

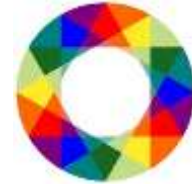
ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П. Фах 560, 1001 Скопје
Северна Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,
P. Box 560, 1001 Skopje
North Macedonia

subj.-no.



mase@gf.ukim.edu.mk
<http://mase.gf.ukim.edu.mk>

ЗАЈАКНУВАЊЕ НА СИДАРИЈА СО КОНСТРУКТИВНО ПРЕФУГИРАЊЕ-ПРОЕКТ СТРЕП

Елена ДУМОВА-ЈОВАНОСКА¹, Сергеј ЧУРИЛОВ², Вероника ШЕНДОВА³, Лидија
КРСТЕВСКА⁴, Бојан ДАМЧЕВСКИ⁵, Диме ЈАНЧЕВ⁶

АПСТРАКТ

Во овој труд е претставен тековен проект кој опфаќа експериментални испитувања базирани на механичките карактеристики на два типа малтери за префугирање, едниот репаратурен малтер на цементна основа со додаток на фибри, Репаратур Малтер Ф3, а другиот варов малтер со додаток на кршена полна тула. Во експерименталниот програм ќе бидат опфатени испитувања на јакост на еднооксијален притисок и затегнување на полна тула и призми од варов и Репаратур малтер, како и еднооксијален и дијагонален притисок на зајакнати и незајакнати експериментални сидови. Главната цел на испитувањето е споредба на однесувањето на експерименталните сидови, гледано од аспект на отпорноста на смолкнување, како и утврдување на ефектот на методот за зајакнување на сидани конструкции во полза на донесување препораки и мерки за заштита на постоечките сидани објекти под влијанија од земјотрес.

Клучни зборови: Сидарија; зајакнување, префугирање, варов малтер, репаратур малтер, експеримент

¹ Проф. д-р, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Градежен факултет, Скопје, Р. Северна Македонија, dumova@gf.ukim.edu.mk

² Вон. проф. д-р, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Градежен факултет, Скопје, Р. Северна Македонија, curilov@gf.ukim.edu.mk

³ Проф. д-р, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, ИЗИИС, Скопје, Северна Македонија, veronika@iziis.ukim.edu.mk

⁴ Проф. д-р, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, ИЗИИС, Скопје, Северна Македонија, lidija@iziis.ukim.edu.mk

⁵ АДИНГ А.Д. Скопје, Северна Македонија, bojan@ading.com.mk

⁶ АДИНГ А.Д. Скопје, Северна Македонија, jancev@ading.com.mk

1. ВОВЕД

Заедно со дрвото како конструктивен материјал, сидаријата претставува најстар градежен материјал кој што сеуште се користи во градежништвото. Техниката на поставување камени или блокови од тула еден над друг, без или со присуство на врзен материјал (малтер) се покажала како многу успешна, а главно се оправдува со нејзината едноставност и долготрајност на конструкциите. Како основни материјали кои се користеле при изработка на сиданите конструкции биле природниот камен и тулите. Техниката на сидање на елементите од сидарија не се разликува многу со денешната, но затоа пак материјалот од кој што се градат конструктивните елементи од сидарија, како и врзниот материјал (малтерот) со текот на времето претрпел поголема еволуција.

Главни предности на сиданите конструкции во однос на останатите типови конструкции се: достапност на материјалот, природен-еколошки материјал, лесна изведба без употреба на специјална механизација, добра термичка и звучна изолација, висока отпорност на пожар, долготрајност и издржливост на конструкциите. Клучни недостатоци кај сиданите конструкции се: значителна волуменска тежина, мала јакост на свиткување/затегнување, ограничување во однос на градежната висина и распони, чувствителност на атмосферски и хемиски влијанија како што се мраз, сол и мала отпорност на хоризонтални товари како што се земјотреси, експлозии и сл.

Сиданите конструкции главно може да бидат изведени од неармирана врамена или армирана сидарија. Особено неармираната сидарија претставува најчесто употребуван материјал за градење во минатото насекаде во светот. По случените земјотреси во минатото, забележано е дека овие конструкции се едни од најповредливите типови на конструкции, во однос на случените жртви и материјални штети, сл. 1. Иако претставува една од најстарите материјали за градење, во однос на својата јакост и деформациони својства спаѓа во една од најмалку проучените области од градежништвото. Моментално, повеќе важност се придава на проучување на повредливоста на армирано-бетонските конструкции, затоа што тие се едни од најчесто градените конструкции во изминатите години. Меѓутоа, подеднакво важна е и анализата за сеизмичка повредливост на објектите изведени од сидарија. Повредливоста се дефинира како степен на склоност на конструкцијата да претрпи одреден тип на штета под влијание на одредени услови. Функција на повредливост на една конструкција се дефинира како очекувано ниво на штети во функција од сеизмичкото движење на почвата.



а) Скопје, 1963 год.
M=6.1, I=IX (MSC)



б) Емилија Ромања, Италија, 2012 год.
M=6.1, I=VII (MSC)

Сл. 1. Ефекти од случени земјотреси врз сидани згради

Проценката на сеизмичките оштетувања претставува област која што многу бргу се развива. Потребата од ефикасна и доверлива проценка на социо-економското влијание на земјотресите се истакнува по појава на големи земјотреси насекаде во светот. Напредокот на технологијата допринесува за развивање на алатки за проценка на оштетувањата и сеизмичката повредливост на објектите. Исто така, со искуствата стекнати од неодамнешните земјотреси се обезбедуваат повеќе корисни податоци потребни за развивање на модели за подобра проценка на однесувањето на конструкциите со цел да се оценат економските загуби кај објектите, како и социјалните последици како што се жртвите и потребите за вонредно сместување на настраданите. Различните методи за проценка на сеизмичката повредливост на конструкциите се разликуваат во однос на трошоците и прецизноста. Помеѓу нив припаѓаат методи кои што се базираат на набљудувана повредливост, повредливост базирана на мислења на експерти, аналитички пристапи базирани на едноставни модели, детални постапки за проценка и анализа (статички и динамички, линеарни и нелинеарни).

По констатираната повредливост за сеизмички оштетувања на постоечките конструкции, вообичаено се проектираат и применуваат различни концепти за санација и зајакнување на сиданите конструкции. Во овој смисол под санација се подразбира поправка на штетите предизвикани од земјотрес при што сеизмичката носивост на конструкцијата се доведува до ниво пред оштетувањето. Од друга страна, под сеизмичко зајакнување се подразбираат збир од технички мерки што се применуваат на конструктивниот систем со кои што се зголемува сеизмичка отпорност преку зголемување на неговата носивоста, дуктилност или взаемно и двата параметри. Поделбата на мерките за санација и зајакнување се прави според елементите на кои што се изведува, и тоа:

- Мерки на одделни конструктивни елементи
- Мерки на цела конструкција

Критични точки во проектирањето и примената на мерките за санација и зајакнување се: (1) зајакнувањето на одделни елементи не смее да ја наруши распределбата на сеизмичките влијанија на елементите, (2) мерките не треба да предизвикаат воведување торзиони ефекти или нерегуларности во тоновите форми на осцилации и (3) мерките да овозможат поволно однесување на целиот конструктивен систем од сеизмички аспект преку контрола на дуктилноста и способноста за дисипација на енергијата.

Изборот на методи за санација и зајакнување се базира на потребата применетите методи за зајакнување да обезбедат потребен степен на сеизмичка носивост за што се потребни и експериментални испитувања и контроли на ефикасноста на предложените технички решенија. Не помалку важно е избраното техничко решение да биде едноставно и економично за изведба. Во случај на интервенции кај историски споменици, предложените мерки треба да ги исполнуваат основните услови за реставрација и конзервација на културните споменици.

Во методи за санација и зајакнување на одделни конструктивни елементи, најчесто применувани се:

- Инјектирање на пукнатини
- Префугирање на фугите со цементен малтер
- Обложување на сидовите со армирано бетонска облога (жакет) од една или две страни на сидовите
- Инјектирање со цементна, прилагодена цементна или епоксидна смеса
- Преднапрегање на сидовите во вертикален и хоризонтален правец
- Реконструкција (пресидување) на најоштетените делови од сидовите.

Во мерки за санација и зајакнување на цела конструкција се вбројуваат:

- Поврзување на сидовите со челични затеги или АБ серклажи
- Замена, вкртување и анкерување на меѓукатните конструкции
- Зајакнување на аглите од сидовите и зоните на вкрстување на сидовите
- Зајакнување на сидовите со вертикални елементи за врамување
- Зајакнување на темели

- Зајакнување со полимерни/композитни материјали

Покрај тоа што во светот и кај нас постојат експериментални и аналитички истражувања на ефектот на методите за санација и зајакнување, процесот на зајакнување на сиданите конструкции, посебно во праксата кај нас, се сведува најмногу на инженерското и искуството на работниците. Ова посебно како лекции научени како последица од некое земјотресно влијание, а помалку како експериментално лабораториско истражување.

Поради тоа, мотивацијата за ова истражување доаѓа од потребата за проучување на однесувањето на зајакната сидарија со една од традиционалните методи за санација и зајакнување, методот на префугирање, сл. 2. Дополнително, истражувањето е мотивирано и од недостаток на параметри за физичко-механички карактеристики на ваквата сидарија како композитен материјал, но и со потребата од зголемување на базата на експериментални резултати.

Во остварување на зададеното, одлучено е да се проучува одговорот на конструктивни елементи од сидарија при дејство на симуирани сеизмички влијанија. Исто така, голем дел од сидани градби во нашата земја се со културно, историско и религиозно значење, па оттука доаѓа и мотивот за избор на методот за префугирање како метод што лесно може и практично да се аплицира онаму каде што ќе се процени дека е соодветен за примена.

2. ЦЕЛИ НА ПРЕДЛОЖЕНОТО ИСТРАЖУВАЊЕ

Предмет на истражување во овој научно-истражувачки проект се сиданите конструкции, поточно проучување и експериментално испитување на еден од традиционалните методи за зајакнување на сиданите конструкции, методот на префугирање, со употреба на традиционални и современи материјали.

Во нашата земја, како сеизмички активен регион, постојат голем број на стари градби изградени од нехомоген материјал и главно анализирани на влијание од вертикални товари. Кај овој тип градби со примена на традиционалниот пристап за анализа на постоечките сидни конструкции не може да се докаже стабилноста на самата конструкција. Современите методи за зајакнување на сиданите конструкции бараат и примена на современи материјали за зајакнување на истите, а при тоа да не дојде до нарушување на конструктивниот систем на објектот. Од друга страна, традиционалните методи за зајакнување бараат помалку ресурси, поедноставни се за изведба и за нив се применуваат вообичаените градежни материјали. За да може пореално да се следи одговорот на конструкцијата, без разлика на применетиот метод за зајакнување, неопходни се експериментални истражувања, како за конструкцијата, така и за материјалите со кои се врши самото зајакнување.



Сл. 2. Обработка и префугирање на fugи во сидарија

Целите на ова истражување се насочени кон експериментално истражување на методот на префугирање со примена на два типа малтери: (1) традиционален варов малтер со кршена тула и (2) современ полимер-цементен малтер за префугирање со додатоци на влакна. За двата типа малтери се предвидува и дополнително приложување на полипропиленски (ПП) траки во хоризонталните фуги. Истражувањето планирано во проектот има за цел и:

- проектирање на материјал за префугирање со особен придонес во зголемување на сеизмичката отпорност на сидаријата,
- определување на ефикасноста на методот со префугирање, како метод за зајакнување на сиданите конструкции,
- дефинирање на економската исплатливост за примена, времето потребно за апликација и комплексноста на процесот.

3. МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Во научно-истражувачкиот проект се планира примена на вообичаен концепт за истражување што подразбира проучување на литературата за посочената тема, определување на последните сознанија поврзани со поставените цели, спроведување експериментални испитувања и дефинирање на заклучоци врз основа на добиените резултати. Најголем дел од истражувањето се планира да биде насочено кон експерименталните испитувања, и тоа:

- Определување јакостно-механички карактеристики на полна тула
- Определување јакостно-механички карактеристики на два типа малтер: варов малтер со кршена тула и репаратур малтер
- Определување јакост на притисок на сидарија од полна тула и двата типа малтери
- Определување дијагонална јакост на затегнување на сидарија од полна тула и двата типа малтери

Дел од истражувањето предвидува нумеричка симулација на добиените експериментални резултати користејќи соодветни алатки за моделирање сидарија.

4. ОЧЕКУВАНИ РЕЗУЛТАТИ ОД ИСТРАЖУВАЊЕТО

Од големиот број на земјотресни активности во минатото, лесно може да се заклучи дека сиданите конструкции се едни од најранливите типови на конструктивни системи во Република Македонија. Затоа, од огромна важност е да се познаваат карактеристиките на материјалот за изведба на сиданите карактеристики, а ова експериментално и аналитичко истражување ќе даде голем придонес посебно заради фактот дека методите за зајакнување на сиданите конструкции главно се базираат на искуствата од инженерите и работниците. Главен научен придонес на темата е:

- Определување на јакостно-механички карактеристики на составните делови на сидаријата и малтерот за зајакнување
- Определување јакостно-механички карактеристики на сидаријата како конструктивен материјал за сиданите конструкции, за две состојби: незајакната и зајакната сидарија
- Утврдување на ефектот на методот за зајакнување на сидани конструкции во полза на донесување препораки и мерки за заштита на постоечките сидани објекти под влијанија од земјотрес
- Определување на применливоста, начинот на изведба и економските ефекти на методот за зајакнување постоечки конструкции

Методот за зајакнување со префугирање на сиданите конструкции кај старите градби е еден од најбрзите методи за зајакнување на овие конструкции, без да се наруши конструктивниот систем на објектот. Материјалите кои се користат со овој метод се достапни во нашата земја, а дел од нив се производ на партнерската институција во проектот. Доколку се докаже ефикасноста и економската исплатливост, примената на овој метод со материјалот варов малтер со кршен камен и Репаратур малтер ФЗ може да има директна и честа апликација на сиданите објекти во нашата земја и регионот, сл. 3.



Сл. 3. Зајакнување со конструктивно префугирање

Резултатите од истражувањето ќе придонесат до зголемување на достапните експериментални истражувања кои во овој момент се оскудни, а исто така се очекува да бидат основа за калибрирање на постојни и дефинирање на нови аналитички методи за пресметување на носивоста на така зајакнатите објекти од ѕидарија.

5. ПАРТНЕРИ ВО ИСТРАЖУВАЊЕТО

Реализацијата на овој научно-истражувачки проект е овозможена и претставува соработка помеѓу три партнерски институции, од кои две се од областа на научно-стручната и една од областа на индустријата. Експерименталните и аналитички испитувања на ѕидаријата ќе бидат спроведени од страна на Градежниот факултет од Скопје, катедрата за Теорија на конструкции и Институт за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија (ИЗИИС) од Скопје, додека производството на специјално модифицираните материјали за префугирање, како и нивната апликација е овозможена од компанијата Адинг, која оваа година го прославува својот 50-годишен јубилеј.

6. СТРУКТУРА НА ПРОЕКТОТ

Реализацијата на овој научно-истражувачки проект е предвидена да биде во три фази, односно три работни пакети. Првиот работен пакет ги опфаќа експерименталните испитувања, во кои е вклучена обработката на резултатите добиени од испитувањето на физичко-механичките и јакостните карактеристики на поедините елементи од ѕидаријата, како и јакостните карактеристики на самата ѕидарија како композитен материјал, со користење на постоечките и актуелни стандарди. Во вториот работен пакет ќе бидат опфатени аналитичките истражувања, односно избор на најсоодветен аналитички модел кој одговара на резултатите добиени од експерименталното истражување. Третата фаза од проектот е предвидена да ги опфати проценките околу ефикасноста на применетиот модел на зајакнување, како и анализа на економската исплатливост во однос на ефектот од зајакнувањето.

6.1 Планирани активности во партнерските институции

Активностите предвидени во работните пакети на овој научно-истражувачки проект ќе бидат поделени според стручноста и специјализираноста на партнерските институции. Испитувањето на физичко-механичките карактеристики на поедините елементи од ѕидаријата, моделирање, изработка и префугирање на експерименталните ѕидови и производството на специјалниот репаратурен малтер за префугирање ќе биде спроведено од страна на компанијата за производство на хемиски материјали за градежништво, Адинг ДС, Скопје. Експерименталните и аналитички испитувања на ѕидаријата ќе бидат спроведени на Градежниот факултет од Скопје, определување на јакост на притисок на експерименталните ѕидови изложени на вертикален товар, додека испитувањата на ѕидаријата изложена на дијагонал притисок ќе бидат спроведени во Институт за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија (ИЗИИС) од Скопје. Проценката околу ефикасноста на применетиот модел на зајакнување, како

и анализата на економската исплатливост во однос на ефектот од зајакнувањето, ќе биде спроведена од страна на трите партнерски институции.



6.1 Претходни проекти

Овој научно-истражувачки проект претставува продолжение на проектот-магистерска теза со наслов **“Mechanical characterisation of polymer fibre-reinforced cement-based mortar for masonry joint repointing”**, презентирана на 16-та Европска конференција за земјотресно инженерство, Солун 2018г, на кој работела две од сегашните партнерски институции, Градежниот факултет и Адинг. Голем дел од резултатите од претходните испитувања ќе бидат искористени за споредба со добиените резултати од овој проект, што ќе претставува голем придонес во однос на идните истражувања на оваа тема, посебно поради фактот дека во новиот проект е вклучена партнерската институција ИЗИИС, специјализирана за испитувања од оваа област.

6.2 Дисеминација на проектот

Идеата за отпочнување на овој заеднички научно-истражувачки проект се формираше на почетокот на 2018 година, за да кон крајот на истата дојде до потпишување на партнерски договор помеѓу трите институции. Мотивот и плановите, како и важноста на овој проект од аспект на здружување на науката и индустријата, развиени на работната средба во просториите на Адинг беа пласирани и во специјализираното списание за градежништво и архитектура Порта 3. Исто така, се очекува ова списание да ги презентира научените лекции, предизвиците кои беа надминати, како и најзначајното - резултатите добиени со истражувањето во овој проект.



БЛАГОДАРНОСТ

Авторите на трудот изразуваат голема благодарност до компанијата Адинг за поддршка на овој проект со обезбедување на финансиски средства за спроведување на испитувањата, како и модифицирање на дел од своите производи, со цел прилагодување на потребите на овој проект. Голема благодарност со Градежниот факултет и до Институтот за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија за поддршката на овој проект од аспект на обезбедување услови за користење на својата опрема, како и простории за вршење на испитувањата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ASTM E519-02, Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002, www.astm.org.
- [2] Brunner, J. D. and P. B. Shing (1996). Shear strength of reinforced masonry walls. *TMS Journal of Composite Materials*, Vol. 14(1).
- [3] Da Porto, F. (2005). In Plane Cyclic Behaviour of Thin Layer Joint Masonry. PhD thesis, University of Trento, Italy.
- [4] Drysdale, R. G., A. A. Hamid and L. R. Baker (1993). *Masonry Structures, Behaviour and design*. Inglewood, Cliffs, NJ, Prentice Hall Inc.
- [5] Goel R.K. (2004). Seismic Retrofit of Unreinforced Masonry Buildings. Oral presentation, San Luis Obispo, CA, USA.
- [6] Haach V. G. (2009). Development of a design method for reinforced masonry subjected to in-plane loading based on experimental and numerical analysis. PhD thesis, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Minho, Portugal.
- [7] Haach, V. G., G. Vasconcelos and P. B. Lourenço (2011). Parametrical study of masonry walls subjected to in-plane loading through numerical modeling. *Engineering Structures*, Vol: 33, Issue: 4, pp. 1377-1389.
- [8] Hansen, K. F., E. Nykanen and F. R. Gottfredsen (1998). Shear Behaviour of Bed Joints at Different Levels of Precompression. *Masonry International*, Volume 12, Issue 2, pp. 70-78.
- [9] Luo, W.K., Zhu, X.C., Liao, C.S (1997). Correlation analysis of shear-compression correlation and the shear friction coefficient values. *Eng. Mech*, 2:135–141.
- [10] MKS B.D8.011. Testing methods of clay bricks, blocks and slabs. No. 07-4713/1 (25.11.1986), Official Gazette of (former) SFRY, No. 4, January 1987.
- [11] MKC EN 771-1:2011/A1:2016. Спецификација за сидарски единици - Дел 1: Сидарски единици од глина-Амандман 1, ИСПМ, www.isrm.gov.mk.
- [12] MKC EN 12190:2009. Производи и системи за заштита и поправка (репарација) на бетонски конструкции - Методи на испитување - Определување на цврстина на притисок кај малтерот за поправки, ИСПМ, www.isrm.gov.mk.
- [13] MKC EN 1052-1:2009. Методи за испитување за сидање - Дел 1: Одредување на јакост под притисок, ИСПМ, www.isrm.gov.mk.
- [14] Raijmakers, T.M.J., Vermeltoort, A.Th., (1992). *Deformation controlled tests in masonry shear walls*. Report B-92-1156, TNO-Bouw, Delft, The Netherlands.
- [15] Riddington, J. R. and N. F. Naom (1994). Finite element prediction of masonry compressive strength. *Computers & Structures*, Volume 52, Issue 1, pp. 113-119.
- [16] Thamboo, J. A. (2014). Development of thin layer mortared concrete masonry. PhD thesis, Queensland University of Technology.

- [17] Tomažević M. (1999). *Earthquake-resistant design of masonry buildings*, volume 1 of Series on Innovation in Structures and Construction. Imperial College Press.
- [18] UNDP/UNIDO Project RER/79/015 (1984). Building Construction under Seismic Conditions in Balkan Region, Volume 3: Design and construction of stone and brick masonry Buildings; Volume 5: Repair and strengthening of RC and masonry structures.
- [19] Velkov M. (2013). Skopje 1963 Earthquake: Damages and Reconstruction. Proc. of International Conference “Skopje Earthquake – 40 years of European Earthquake Engineering”.
- [20] Voon K.C. (2007). In-plane Seismic Design of Concrete Masonry Structures. PhD thesis, University of Auckland, March 2007.
- [21] Zhuge, Y., D. Thambiratnam and J. Corderoy (1998). Nonlinear Dynamic Analysis of Unreinforced Masonry. *Journal of Structural Engineering*, Volume 124, Issue 3, pp. 270-277.
- [22] Bojan Damchevski, Sergey Churilov, Elena Dumova-Jovanoska (2018). Mechanical characterisation of polymer fibre-reinforced cement-based mortar for masonry joint repointing. 16th European Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki 2018