



Јасна ГРУЈОСКА-КУНЕСКА, Вероника ШЕНДОВА

КУЛТУРНО-ИСТОРИСКИ ОБЈЕКТИ ВО СЕИЗМИЧКИ ПОДРАЧЈА

Клучни зборови: *културно-историски објекти, сидарија, сеизмички региони, оштетување, фактори на повредливост*

Апстракт: *Историските објекти се значаен дел од светското културно наследство кои овозможуваат материјална врска со нашето мина-то и ја симболизираат нашата богата историја и традиции. Овие објекти имаат специфичен склоп и архитектонски стил, што ги издвојува од модерните градби.*

Најголем дел од историските објекти се градени како сидани конструкции, користејќи ги локалните, достапни материјали. Во изградбата на овие објекти се забележува голема разноликост, од примитивни техники и едноставни геометриски правила, до изведба на сложени форми и неправилни профили. Така, секој историски објект претставува уникатен израз на своето време со засебни карактеристики.

Овие објекти се неизбежно изложени на разни природни, биолошки и човекови фактори. Значителен дел од историските објекти се лоцирани во сеизмички активни подрачја, што особено ја зголемува нивната ранливост. Овој труд ги истражува историските објекти во пост земјотресни услови, преку различни студии на случај. Презентиран се најчесто присутните механизми на оштетување и рушење. Наодите од истражувањето укажуваат на главните фактори за сеизмичка повредливост кај историските објекти, меѓу кои: недоволно одржување, несоодветни интервенции, деградација на материјали, неефективни врски меѓу конструктивни елементи, присуство на отвори итн. Природата на овие податоци може да придонесе кон подобрување на процесите поврзани со планирање и заштита на историските објекти и следствено редуцирање на можностите за идни загуби.

ТЕХНИКИ НА ГРАДЕЊЕ И КАРАКТЕРИСТИКИ НА ИСТОРИСКИТЕ ОБЈЕКТИ

Историски, сидаријата претставува најстар и најраспространет градежен материјал. Долготрајноста на објектите и нивната едноставна изведба, се главни причини за широката примена на овој материјал. Покрај сидаријата, дрвото е материјал кој се среќава во одредени делови на историските објекти: кровни конструкции (греди, рогови), сидови (хоризонтални појаси, надвратни/натпрозорни греди, столбови околу отворите), итн. [1].

Каменот, тулата и малтерот се основни материјали користени во изведба на сиданите конструкции на историските објекти. Изборот на материјали првенствено е условен од достапноста на материјалите; така на пример Египетските храмови биле градени од варовник, песочник, алабастер, гранит, базалт, односно од материјали експлоатирани од наоѓалишта во близина на реката Нил. Од друга страна, античките цивилизации како Асирија и Персија, кои биле богати со наоѓалишта од глина, своите објекти ги граделе од тули. Каменот и глината остануваат основни градежни материјали сè до појавата на модерните материјали, [2].

Низ вековите, историските објекти се градени применувајќи различни правила и техники, согласно можностите и искуствата, (сл. 1). Во почетокот, техниките за градење се попримитивни, без значителна обработка на материјалите. Низ генерациите се пренесува и знаењето стекнато со обиди и грешки, со што техниките на градење значително се подобруваат, а кулминацијата се достигнува во изградба на монументалните храмови, палати, катедрали, цркви и други значајни објекти, кои денес претставуваат значаен дел од заедничкото културно наследство, [3]. Архитектурата на античка Грција, од 5ти век п.н.е и во

Рим до 3 век н.е, одбележана е со примена на монументални столбови, изведувани од камен. Овој конструктивен пристап е присутен кај Акрополот во Атина, каде се применети дорски и јонски стил, и кај бројни храмови и театри, [4]. Особен напредок во техниките на градење римјаните постигнуваат со воведувањето на еден вид бетон, што им овозможило поголема слобода на обликување и изведба на лакот, како една од најкористените базични конструктивни форми. Од формата на лакот произлегол полуцилиндричниот свод, а со вкрстување на неколку лаци во една точка – куполата. како онаа применета во Пантеонот во Рим, [2]. Значајни и бројни објекти како базилики, триумфални лаци и амфитеатри биле градени применувајќи го овој нов конструктивен пронајдок, [4].

Во византиската архитектура се развива нов пристап кон изведба на куполите; за разлика од претходниот период каде куполата се ослонува на носиви сидови, кај византиските градби куполата

Ренесансниот период (XV-XVII век), што следи по Готиката, е одбележан со изградба на бројни цркви и палати. Се напуштаат сложените и неправилни профили и повторно оживуваат старите римски форми – столбови, лаци и куполи, [9]. Во периодот што следи, се до Индустриската револуција (XIX век) и појавата на новите материјали, нема значителен напредок од технички и конструктивен аспект, [8].

Најголем дел од историските објекти се градени од обична сидарија, како масивни конструкции и конструктивни елементи со голема дебелина, наменети да ги издржат првенствено гравитационите товари од сопствената тежина, што се должи на задоволителните вредности на јакоста на притисок на сидаријата. Од друга страна, капацитетот на затегање е значително помал; ваквото ограничување ги прави подложни на оштетувања при дејство на хоризонтални сили, вклучувајќи ги и сеизмичките сили, [3][10].



Сл. 1 Краток преглед на историскиот развој на културно-историски објекти, [7][11][12][13][14]

се ослонува на столбови а преодот од квадратна основа во кружна форма се постигнува со четири сферични триаголници елементи, наречени пандантифи. Куполата на црквата Св. Софија во Истанбул, со распон од 31m, е еден од најимпозантните примери на оваа конструктивна форма, [5][6].

Готската архитектура (XII-XVI век) ги трансформира масивните класични конструкции во елегантни и витки конструкции со големи отвори. Три значајни конструктивни новини од овој период се: лакот зајакнат со ребра, шилестиот лак и потпорните сводови и арки. Употребата на помали парчиња камен и дебели споеви малтер овозможила создавање еластични и тенки конструктивни елементи, со што се надминуваат повеќето проблеми поврзани со сидаријата од камен и тула, [7][8].

ФАКТОРИ НА ОШТЕТУВАЊА НА ИСТОРИСКИТЕ ОБЈЕКТИ

Низ годините на опстојување, историските објекти се изложени на влијанија од различни фактори кои, во одредени случаи, доведуваат до оштетување на нивните материјали и конструкции. Овие фактори можат да се класифицираат во неколку групи (табела 1).

Климатските фактори се неизбежна и фундаментална причина за оштетување на материјалите и следствено конструкциите на историските објекти. Температурните промени во текот на денот и ноќта предизвикуваат термални движења во материјалите кои се главна причина за нивно оштетување. Присуството на вода, во било која

Табела 1 Фактори на оштетувања на историските објекти [1]

| Климатски фактори | Биолошки фактори | Природни фактори | Човекови фактори |
|----------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|
| Соларна радијација | Инсекти | Земјотреси | Атмосферско загадување |
| Прашина, песок, смог | Растенија | Пожари | Вибрации |
| Влага и соли | Бактерии и лишаи | Цунами | Војни и вандализам |
| Дожд | Печурки | Поплави | Човекова негрижа |
| Ветер | Птици | Клизишта | Економски ограничувања |
| Снег и мраз | Животни | Ликвифацкија на почва | Урбанизација |
| Температурни промени | | | Несоодветни интервенции |

форма (атмосферска, капиларна влага), предизвикува хемиски процеси кои го забрзуваат распаѓањето на материјалите, додека соларната радијација се покажала дури и како подеструктивен фактор споредено со мразот, [1].

Биолошките фактори, растителни и животински, можат во помала или поголема мера да доведат до оштетувања на фасадните материјали. Одредени бактерии и лишаи продуцираат киселини кои реагираат со материјалите и ги оштетуваат. Дрвото е материјал кој е особено подложен на оштетувања од инсекти и/или на променлива влага, па така во многу историски објекти дрвените елементи, кои имаат голема улога во сеизмичката стабилност на сидовите, се речиси распаѓани или воопшто ги нема, [1].

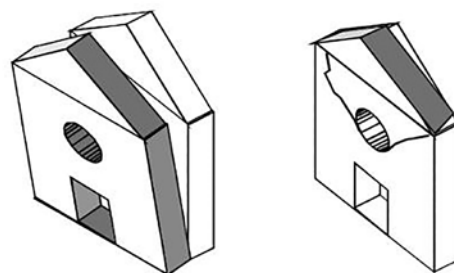
Човековите фактори се доста комплексни и разновидни. Атмосферско загадување, претераниот туризам и урбанизацијата од една страна и несоодветните мерки за заштита од друга страна, се честа причина за оштетување на историските објекти.

Од сите споменати фактори, најголема опасност претставуваат земјотресите кои, со нивната непредвидлива природа, се појава која историски предизвикала огромни штети на материјалното културно наследство. Дури и со денешниот напредок на технологијата, не може со сигурност да се каже кога ќе се случи следниот земјотрес и колкав ќе биде неговиот интензитет, [15].

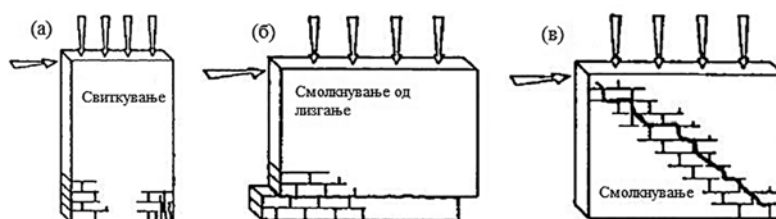
КОНСТРУКТИВНИ АСПЕКТИ НА СЕИЗМИЧКА ПОВРЕДЛИВОСТ

При дејство на земјотрес објектите покажуваат различно однесување: додека едни претрпуваат огромни штети, па дури и рушење на конструкцијата, други опстојуваат со само незначителни штети. Како што посочуваат горенаведените примери, причините кои доведуваат до оштетувања се различни и многубројни, а генерално може да се поврзат со следните аспекти:

Несоодветни и неефективни врски помеѓу конструктивните елементи: Однесувањето на конструкцијата во голема мера зависи од врските меѓу соседните сидови и врските помеѓу сидовите со меѓукатните конструкции и кровот. Недостатокот на конструктивен интегритет претставува извор на слаби точки во објектот што може да доведе до сериозни оштетувања и рушење на конструктивните елементи, [16]. Доколку сидот нема ефективни врски со останатите конструктивни елементи, при дејство на сили вон рамнина може да настане делумно или целосно превртување (рушење) на сидот, (сл. 2). Во одредени случаи, превртувањето на сидот може да влијае и врз бочните сидови кои се поврзани со него, па да доведе и до нивно оштетување, [16][17]. Силите кои дејствуваат во рамнината на сидот, пак предизвикуваат различни оштетувања, кои најчесто не доведуваат до рушење на конструкцијата, но можат да ги поттикнат претходните механизми, (сл. 3). Во овој случај, сидовите имаат поголема стабилност и можни се оштетувања од свиткување или смолкнување, [17].

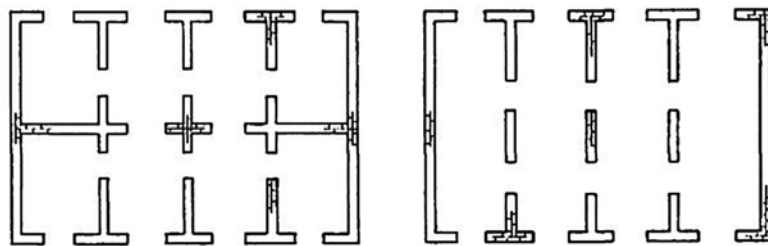


Сл. 2 Превртување на сидови од дејство на сили вон рамнина, целосно и делумно рушење на сидот, [3]

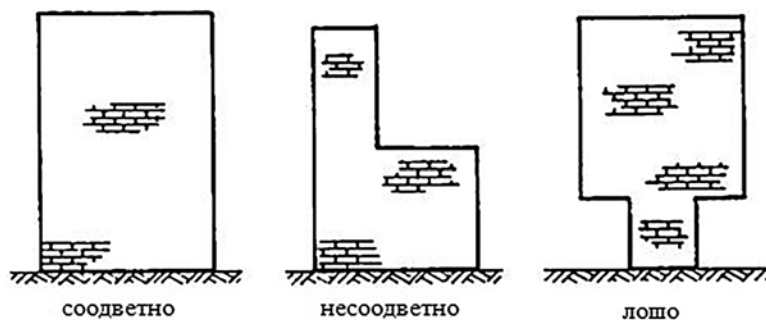


Сл. 3 Механизми на оштетувања при дејство на сили во рамнина на сидот, [18]

Нерегуларни основи и недостаток на носиви сидови: Објектите со нерегуларен распоред на носиви сидови често покажуваат полошо однесување при земјотрес, споредено со објектите со симетрични или едноставни основи, (сл. 4). Отсуството на симетрија во основата на објектот и во диспозицијата на носиви сидови доведуваат до појава на торзиони ефекти. Објектите со носиви сидови во еден ортогонален правец претрпуваат големи штети или рушење доколку доминантното движење на земјотресот е во другиот правец на објектот. Однесувањето на објектите при земјотрес зависи и од регуларноста по вертикала, (сл. 5). Објектите покажуваат подобро однесување доколку конструктивните елементи (масите и крутостите) се рамномерно распределени по висина на објектот. Концентрација на маси во горните катови или нагли промени на крутоста (комбинирани системи) доведуваат до концентрација на големи напрегања и оштетувања во тие зони, [16][19].



Сл. 4 Распределба на носиви сидови, соодветно (лево), несоодветно (десно), [16]



Сл. 5 Вертикални конфигурации на објекти од сидарија, [16]

Присуство и распоред на отвори во сидовите: Димензиите и позицијата на отвори (во хоризонтала и по вертикала) може значително да влијае врз носивоста на сидовите. Отворите предизвикуваат дисконтинуитет во сидот, што резултира со концентрација на големи напрегања околу отворите и можност за појава на критични зони, најчесто проследени со појава на дијагонални пукнатини, [16].

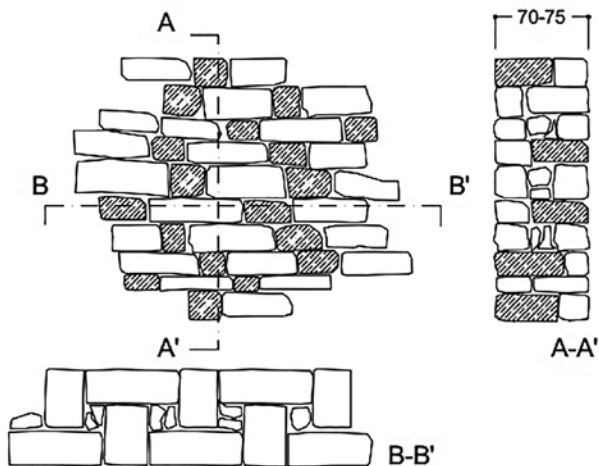
Слаб квалитет на вградените материјали или деградација на материјалите: Квалитетот на вградениот материјал, а особено квалитетот на врзното средство, има директно влијание врз

долготрајноста на сиданите конструкции. Механичките карактеристики на материјалите, а особено на малтеите, честопати не се доволни за да се спротивстават на свиткувањата и смолкнувањата предизвикани од дејството на земјотрес. Така, кај објекти изградени од тули и варов малтер со слаб квалитет биле забележани големи оштетувања. Дополнително, постојаната изложеност на атмосферски влијанија како влага, мраз, температурни промени и сл. доведуваат до постепено оштетување на материјалите, намалувајќи го пресек на елементите што директно влијание на носивоста. Оштетувањата во материјалите можат да предизвикаат појава на дијагонални пукнатини и дезинтеграција, проследени со рушење на елементите, [16][17].

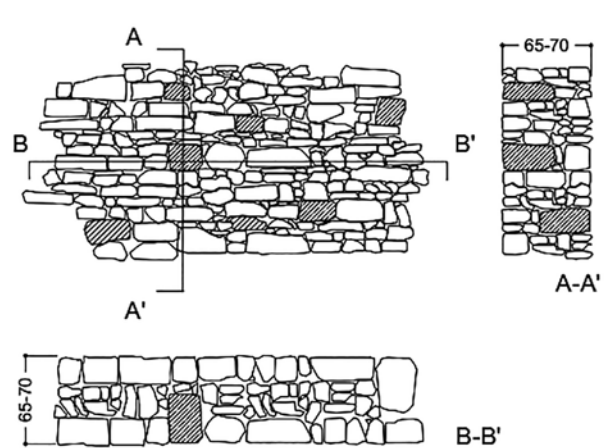
Нехомогена структура на сидовите: Сидовите на историските објекти често се изведувани од два или повеќе слоеви што го отежнува постигнувањето монолитност по целиот попречен пресек

на сидот. Ваквите сидови се подложни на оштетувања предизвикани од дејство на надворешни сили, [17]. Во постземјотресните истражувања (земјотрес во Умбрија, 1997 година) Speranza, предлага класификација на различните сидови во четири категории: сидарија од грубо обработен камен со правилен распоред на елементите; сидарија од грубо обработен камен и исполна од кршен камен; сидарија генерално изведена од кршен камен; сидарија од тули, [20]. Оваа поделба е прифатлива за голем дел од Европските историски центри и Медитеранот. Најдобро однесување при земјотресот покажале сидовите изведени од го-

леми парчиња, делумно обработен камен, кои се карактеризираат со доволна кохезија по целата дебелина на сидот; сидовите изведени генерално од ситни парчиња, кршен камен и малтер со слаб квалитет се покажале како нестабилни при сеизмички дејства, што се должи на слабите врски кои не овозможуваат монолитност на сидот, (сл. 6).



интервенции кои често вклучуваат несоодветна примена на армирано-бетонски елементи. Вака зајакнатите конструкции покажуваат неповолно однесување при земјотрес, (сл. 7), што пред сè, се должи на зголемената тежина на конструкцијата, неефективните врски и некомпатибилноста помеѓу новите и постоечките елементи, [22].



Сл. 6 Сидарија од камен со задоволително однесување (лево), и со незадоволително однесување (десно), согласно Speranza 2003, [20]

Несоодветни интервенции: Примената на несоодветни техники и некомпатибилни материјали може да ја зголеми ранливоста на историските објекти. Изборот на несоодветни мерки се прави поради отсуство на техничка документација или недоволна истраженост на постојниот конструктивен систем и својствата на вградените материјали. Обидите за зголемување на конструктивната јакост на објектот можат да имаат негативен ефект и да го попречат неговото понатамошно функционирање или стабилност, [21]. Во текот на XX век, се напуштаат традиционалните конструктивни техники и се заменуваат со инвазивни

ОДНЕСУВАЊЕ НА ИСТОРИСКИ ОБЈЕКТИ ВО СЕИЗМИЧКИ ПОДРАЧЈА СТУДИЈА НА СЛУЧАЈ

Земјотресите се едни од најголемите природни hazardи кои низ годините предизвикале огромни штети и човечки жртви низ целиот свет. Тие се разликуваат од сите останати природни катастрофи, пред сè поради нивната непредвидливост и способност неочекувано и за кратко време да направат огромни штети. Сеизмичките сили, кои настануваат поради движењето на плото можат



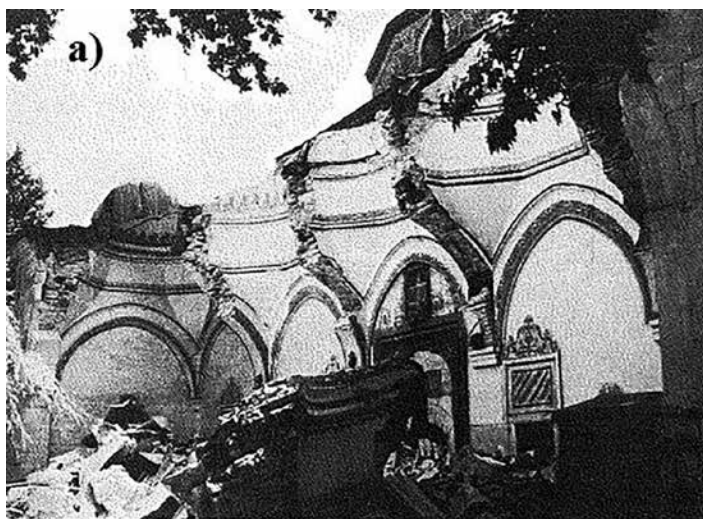
Сл. 7 Рушење на армирано бетонски елементи вградени во историски објекти, земјотресот во Аквила (2009 год.), [22][23]

значително да се разликуваат од еден до друг земјотрес или од една до друга локација, [24].

Земјотресот во Скопје, Македонија: Земјотресот кој во 1963 година го погодил градот Скопје е една од најголемите природни непогоди во поновата историја на Македонија. Епицентарот на земјотресот бил во близина на скопското село Бразда, со длабочина на хипоцентарот од 15км. Со магнитуда од 6.1 степени (Рихтерова скалата), овој земјотрес предизвикал бројни човечки жртви и уништил дури 80% од фондот на згради во градот. Најголем дел од оштетените објекти биле од станбен карактер, а покрај нив делумно или целосно оштетување (рушење) претрпеле и бројни јавни објекти, училишта, болници и спортски објекти. Значајни објекти како Македонскиот народен театар, Офицерскиот дом, Народната банка и општинската зграда Идадија биле сериозно оштетени, [25].

Шах џамија, Куршумли ан, Капан ан, Чифте амам, Безистен, кои датираат од XV и XVI век биле значително оштетени, а Сули ан бил речиси целосно разрушен, [27]. Оштетувања претрпеле и византиските цркви - Св. Пантелејмон во Нерези, Св. Андреа во Матка, Св. Никита во Бањани, Св. Богородица во Сушица, Св. Никола во Радишани и др. Саат кулата е уште еден средновековен споменик кој претрпел значителни оштетувања во земјотресот. Објектите лоцирани во старата чаршија, кои датираат од различни периоди (цркви, џамии, дукани, бањи) за време на земјотресот биле значително оштетени или разрушени, [26].

Веднаш по земјотресот експертски групи започнале процена на материјалните штети и класификација на оштетувањата. Најголеми оштетувања претрпеле масивните објекти изведени од сидарија и објектите со мешани конструктивни системи.



Сл. 8 Оштетувања на културно-историски објекти, а) Иса-бегова џамија, б) стара чаршија, в) Феудална кула, г) Куршумли ан, д) гробница во комплексот Алаџа џамија, [26]

Земјотресот предизвикал помали и поголеми штети на речиси сите културно-историски споменици во градот Скопје и околината, а дел од нив биле и разрушени (сл. 8). Многу објекти од Османлиски период како Мустафа паша џамија, Хусеин

Најповолно однесување покажале армирано-бетонските конструкции изградени согласно прописите од 1948 година. Оштетувањата на конструкциите генерално се поврзуваат со слабиот квалитет на материјалите и несоодветните методи на изградба, [25].



Сл. 9 Оштетувања на историски објекти предизвикани од земјотресот во Аквила, 2009 година, [22]

Земјотресот во Аквила, Италија (2009): Земјотресот во Аквила од 2009 година, со интензитет од 6.3 степени (Рихтерова скала) е особено значаен за истражување бидејќи погодува голем историски центар на Италија. Објектите припаѓаат на различни архитектонски стилови и период, формирајќи временска рамка од цели 700 години, [28]. Многу историски споменици од Готиката, Барокот и Ренесансата претрпеле значителни

оштетувања (сл. 9), па дури и рушење на конструкциите, што укажува на ранливоста на оваа категорија објекти, [22].

Фокусот на постземјотресните истражувања првенствено бил ставен на трибродните цркви, како специфична и комплексна архитектонска форма, карактеристична за овој регион и пошироко. Анализирани се вкупно 64 цркви кои при-

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|---|--|
| | | | | | | |
| Превртување на фасаден ѕид ($\rho_s = 1$) | | Механизам од сили во рамнина ($\rho_s = 0.5$) | Одвојување на трем ($\rho_s = 0.25$) | Трансверзален одговор ($\rho_s = 1$) | Механизам од смолкнување во бочен ѕид ($\rho_s = 1$) | Лонгитудинален одговор ($\rho_k = 1$) |
| | | | | | | |
| Централни сводови ($\rho_s = 1$) | Бочни сводови ($\rho_s = 0.75$) | Превртување на ѕид од трансепт ($\rho_k = 0.75$) | Механизам смолкнување во трансепт ($\rho_s = 0.50$) | Сводови од трансепт ($\rho_s = 0.50$) | Триумфални лаци ($\rho_k = 1$) | Купола ($\rho_k = 0.75$) |
| | | | | | | |
| Лантерна ($\rho_k = 0.25$) | Превртување на апсида ($\rho_k = 0.75$) | Механизам на смолкнување апсида ($\rho_k = 0.50$) | Полукалата ($\rho_k = 0.75$) | Механизам во кров од бродот ($\rho_k = 0.50$) | Механизам во кров од трансепт ($\rho_k = 0.50$) | Механизам во кров од апсида ($\rho_k = 0.50$) |
| | | | | | | |
| Превртување на капела ($\rho_k = 0.25$) | Механизам на смолнување во капела ($\rho_k = 0.25$) | Сводови на капела ($\rho_k = 0.50$) | Неправилности по висина ($\rho_k = 1$) | Архитектонски детали ($\rho_k = 0.25$) | Кула камбанарија ($\rho_k = 1$) | Камбанираја ($\rho_k = 0.50$) |

Табела 2 Класификација на механизмите на рушење, согласно Италијанскиот водич за културно наследство, [22]

паѓаат на различни историски епохи: средновековни цркви (градени во периодот на Романика или Готика), пост средновековни цркви (градени во периодот на Ренесанса и Барок) и хибридни цркви (цркви со одредени интервенции или постземјотресни реконструкции),[29]. Било забележано дека оштетувањата кај овие цркви најчесто се поврзани со оштетување на макро елементите: фасади, кули, странични капели, апсиди итн., кои покажуваат речиси индивидуално конструктивно

однесување. Целта на студијата била да се согледаат различните механизми на рушење кои се јавуваат кај овие историски објекти и да се спречи нивно настанување при идни земјотреси. Во табелата 2, даден е преглед на најчестите механизми на рушење, кои се јавуваат кај трибродните цркви при дејство од земјотрес. Факторот на оштетување (ρ_r) се движи помеѓу вредностите 0 (нема штета) и 1 (целосна штета) и укажува на улогата што секој механизам ја има во глобалната



Сл. 10 Оштетувања на сакрални објекти, а) Црква Св. Никола и Св. Вид во Жажина, б) Црква Св. Марија Магдалена во Шишак, в) црква Св. Катерина во Загреб (земјотрес Загреб - лево, земјотрес Петриње – средина и десно), [31].

стабилност на конструкцијата. Оштетувањата на црквите генерално се поврзуваат со: несоодветно одржување, присуство на деградирани елементи, отвори во фасадните ѕидови и присуство на тешки армирано-бетонски елементи, [22].

Земјотресот во Петриње, Хрватска (2020): Земјотресот во Петриње, во Декември 2020 година, со интензитет 6.2 степени (Рихтерова скала) е најсилен земјотрес случен во поновата историја на земјата; со епицентар на само 6 km југозападно од градот. По главниот земјотрес, следеле значителен број последователни потреси, меѓу кои и такви со интензитет 4+ степени, [30].

Земјотресот предизвикал големи материјални штети, со оштетувања забележани и на 60km од епицентарот. Поголеми и помали оштетувања претрпеле станбени објекти, здравствени и едукативни установи и други објекти од јавен карактер. Најголем дел од оштетените објекти се изградени пред 1964 година, односно пред Скопскиот земјотрес и појавата на регулативите. Тоа се стари објекти изведени од неармирана ѕидарија, [30][31].

Историските центри во околните градови, со значајно културно наследство, биле значително погодени. Најмногу оштетувања претрпеле сакралните објекти, цркви и капели. Најпогодени делови биле кулите камбанарии и носивите ѕидови, а изразени пукнатини биле забележани и во ѕидовите и лаците. Црквата Св. Никола и Св. Вид во Жажина (17km од Петриње) претрпела значителни оштетувања поради рушење на кулата камбанарија – дел од покривот на главниот брод и ѕидовите од кровната конструкција биле целосно разрушени, (сл. 10а). Барокната црква Св. Марија Магдалена кај Сисак претрпела значителни оштетувања на кулите, порталот и куполата, (сл. 10б).

Кај црквата Св. Катерина во Загреб, чии ѕидови биле веќе оштетени од претходниот земјотрес во Загреб (Март 2020 година), земјотресот довел до рушење на ѕидовите, (сл. 10в). Значителни штети и рушење претрпеле и многу културно-историски објекти во склоп на историското јадро на градот Петриње, [31].

Оштетувањата на историските објекти се резултат на повеќе причини, како слаб квалитет на конструктивните материјали, несоодветни интервенции, ненавремено санирање/зајакнување, но во најмногу случаи се должат на слабите врски меѓу конструктивните елементи, [31][32].

ЗАКЛУЧНИ НАПОМЕНИ

Историските објекти се најчесто градени како масивни конструкции со слаби сеизмички перформанси, што ги прави особено ранливи на дејствата од земјотреси, неретко доведувајќи до нивно делумно и целосно рушење. Случените земјотреси посочуваат дека кулите, апсидите, ѕидовите и куполите се особено ранливи елементи од историските објекти. Слабите конструктивни врски се честа причина за оштетувања на носивите ѕидови, што доведува до загрозување на глобалната стабилност. Несоодветните интервенции, кои често вклучуваат тешки армирано-бетонски елементи, можат значително да ја зголемат сеизмичката повредливост на овие објекти.

Податоците од овој тип помагаат подобро да се разбере сеизмичкото однесување на различните типови историски објекти и да се идентификуваат факторите кои најчесто доведуваат до оштетување и рушење на овие конструкции, што ќе доведе до посодветни интервенции, и следствено, до зголемување на сеизмичката отпорност.

РЕФЕРЕНЦИ:

- [1] Feilden B. *Conservation of Historic Buildings*. 3rd Editio. Oxford; Burlington, MA: Architectural Press; 2003.
- [2] The Editors of Encyclopaedia. *Masonry*. Encycl Br 2024. <https://www.britannica.com/technology/masonry> (accessed October 8, 2024).
- [3] Preciado A, Rodriguez O, Ramirez-Gaytan A, Gutierrez N, Vargas D, Gonzales G. *Protection of Cultural Heritage Buildings Against Earthquakes From a Sensitized Structural Engineering Perspective*. In: Coleman W, editor. *Earthquakes Monit. Technol. Disaster Manag. Impact Assess.*, Nova Science Publishers; 2017, p. 101–28.
- [4] The Editors of Encyclopaedia. *Classical architecture* 2016. <https://www.britannica.com/art/Classical-architecture> (accessed October 8, 2024).
- [5] Mahdi T. *Seismic vulnerability of traditional masonry arches, vaults and domes*. *Asian J Civ Eng* 2017;18:433–49.
- [6] The Editors of Encyclopaedia. *Dome*. Encycl Br 2023. <https://www.britannica.com/technology/dome-architecture> (accessed October 8, 2024).
- [7] The Editors of Encyclopaedia. *Gothic architecture*. Encycl Br 2024. <https://www.britannica.com/art/Gothic-architecture> (accessed October 10, 2024).
- [8] Watkin DJ, Voyce A, Hoffmann H, Martindale AHR, Boardman J, Kemp MJ, et al. *Western architecture*. Encycl Br 2023.
- [9] The Editors of Encyclopaedia. *Renaissance architecture*. Encycl Br 2024. <https://www.britannica.com/art/Renaissance-architecture> (accessed October 9, 2024).
- [10] Vintzeleou E. *Testing Historic Masonry Elements and/or Building Models*, 2014, p. 267–307. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07118-3_8.
- [11] *Pantheon*. Encycl Br n.d. <https://www.britannica.com/topic/Pantheon-building-Rome-Italy> (accessed October 10, 2024).
- [12] *Western architecture: Media* n.d. <https://www.britannica.com/art/Western-architecture/images-videos> (accessed October 10, 2024).
- [13] The Editors of Encyclopaedia. *Pyramids of Giza*. Encycl Br 2024. <https://www.britannica.com/topic/Pyramids-of-Giza> (accessed October 9, 2024).
- [14] *Prague: St. Nicholas Church*. Encycl Br n.d. <https://www.britannica.com/art/Baroque-architecture/images-videos> (accessed October 10, 2024).
- [15] Feilden BM. *Between Two Earthquakes: Cultural Property in Seismic Zones*. Rome: Marina del Rey, CA: ICCROM; Getty Conservation Institute; 1987.
- [16] Yorulmaz M, Florin-Emil D, Dulacska E, Vintzeleou E. *Design and Construction of Stone and Brick-Masonry Buildings, Volume 3*. Vienna: UNDP/UNiDO PROJECT RER/79/015; 1986.
- [17] NIKER project. *Inventory of earthquake-induced failure mechanisms related to construction types, structural elements, and materials*. 2010.
- [18] Quelhas B, Cantini L, Guedes JM, da Porto F, Almeida C. *Characterization and Reinforcement of Stone Masonry Walls*, 2014, p. 131–55. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39686-1_5.
- [19] Tomazevic M. *Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings*. vol. 1. London: Imperial College Press; 1999. <https://doi.org/10.1142/p055>.
- [20] Speranza E. *An integrated method for the assessment of the seismic vulnerability of historic buildings*. University of Bath, 2003.
- [21] Kelley S, Jygyasu R. *Between two earthquakes: The Seismic Retrofitting Project in Peru*. GCI Newsl 2015.
- [22] De Matteis G, Brando G, Corlito V. *Predictive model for seismic vulnerability assessment of churches based on the 2009 L'Aquila earthquake*. *Bull Earthq Eng* 2019;17:4909–36. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00656-7>.
- [23] Modena C, Valluzzi MR, da Porto F, Casarin F. *Structural Aspects of The Conservation of Historic Masonry Constructions in Seismic Areas: Remedial Measures and Emergency Actions*. *Int J Archit Herit* 2011;5:539–58. <https://doi.org/10.1080/15583058.2011.569632>.

- [24] Вилверде Р. Основни концепти на земјотресното инженерство. Арс Ламина; 2016. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/15583058.2015.1113340>.
- [25] Petrovski T. Damaging Effects of July 26, 1963 Skopje Earthquake. 2004.
- [26] РЗЗСК, Кочишки И. Завод за заштита на спомениците на културата на град Скопје, 1963-1983. Завод, Скопје; 1983.
- [27] Панов З, Петкова Р. Османлиски споменици. Скопје: Управа за заштита на културното наследство; 2008.
- [28] D'Ayala DF, Paganoni S. Assessment and analysis of damage in L'Aquila historic city centre after 6th April 2009. *Bull Earthq Eng* 2011;9:81–104. <https://doi.org/10.1007/s10518-010-9224-4>.
- [29] De Matteis G, Criber E, Brando G. Damage Probability Matrices for Three-Nave Masonry Churches in Abruzzi After the 2009 L'Aquila Earthquake. *Int J Archit Herit* 2016;10:120–45.
- [30] Markušić S, Stanko D, Penava D, Ivančić I, Bjelotomić Oršulić O, Korbar T, et al. Destructive M6.2 Petrinja Earthquake (Croatia) in 2020—Preliminary Multidisciplinary Research. *Remote Sens* 2021;13:1095. <https://doi.org/10.3390/rs13061095>.
- [31] Atalić J, Demšić M, Baniček M, Uroš M, Dasović I, Prevolnik S, et al. The December 2020 magnitude (Mw) 6.4 Petrinja earthquake, Croatia: seismological aspects, emergency response and impacts. *Bull Earthq Eng* 2023;21:5767–808. <https://doi.org/10.1007/s10518-023-01758-z>.
- [32] Galic J, Andric D, Stepinac L, Vukic H. Built Heritage in the 2020 Earthquakes in Zagreb and Petrinja, Croatia: Experience and consequences. *STREMAH* 2021, 2021. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2495/STR210141>.

Jasna GRUJOSKA-KUNESKA, Veronika ŠENDOVA

CULTURAL-HISTORIC BUILDINGS IN SEISMIC REGIONS

Summary

Keywords: heritage buildings, masonry, seismic regions, damage, vulnerability factors

Historic buildings are important part of the world's cultural heritage that provide a tangible connection to our past and symbolize our rich history and traditions. These buildings have a distinctive design and architectural style that sets them apart from modern buildings.

Most of the historic buildings are built as masonry structures, using the local, available materials. There is a great diversity in the construction techniques, from primitive techniques and simple geometrical rules to complex forms and irregular profiles. Thus, each heritage building is a unique expression of its time and has distinctive characteristics.

These buildings are inevitably exposed to adverse impacts of natural, biological and human factors. A

considerable part of the heritage buildings are located in seismic prone regions, which considerably increases its vulnerability. This paper explores the heritage buildings in post-earthquake setting through different case studies. The most common mechanisms of damage and collapse are presented. Findings from the research point to the main causes for seismic vulnerability of historic buildings, including: lack of maintenance, incompatible interventions, degradation of materials, ineffective connections between structural elements, openings etc. The nature of this information can contribute to the improvement of the planning and preservation process of historical buildings and consequently reduce the possibilities of future losses.