници. Те са поставени както в надлъжната, така и в напречната армировка. Използваните електросъпротивителни деформоприемници са Strain gages KFC-2-C1-11 на фирма KYOWA electronic instruments Co., Ltd. Общият им брой е 30 – в образец CMFuS и CMWuS по 9 броя, а в образец CMDuS – 12 броя.



Фиг. 10. Схемата на разположение на електросъпротивителните деформоприемници

На фиг. 11 е показана схемата на разположение на акселерометрите (ACC), линейните потенциометри (LP), преобразуватели за премествания (LVDT). Във всяка стена на три нива ще се поставят акселерометри за следене на ускоренията по време на експеримента – на горен ръб фундамент, над вратата и прозореца, и на ниво хоризонталния обрамчващ елемент. Тези акселерометри ще следят ускоренията във и извън равнината на стените. Поставеният на ниво горен ръб фундамент акселерометър има за цел да следи дали има приплъзване между вибрационната платформата и образците, т.е. дали образецът е идеално фиксиран по време на експеримента към вибрационната платформа.



Фиг. 11. Схемата на разположение на акселерометрите (ACC), линейните потенциометри (LP), преобразуватели за премествания (LVDT)

## 5. Заключение

За изследване на сеизмичното поведение на зидани конструкции са изпълнени три образеца, при спазване на изискванията на Еврокод 6 и Еврокод 8 [1, 2, 7, 8]. Тези образци представляват стени, изпълнени от оброчена и неармирана зидария. Два от образците са с наличие на отвор, а третият е без наличие на отвор. Изборът на вида на образците е продиктуван от необходимостта от изследване на влиянето на наличието на отвор в стените върху сеизмичното им поведение.

Като спазиме изискванията на Еврокод [1, 2] за вертикално оброчване на отворите се наложи оброчване на образец CMDuS около вратата с вертикални и хоризонтални елементи. При стена CMWuS са изпълнени изискванията за Еврокод [1, 2] и отпада необходимостта от вертикални оброчващи елементи около прозореца. В тази стена е използван щурц за преместване на отвора. Ще се изследва по какъв начин оказва влияние наличието и липсата на вертикално оброчване около отворите върху сеизмичното поведение.

При изпълнението на образците е спазена последователността на изпълнение, отличаваща оброчените зидани конструкции от стоманобетонни конструкции с пълнежна зидария. Връзката между зидарията и вертикалните оброчващи елементи е чрез назъбване в две от стените – CMFuS и CMWuS, докато в образец CMDuS е без назъбване. Ще се следи влиянието на връзката между вертикалните оброчващи елементи със зидарията.

Чрез усилване на изпитаните образци с GFRP ще се анализират начините за подобряване на носимоспособността, коравината и дуктилността им.

## Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор Д-111/2018 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране (ЦНИП) при УАСГ. Искаме да изкажем голямата си благодарност и признателност към ЦНИП.

Изказваме голяма благодарност и признателност на фирма „Баумит България“ ЕООД за оказаната финансова подкрепа за успешното реализиране на експеримента.

Бихме искали да изразим благодарността си към екипа на фирма „Шпици Строй“ ЕООД и „Agcon Construction“ за показаното им високо качество и професионализъм по време на изпълнението на образците.

Искаме да изкажем голяма благодарност на всички колеги от Института по земемерно инженерство и инженерна сеизмология (IZIIS) за техния висок професионализъм, както и за тяхната постоянна подкрепа.

На последно място, но не по значимост, бихме искали да благодарим на екипа на проектантско бюро „Емил Крумов & Ко“ ООД за тяхната огромна подкрепа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1996-1-1. 2005, Еврокод 6. Проектиране на зидани конструкции. Част 1-1: Основни правила. Основни правила и правила за сгради.

2. БДС EN 1998-1. 2006, Еврокод 8. Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия. Част 1: Основни правила, сеизмични въздействия и правила за сгради.

3. *Brzev, S., Meli, R.* International Guideline for Seismic Design of Low-Rise Confined Masonry Buildings in Regions of High Seismic Risk. // The 15th World Conference on Earthquake Engineering, 2012.

4. *Jain, S. K. et al.*, Confined Masonry for Residential Buildings. Indian Institute of Technology Gandhinagar, 2015.

5. *Singhal, V., Rai, D.* Role of Tothing on In-Plane and Out-of-Plane Behavior of Confined Masonry Walls. // Journal of Structural Engineering, 2014.

6. *Singhal, V., Rai, D.* Seismic Behavior of Confined Masonry Walls When Subjected To in-Plane and Out-of-Plane Loading. // Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 2014.

7. БДС EN 1996-1-1/NA. 2015, Еврокод 6. Проектиране на зидани конструкции. Част 1-1: Основни правила. Основни правила и правила за сгради. Национално приложение.

8. БДС EN 1998-1/NA. 2012, Еврокод 8. Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия. Част 1: Основни правила, сеизмични въздействия и правила за сгради. Национално приложение.

9. *Баракова, Н., Бараков, Т.* Зидани конструкции Еврокод 6. Непрекъснато усъвършенстване ООД, 2014, ISBN 978-619-90147-5-2

10. БДС EN 1992-1-1. 2005, Еврокод 2. Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради.

## **IMPLEMENTATION OF SAMPLES AND PREPARATORY ACTIVITIES BEFORE DYNAMIC TESTS**

**E. Abdulahad<sup>1</sup>, E. Mahmud<sup>2</sup>**

**Keywords:** *dynamic test, Eurocode 6, confined masonry, Eurocode 8*

### **ABSTRACT**

The research project investigates the seismic behaviour of three different samples of natural dimensions, implemented according to the requirements of Eurocode 6 and Eurocode 8. The first phase of the project is focused on the implementation of the experimental models and preparatory activities for the realization of the experiment. Dynamic testing of samples before and after amplification with glass fiber reinforced polymers (GFRP) will take place in the second phase of the project at the Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS), located in Skopje. The seismic impacts are simulated with a shaking table.

---

<sup>1</sup> Emad Abdulahad, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirrenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: georgosing@gmail.com

<sup>2</sup> Emin Mahmud, Eng., PhD Student, Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirrenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ez.mahmud@gmail.com