

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Архитектонски факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Јефта Т. Терзовића, дипл. инж. арх.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета бр. 01-428/2-6.11, од 18. 04. 2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Јефта Терзовића, дипл. инж. арх., под насловом

ПРОЈЕКТОВАЊЕ СЕИЗМИЧКИ ОТПОРНИХ АРХИТЕКТОНСКИХ ОБЈЕКТА КОРИШЋЕЊЕМ ПАНЕЛА ОД КОНСТРУКЦИОНОГ СТАКЛА ИЛИ ПОЛИКАРБОНАТА

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Школске 2013/2014. године, кандидат је уписао докторске академске студије архитектуре научног карактера (основна област истраживања *архитектура и урбанизам*; ужа научна област истраживања *Конструктивни системи*) на Архитектонском факултету Универзитета у Београду.

На основу члана 98. Статута Архитектонског факултета у Београду (“Сл. билтен Факултета”, бр. 80/80, 84/10, 88/12 и 89/12 - пречишћен текст), а у вези са чланом 28. Правилника о докторским студијама (“Сл. билтен АФ”, бр. 81/08) и Одлуком Већа

докторских студија Архитектонског факултета у Београду од 16. 06. 2014. године, Наставно научно веће Факултета је, на седници одржаној дана 23. 06. 2014. године, донело одлуку број 01-872/2-7.22 којом је образована Комисија за оцену испуњености услова кандидата Јефта Терзовића, дипл. инж. арх. и теме докторске дисертације, под насловом **„Пројектовање сеизмички отпорних архитектонских објеката коришћењем конструкционог стакла и поликарбоната“**, у саставу:

- др Миодраг Несторовић, ментор
редовни професор Архитектонског факултета Универзитета у Београду
- др Растислав Мандић, члан комисије
ванредни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду
- др Ташко Манески, члан комисије
редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду

На основу члана 30. Закона о високом образовању (“Сл. Гласник РС”, бр 76/05, 100/07 – аутентично тумачење, 97/08, 44/10, 93/12 и 89/2013), а у вези са чланом 100. Статута Архитектонског факултета у Београду (“Сл. билтен АФ”, бр. 80/80, 84/10 и 89/12), члановима 31-34. Правилника о докторским студијама Архитектонског факултета у Београду (“Сл. билтен АФ”, бр. 81/08) и сагласности Већа научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду од 09. 12. 2014. године, одлука бр. 61206-5458/2-14, Наставно научно веће Факултета је, на седници одржаној 22. 12. 2014. године, донело одлуку број 01-2454/2-4.5 да се Јефту Терзовићу, дипл. инж. арх., одобрава рад на теми докторске дисертације, под измењеним насловом **„Пројектовање сеизмички отпорних архитектонских објеката коришћењем панела од конструкционог стакла или поликарбоната“** и да се за ментора именује проф. др Миодраг Несторовић, редовни професор Архитектонског факултета Универзитета у Београду.

Завршену докторску дисертацију, кандидат је, уз сагласност ментора, предао на Веће докторских студија у априлу 2016. године.

На основу члана 101. и члана 102. Статута Архитектонског факултета у Београду (“Сл. билтен АФ”, бр. 80/08, 84/10, 88/12, 89/12 - пречишћен текст и 98/14), члана 37. Правилника о докторским академским студијама (“Сл. билтен АФ”, бр. 102/14) и Одлуке Већа докторских студија Факултета од 11. 04. 2016. године, Наставно-научно веће Факултета је, на седници одржаној дана 18. 04. 2016. године, донело одлуку број 01-428/2-6.11 да се образује Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Јефта Терзовића, дипл. инж. арх., под насловом **„Пројектовање сеизмички отпорних архитектонских објеката коришћењем панела од конструкционог стакла или поликарбоната“** у саставу:

- др Миодраг Несторовић, ментор
редовни професор Архитектонског факултета Универзитета у Београду
- др Растислав Мандић, члан комисије
ванредни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду
- др Ташко Манески, члан комисије
редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација **„Пројектовање сеизмички отпорних архитектонских објеката коришћењем панела од конструкционог стакла или поликарбоната“**, припада научном пољу техничко-технолошких наука, научној области *Архитектура и урбанизам* и ужој научној области *Конструктивни системи* (члан 122. Статута Архитектонског факултета у Београду, Службени билтен Архитектонског факултета бр. 80/08 и бр. 84/10). За ментора је одређен др Миодраг Несторовић, ред. проф. Архитектонског факултета Универзитета у Београду. Ментор проф. др Миодраг Несторовић је у научно-истраживачком раду оријентисан на области конструктивних система, просторних структура, геометријског моделовања и нумеричке анализе применом МКЕ, чему иду у прилог бројни радови објављени у научним часописима и публикацијама, монографије и патентна решења.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јефто Т. Терзовић, рођен је у Дубровнику, Република Хрватска, 1975. године.

Основну школу завршио у Херцег-Новом, Црна Гора, 1990. године.

Средњу школу завршио у Херцег-Новом 1994. године, стекавши звање *Математичко-програмерски сарадник*.

Архитектонски факултет Универзитета у Београду уписао 1994. године.

Током студија на Архитектонском факултету, слушао курс *Архитектонско инжењерство*.

Дипломирао на Архитектонском факултету у септембру 2003. године, под менторством доц. арх. Борислава Петровића, са оценом 10 (десет) на дипломском испиту и са просечном оценом током студија 8,31.

Од 2000. године, још за време студија, радио као сарадник у настави – *демонстратор* – на предметима са Катедре за статику конструкција.

Стално запослен на Архитектонском факултету Универзитета у Београду у периоду од 2004. до 2015. године.

Укупно петнаест година активно учествовао у настави, у извођењу вежби на свим предметима са Катедре за статику конструкција, а затим на истој групи предмета, у оквиру Департамента за архитектонске технологије.

Докторске академске студије на Архитектонском факултету Универзитета у Београду уписао 2013. године.

Објављује научне радове, уз учешће на научним скуповима.

У досадашњем делу стручне професионалне каријере, сарађивао са већим бројем пројектантских бироа, у изради пројеката конструкције, за објекте разних намена, у својству одговорног пројектанта конструкције.

Члан је Инжењерске коморе Србије и поседује лиценце одговорног пројектанта и одговорног извођача радова.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Јефта Терзовића, дипл. инж. арх., изложена је на 277 страница. У уводном делу су дате насловне стране на српском и енглеском језику, резиме на српском и енглеском језику и садржај. Основни текст дисертације, са 198 илустрација и 27 табела, дат је на 196 страница. Иза основног текста следи попис ознака, табела и илустрација, списак коришћене литературе и извора, референце и биографија кандидата, изјаве и прилози из спроведеног истраживања. Докторска дисертација има дванаест поглавља, систематизованих према следећем садржају:

САДРЖАЈ:

1. Увод у истраживање

- 1.1 Проблем и предмет истраживања
- 1.2 Циљеви, задаци и методе истраживања
- 1.3 Генерална структура истраживања

2. Стакло и поликарбонат као конструкциони материјали

2.1. Стакло као конструкциони материјал

- 2.1.1 Хемијски састав стакла и физичке особине
- 2.1.2 Индустијска обрада стакла
- 2.1.3 Отпорност стакла на спољне утицаје

2.2. Поликарбонат као конструкциони материјал

- 2.2.1 Хемијски састав и особине пластичних маса
- 2.2.2 Поликарбонат (*PC*) и полиметил-метакрилат (*PMMA*)

3. Лабораторијско испитивање физичко механичких карактеристика ламелираног стакла и ламелираног клирита

- 3.1 Увод
- 3.2 Испитивање запреминске масе
- 3.3 Испитивање коефицијента термичког ширења
- 3.4 Испитивање чврстоће при притиску
- 3.5 Испитивање чврстоће при савијању и прорачун одговарајућег модула еластичности
- 3.6 Испитивања на затезање
 - 3.6.1 Испитивање ламелираног клирита на затезање
 - 3.6.2 Испитивање ламелираног стакла на затезање
 - 3.6.3 Радни (σ - ϵ) дијаграми и прорачун одговарајућег модула еластичности
 - 3.6.3.1 Ламелирани клирит
 - 3.6.3.2 Ламелирано стакло
- 3.7 Укупни табеларни преглед резултата испитивања

4. Лабораторијско испитивање понашања композитних панела на бази ламелираног стакла и ламелираног клирита под дејством динамичког оптерећења
 - 4.1 Организациона поставка лабораторијског испитивања
 - 4.2 Пројектовање и израда експерименталних композитних панела за лабораторијско испитивање
 - 4.3 Припрема лабораторијске опреме за испитивање
 - 4.4 Лабораторијско испитивање експерименталних композитних панела
 - 4.4.1 Пробна статичка испитивања силом паралелном равни експерименталног модела
 - 4.4.2 Пробна статичка испитивања увијањем и силом управно на раван експерименталног модела
 - 4.4.3 Динамичка испитивања силом паралелном равни експерименталног модела, са обрадом резултата
 - 4.4.4 Резиме лабораторијских испитивања на дејство динамичке силе
5. Могућност асеизмичког укрућивања конструкције објекта коришћењем ламелираног стакла и клирита, приказано на студији случаја
 - 5.1 Процедура (алгоритам) пројектовања сеизмички отпорних архитектонских објеката коришћењем неконвенционалних материјала
 - 5.2 Студија случаја – асеизмичко укрућивање објекта коришћењем неконвенционалног материјала
 - 5.2.1 Анализа геометрије објекта (конструктивне целине, материјали)
 - 5.2.2 Карактеристике посебне конструктивне целине – масе
 - 5.2.3 Рачунска анализа проблема издвојене масе
 - 5.2.4 Решење система за асеизмичко укрућење
 - 5.2.5 Рачунска анализа система за асеизмичко укрућење
 - 5.2.6 Интензитети пресечних сила и напрезања у елементима асеизмичког укрућења
 - 5.2.7 Резиме решења система за асеизмичко укрућење
6. Закључак
7. Преглед ознака
8. Преглед илустрација
9. Преглед табела
10. Референце
11. Биографија аутора
12. Прилози

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

УВОДНИ ДЕО – представља преглед особина стакла и пластичних маса (поликарбонати, полиметил-метакрилат) и проблема који се појављују у случају коришћења тих материјала за формирање конструктивних елемената. У делу који се односи на стакло, уз превод аутора, значајно је коришћен извор Haldimann, Dr M., Luible, Dr A., Overend, Dr M., Structural Use of Glass, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zürich, 2008, који даје суштински приказ особина стакла.

ПРВА ФАЗА – представља лабораторијско испитивање у циљу утврђивања физичко-механичких карактеристика материјала испуне у композитним панелима – (ламелирано стакло и клирит).

ДРУГА ФАЗА – представља лабораторијско испитивање под динамичким оптерећењем реалног модела основног појединачног елемента конструкције – композитног панела димензија 40 x 50 центиметара, материјализованог од ламелираног стакла / клирита, укупне дебљине пакета 60 милиметара, уоквиреног у челични рам, са амортизујућим слојем тврде гуме (кедера) на контакту испуне и челика.

Први корак друге фазе истраживања чине базична лабораторијска испитивања, са циљем генералног упознавања са физичко-механичким карактеристикама материјала на којима се формирају композитни панели. Нарочито је важан део овог испитивања који се односи на поређење карактеристика пакета ламела, како стакла, тако и клирита, у смислу оријентације пресека под дејством оптерећења – читавају се очекиване разлике ако је аплицирана сила управна на раван ламела од којих је пакет сачињен и ако је паралелна тим ламелама. Лабораторијска испитивања из првог корака друге фазе, спроведена су у лабораторији Института за материјале и конструкције, на Грађевинском факултету Универзитета у Београду.

Посебно је комплексан други корак друге фазе и он представља тежиште целокупног истраживања. Он се односио на испитивање композитних панела на бази оба основна материјала на дејство динамичке силе. Ово испитивање је спроведено помоћу посебне лабораторијске опреме под називом *Пулзатор*, смештене у лабораторији Лимес на Машинском факултету Универзитета у Београду. Опрема је у надлежности Катедре за опште машинске конструкције. Пулзатор има могућност да на предмет испитивања, помоћу посебно дизајнираног прихватног алата, наноси динамичко оптерећење, према задатој фреквенцији.

Алат, који постаје саставни део опреме за извођење испитивања, дизајниран је тако да буде у сагласности са контурним условима рачунарског модела.

Улазни параметри за испитивање реалног модела у Пулзатору, усвојени су на основу препорука Републичког сеизмолошког завода о процени могућег земљотреса, као и на основу могућности лабораторијске опреме. Сила на реални модел није наношена одједном у целости, већ поступно, у вредности инкремента коју опрема (Пулзатор) допушта.

Сво време наношења оптерећења на експериментални модел инкременталним поступком, пажљиво је посматрано стање модела, у смислу напрезања која се читавају и евентуалних оштећења која се могу уочити.

У уводној фази лабораторијских испитивања на Пулзатору, уместо наношења динамичке силе, наношено је статичко оптерећење инкременталним поступком, све до лома, чиме је установљена критична сила за тај модел. Након тога су направљене допунске анализе конструкције експерименталних модела и извршене њихове модификације, чиме су додатно усаглашени са могућом практичном применом, као и са рачунарским моделом.

Саставни део другог корака у другој фази истраживања, чине анализе добијених резултата, који се упоређују, са основним циљем да се утврди разлика у понашању композитних панела са испуном од ламелираног стакла и композитних панела са испуном од ламелираног клирита.

У завршном делу дисертације, студијом случаја је креиран рачунарски модел конструкције објекта, који садржи армиранобетонску куполу на стубовима, која је истакнута као посебно проблематичан подсистем конструкције, у смислу пријема сеизмичких сила. Истраживање се спроводи кроз више корака, а као основни научни алат за извођење истраживања, користи се аналитички приступ, помоћу Методе коначних елемената.

Полази се од проблема неинтегрисаности куполе у конструктивни систем објекта, што је чини изразито осетљивом на дејство сеизмичких сила. Предлаже се решење у виду конструкционих панела на бази стакла, односно клирита, који су претходно испитани у лабораторији. Затим се спроводи рачунска анализа модела конструкције допуњеног системом панела, којом се утврђује ниво напрезања појединачних панела. На крају рачунске анализе, добијају се резултати који су у границама дефинисаним лабораторијским испитивањима, што говори о могућности примене предложеног система у циљу оспособљавања конструкције објекта за пријем сеизмичких сила.

Истраживање тежи промовисању неконвенционалног приступа, односно употребе неконвенционалних материјала, у пројектовању конструктивног система за обезбеђење архитектонских објеката од дејства сеизмичких сила.

Резултати рада представљају прилог проширењу сазнања о конструкционом стаклу и пластичним масама као грађевинским материјалима, који, у процесу пројектовања конструктивног система, могу имати улогу носећег елемента за пријем сеизмичких сила.

Уопштено говорећи, истраживање настоји да прошири схватање улоге стакла и пластичних маса у процесу пројектовања и конструисања архитектонских објеката и промени конвенционалног приступа пројектовању, који стакло углавном третира као елемент фасадне опне, која преграђује унутрашњи простор од спољног. У устаљеној пројектантској пракси, у конструкционом смислу, стаклу се, скоро искључиво, поверава улога прихватања оптерећења од ветра који делује на фасаду и преношење тог оптерећења на основни конструктивни систем објекта, којег најчешће чине армиранобетонски, челични или дрвени елементи. Примена резултата истраживања приказаних у дисертацији треба да буде прилог примени конструкционог стакла и клирита као носећих елемената у грађевинским конструкцијама архитектонских објеката.

Истраживање настоји да буде увод у даљу анализу могуће примене ламелираног стакла и ламелираног клирита као конструкционих материјала, као и трасирање пута за проналажење специфичног места за стакло и пластичне масе у важећим домаћим прописима и стандардима у области грађевинарства.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Савременост теме се огледа у промовисању коришћења широко доступних материјала у неконвенционалне сврхе, чиме се ефикасност предложеног система асеизмичког укрућења архитектонских објеката у потпуности чини рационалним избором. Избор научних метода коришћених у истраживању, од рачунских анализа спроведених помоћу специјализованих софтверских пакета, преко лабораторијских испитивања на експерименталним моделима у реалној величини на софистицираној опреми, такође сведочи о савремености истраживачког процеса.

Оригиналност теме се може сагледати кроз приказану анализу савремених истраживања у регионалној и светској пракси на сличне теме.

Један број истраживања се бави утицајем сеизмике на стаклену фасаду и на појединачне панеле, у смислу минимизирања оштећења која настају приликом сеизмичких дејстава.

Друга врста истраживања, креће се у правцу могућности мобилисања стаклених панела у циљу стабилизације целокупне челичне фасаде. У лабораторијским испитивањима на ову тему, оптерећење се углавном посматра као статичко. Даје се нагласак на утицај различитих врста веза (од епоксија и полиуретана) са различитим начином ослањања - директно чеono ослањање, бочно обострано и бочно једнострано. У доступној литератури, постоје прикази истраживања у којима се стаклени панели користе и за стабилизацију дрвених оквира, при чему су веома ретки радови у оквиру којих је спроведено тестирање под динамичким оптерећењем. Главни извор дисипације енергије је клизање између стаклених панела и дрвеног оквира, као и у чворвима самог дрвеног оквира.

Поређење истраживања приказаног у овој дисертацији са истраживањима у тој области из примера у литератури, показују оригиналност предметног истраживања, како у смислу јединственог концепта композитног склопа који је предмет истраживања, тако и у смислу примењених третмана током лабораторијског испитивања и рачунске анализе.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат је у оквиру докторске дисертације користио обимну литературу и изворе из области грађевинских материјала, динамике конструкција, лабораторијских испитивања предметних материјала, механике лома и теорије конструкција. Избор, обим и квалитет библиографских јединица указује на то да је кандидат упознат са кључним теоријским поставкама пројектовања сеизмички отпорних архитектонских објеката, као и са релевантним примерима у области коју истражује. Такође, кандидат на одговарајући начин користи изворе за аргументацију својих ставова. Заснована на изузетно широком и сложенем референтном оквиру, дисертација се позива на укупно 136 библиографских јединица.

Као најзначајнији извори коришћени у истраживању издвајају се:

- Haldimann, Dr M., Luible, Dr A., Overend, Dr M. (2008). *Structural use of glass*. Zürich, International Association for Bridge and Structural Engineering.
- Шумарац, Д., Крајчиновић, Д. (1990). *Основи механике лома*. Београд, Научна књига, Грађевински факултет Универзитета у Београду.
- Ђорић, Б., Салатић, Р. (2011). *Динамика грађевинских конструкција*. Београд, Грађевинска књига.
- Clough, Ray W., Penzien, J. (1975). *Dynamics of Structures*. McGraw-Hill Kogakusha.
- Deretić-Stojanović, Dr. Biljana, Dunica, Dr. Šerif. (2008). *Otpornost materijala*. Beograd, građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Bathe, K-J. (1982). *Finite element procedures in engineering analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- Мурављов, М., Јевтић, Д. (2013). *Извештај о лабораторијским испитивањима физичко–механичких својстава ламелираног стакла и клирита*. Институт за материјале и конструкције Грађевинског факултета Универзитета у Београду
- Mitrović, R., Stamenić, Z., Mišković, Ž., Ćorić, B., Terzović, J., Mandić, R., Srećković, G. (2014). *Izveštaj o laboratorijskom ispitivanju eksperimentalnog modela sa ispunom od lameliranog stakla / polikarbonata na dejstvo dinamičkog opterećenja*. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.
- Sekulović, Dr. Miodrag. (1984). *Metod konačnih elemenata*. Beograd, Građevinska knjiga.
- Timošenko, S. P., Jang, D. H. (1968). *Teorija konstrukcija*. Beograd, Građevinska knjiga.
- Mihailidi, M., Stanković, I., Paštrakuljić, M., Stojanović, A., Tatić, J., Janać, S. (1971). *Inženjersko tehnički priručnik – Materijali*. Beograd, IP Rad.
- Maneski, T. (1998). *Kompjutersko modeliranje i proračun struktura*. Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Maneski, T., Milošević-Mitić, V., Ostrić, D. (2002). *Postavke čvrstoće konstrukcija*. Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Maneski, T. (2002). *Rešeni problemi čvrstoće konstrukcija*. Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Sucuoglu, H., Vallabhan, C. V. G. (1997). *Behaviour of window glass panels during earthquakes*. Elsevier Science Ltd, Engineering structures, Vol. 19, No. 8.
- Huversnes, E. M. P., van Herwijnen, F., Soetens, F., Hofmeyer, H. (2007). *Glass panes acting as shear wall*. Technische Universiteit Eindhoven, Faculty of Architecture, Building and Planning Group, Structural Design Heron, Vol. 52.
- Bedon, C., Amadio, C. (2012). *Buckling of flat laminated glass panels under in-plane compression or shear*. Elsevier Science Ltd, Engineering structures 36.
- Bedon, C., Amadio, C. (2015). *Effect of circumferential sealant joints and metal supporting frames on the buckling behaviour of glass panels subjected to in-plane shear loads*. Springer International Publishing, Glass Structure Engineering.
- Krstevska, L., Taškov, Lj., Rajčić, V. (2013). *Seismic Behaviour of Composite Panel Composed of Laminated Wood and Bearing Glass – Experimental Investigation*. Trans Tech Publications Switzerland, Advanced Materials Research, Vol. 778.

- Štrukelj, A., Ber, B., Premrov, M. (2015). *Racking resistance of timber-glass wall elements using different types of adhesives*. Elsevier Science Ltd, Construction and Building Materials 93.
- Abarca, A. M. (2003). *Tests performed on Laminated Glass Bonded With a New Interlayer Composition*. Texas Tech University, A Thesis in Civil Engineering
- El-Shami, M., Norville, S., Ibrahim, Y. E. (2012). *Stress Analysis of Laminated Glass With Different Interlayer Materials*. Alexandria Engineering Journal, 51.
- Jalham, I. S., Alsaed, O. (2011). *The Effect of Glass Plate Thickness and Type and Thickness of Bonding Interlayer on the Mechanical Behavior of Laminated Glass*. New Journal of Glass and Ceramics.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За истраживање у оквиру предложене докторске дисертације, која се односи на неконвенционалне системе обезбеђења архитектонских објеката од дејства сеизмичких сила, коришћене су следеће методе истраживања:

- анализа података из литературе о савременој употреби конструкционог стакла и клирита у грађевинским конструкцијама;
- лабораторијско испитивање физичко-механичких карактеристика ламелираних пакета од обичног равног стакла и од клирита;
- лабораторијско испитивање понашања композитних склопова на бази ламелираног стакла и клирита, са рамом од челика и амортизујућег кедера, на дејство динамичке силе;
- научни аналитички приступ, заснован на Методи коначних елемената, за разраду рачунарског модела, у циљу провере могућности примене претходно испитаних ламелираних пакета од обичног равног стакла и од клирита за пријем сеизмичких сила.

Примењене научне методе одговарају поглављима рада, при чему централно место заузимају лабораторијска испитивања и то *уводно испитивање* (поглавље 3), које је изведено на Грађевинском факултету у Београду, а које се бави физичко-механичким карактеристикама ламелираног стакла и ламелираног клирита и *главно испитивање* (поглавље 4), које је изведено на Машинском факултету у Београду, базирано на тестирању понашања експерименталних модела под цикличним оптерећењем.

Аналитичке научне методе су примењене у уводном делу (поглавље 2), кроз анализу примене стакла и клирита у савременим грађевинским конструкцијама, а нарочито у завршном делу (поглавље 5), где је анализом студије случаја приказан рачунски део поступка пројектовања сеизмички отпорних архитектонских објеката.

Изабране научне методе истраживања, у потпуности су адекватне за предложену тему, обзиром да се ради о неконвенционалној примени материјала, што обавезно захтева релевантна лабораторијска испитивања упоредо са рачунским анализама.

3.4. Применљивост остварених резултата

Одлучујућа особина стакла, која га квалификује за масовну употребу у грађевинарству, јесте провидност, тако да је стакло врло често пресудни мотив у архитектонском обликовању и организацији архитектонског простора. Провидност отвара пут применљивости стакла у било ком месту у конструкцији архитектонског објекта. Осим стакла, са становишта транспарентности, једнако су прихватљиве и пластичне масе попут поликарбоната, или полиметил-метакрилата (клирит), који имају чак већи степен провидности и од стакла. Испитивања приказана у дисертацији, како у смислу физичко-механичких карактеристика ламелираног стакла и ламелираног клирита, а нарочито испитивања експерименталних модела под цикличним оптерећењем, показала су могућности да се ови широко доступни материјали искористе и у сврху пријема динамичких (сеизмичких) сила.

Упоредно извођење лабораторијских испитивања и рачунских анализа компјутерског модела, дефинишу процедуру – *алгоритам* – за пројектовање сеизмички отпорних архитектонских објеката, коришћењем специфичних материјала, као што су ламелирано стакло и ламелирани клирит. Овакав приступ, уз помоћ специјализованих програмских пакета за анализу конструкција, предлаже нови концепт асеизмичког укрућења конструктивних система.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Докторска дисертација указује да кандидат влада истраживачким методама и теоријским знањима из области конструктивних система и пројектовања конструкција архитектонских објеката. У дисертацији су уочене способности кандидата да препозна и издвоји актуелни проблем истраживања, да у односу на њега препозна и примени теоријске поставке које директно или индиректно одређују проблем и да у односу на њих одреди одговарајући истраживачки контекст и одабере адекватне истраживачке методе.

У теоријској и аргументацијској елаборацији, посебно су препознате способности кандидата да успоставља продуктивне релације теоријских поставки из области архитектуре и конструктивних система и усмерава их ка извођењу закључака.

На основу детаљног увида у дисертацију, комисија је уверена да кандидат поседује потребна знања и вештине за успешно бављење научним радом у области савремених конструктивних система у архитектури и пројектовања конструкција архитектонских објеката и на тај начин доприноси развоју савремене архитектонске теорије и праксе.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Јефта Терзовића, дипл. инж. арх., доприноси развоју уже научне области Конструктивни системи у архитектури.

Као основни допринос који предметно истраживање издваја од до сада спроведених истраживања из ове области, представља увођење широко доступних материјала у неконвенционалну примену. Материјали као што су стакло и клирит, промовишу се кроз своје физичко-механичке карактеристике у конструкционе материјале и то у смислу асеизмичког укрућења архитектонских објеката. То је постигнуто кроз више сложених лабораторијских испитивања, чији су резултати посматрани у међусобној зависности, а истовремено и као улазни параметри и контролне тачке у рачунарској анализи компјутерског модела конструкције. Кроз студију случаја, уз реферисање на лабораторијска испитивања, предложен је поступак пројектовања сеизмички отпорних архитектонских објеката.

Основни допринос предметног истраживања може се разложити на следеће научне доприносе:

- нова примена конструкционог ламелираног стакла и ламелираног клирита у конструкцијама архитектонских објеката;
- дефинисање процедуре – алгоритма – за пројектовање сеизмички отпорних архитектонских објеката коришћењем широко доступних материјала на неконвенционални начин;
- дефинисање система композитних склопова на бази челика, испуне од ламелираног стакла или ламелираног клирита и амортизујућег (интермедијалног) слоја гуме (*кедера*), као концепта за асеизмичко укрућење архитектонских објеката;
- лабораторијско испитивање и анализа физичко-механичких карактеристика стакла и клирита са аспекта оријентације ламелиране структуре;
- лабораторијско испитивање и анализа понашања композитних склопова на бази челика, ламелираног стакла или ламелираног клирита и амортизујуће гуме, под дејством цикличног оптерећења;
- анализа ефикасности предложеног система у смислу укрућења конструкције објекта и у смислу увођења додатног пригушења у конструктивни систем;
- анализа амортизујуће улоге гуме у композитном склопу;
- анализа појаве дисипације енергије у интермедијалном слоју између испуне и оквира у композитном склопу;
- постављање основа за даља теоријска и експериментална истраживања неконвенционалне примене материјала – ламелираног стакла и ламелираног клирита.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Изабрана тема рада је од великог значаја, како за област конструктивних система у архитектури, тако и за савремену архитектонску теорију и праксу и до сада на овакав начин није истраживана. Истраживање примене широко доступних материјала у неконвенционалне сврхе, отвара могућност дефинисања новог концепта асеизмичког укрућења архитектонских објеката. Концепт је применљив на новопроектоване објекте, али и на постојеће објекте, кроз софистицирани поступак санације.

Истраживање детаљно третира ламелирано стакло и ламелирани клирит као конструкционе материјале, од базичног експерименталног утврђивања физичко-механичких карактеристика, до лабораторијског испитивања понашања експерименталних модела композитних склопова под дејством цикличног оптерећења.

Како се ради о примени материјала који су широко распрострањени и доступни у неконвенционалне сврхе, била је неопходна верификација таквог општег концепта сеизмичког укрућења архитектонских објеката и та верификација је изложена у овом раду, најпре кроз лабораторијска испитивања, а затим и рачунарским моделом.

Истраживање представљено у овом раду, као резултат даје прилог пројектовању сеизмички отпорних архитектонских објеката, дефинисањем концепта сеизмичког укрућења помоћу испуне од ламелираног стакла / клирита, уоквирене у челични рам. Концепт обухвата формирање ефикасног композитног склопа, у коме сваки од елемената склопа, има улогу у пријему и третману сеизмичке силе. Испуна (ламелирано стакло / ламелирани клирит) прихвата највећи део сеизмичке силе и смањује деформацију конструкције целог објекта, челични рам уоквирује систем укрућења и интегрише га у глобални конструктивни систем објекта, а гума врши функцију амортизације – пригушења. Осим новопроектованих објеката, такво решење би могло да буде веома применљиво и тамо где није могућа другачија интервенција, у смислу обавезе очувања естетских вредности објекта, као што су културно историјски споменици.

4.3. Верификација научних dopриноса

Категорија M23:

1. Tekić, Z., Nenadović, A., Đorđević, S., **Terzović, J.** (2015) *Metal connector plate – Experimental Determination of Plate Anchorage Capacity*. Tehnički vjesnik – Technical Gazette, 2015, vol. 12, br. 2 (pp. 375-381). (IF=0,579) DOI: 10.17559/TV-20140331200230.

Категорија M33:

2. Nestorović, M., **Terzović, J.**, Mandić, R. (2016) *Steel Frames with Klirit or Glass Infill Subjected to Cyclic Loading*. 4th International Conference Contemporary Achievements in Civil Engineering 2016, Faculty of Civil Engineering, Subotica. Conference Proceedings (pp. 221-228). ISBN 978-8680297-63-7.
3. Mišković, Ž., Stamenić, Z., **Terzović, J.**, Mitrović, R. (2014) *Mechanical testing of metal building construction in earthquake conditions*. 2nd International scientific Conference of Mechanical Engineering Technologies and Applications COMETa 2014, East Sarajevo, Bosnia and Hercegovina. Conference Proceedings (pp. 491-496). ISBN 978-99976-623-1-6.
4. Krstić-Furundžić, A., Kosić, T., **Terzović, J.** (2014) *Konstruktivne karakteristike staklenih krovnih panela*. Peti međunarodni naučno–stručni simpozijum Instalacije & Arhitektura 2014. Arhitektonski fakultet Univerzitet u Beogradu. Zbornik radova (p. 6-12). ISBN: 978-86-7924-133-7.
5. Krstić-Furundžić, A., Kosić, T., **Terzović, J.** (2013) *Architectural Aspect of Structural Glass Roof Design*. COST Action TU0905, Mid-term Conference on Structural Glass – Edited by Jan Belis, Christian Louter and Danijel Mocibob. CRC Press 2013 (pp. 45-52). Print ISBN: 978-1-138-00044-5, e-Book ISBN: 978-0-203-79741-9, DOI 10.1201/b14563-10.
6. Tekić, Ž., Đorđević, S., **Terzović, J.**, Adžić, N. (2012) *Drvena konstrukcija rekreativnog centra u Smedervskoj Palanci*. 4. Internacionalni naučno–stručni skup “Građevinarstvo – nauka i praksa” GNP 2012, Žabljak, Crna Gora. Zbornik radova (str. 591–598).
7. Krstić-Furundžić, A., Kosić, T., **Terzović, J.** (2012) *Architectural Aspect of Structural Design of Glass Facades /Glass Skin Applications/*. Challenging Glass 3, Proceedings of the Conference on Architectural and Structural Applications of Glass, Editors: Bos, Louter, Nijse, Veer (Eds.), Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, IOS Press BV, The Netherlands, June 2012, p. 891-900 (ISBN 978-1-61499-060-4, print, ISBN 978-1-61499-061-1, online; doi: 10.3233/978-1-61499-061-1-891).
8. **Terzović, J.** (2009) *Beogradska konstruktorska škola i formiranje urbanog portreta Beograda*. Nacionalni skup PhIDAC09.NAUKA + PRAKSA 2009, Institut za građevinarstvo Niš. Vol. 12.2/2009 (str. 33-36). ISSN: 1451-8341.
9. Tekić, Ž., Đorđević, S., **Terzović, J.** (2009) *Krovna drvena konstrukcija višenamenske sportske dvorane u Pančevu – čvorne veze*. Internacionalni skup iNDiS 2009. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo. Zbornik radova (pp. 443-450). ISBN: 978-86-7892-220-6.

10. Arsić-Paljić, Lj., **Terzović, J.** (2009) *Prikaz konstrukcije stambenog objekta Nova Aleksandrija u Sočiju, Rusija*. Internacionalni skup iNDiS 2009. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo. Zbornik radova (pp. 53-58). ISBN: 978-86-7892-220-6.
11. Nestorović, M., Ilić, B., **Terzović, J.** (2009) *Ispitivanje eksperimentalnog kompjuterskog modela hale br. 3 Beogradskog sajma u kontekstu razvoja savremenih trodimenzionalnih struktura*. Internacionalni skup iNDiS 2009. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo. Zbornik radova (pp. 337-344). ISBN: 978-86-7892-220-6.
12. Arsić-Paljić, Lj., **Terzović, J.** (2008) *Prikaz konstrukcije sportskog centra u Kuvajtu*. Društvo građevinskih konstruktera Srbije. Simpozijum 2008, Zbornik radova (pp. 225-230). ISBN: 978-86-85073-04-5.
13. Tekić, Ž, Đorđević, S., **Terzović, J.** (2008) *Prikaz krovne konstrukcije sportske dvorane u Pančevu*. Društvo građevinskih konstruktera Srbije. Simpozijum 2008, Zbornik radova (pp. 261-265). ISBN: 978-86-85073-04-5.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације кандидата Јефта Терзовића, дипл. инж. арх., Комисија констатује да је дисертација написана у складу са одабраном темом и да су структура дисертације, проблем и предмет истраживања, примењени научни методи и научне хипотезе, у складу са пријавом теме за коју је Универзитет у Београду дао сагласност. Дисертација у потпуности задовољава научне критеријуме, како у погледу квалитета и научне аргументације, тако и у погледу остварених резултата, научних доприноса и применљивости за будућа истраживања. Кроз израду дисертације, као и кроз објављене радове у монографским публикацијама, зборницима међународних конференција, међународним и домаћим периодичним публикацијама, кандидат је показао способност за самосталан научно-истраживачки рад.

На основу свега претходно наведеног у Реферату, Комисија предлаже Научно-наставном већу Архитектонског факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом **„Пројектовање сеизмички отпорних архитектонских објеката коришћењем панела од конструкционог стакла или поликарбоната“** кандидата Јефта Терзовића, дипл. инж. арх., прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду.

У Београду, маја 2016. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Ментор

Проф. др Миодраг Несторовић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

Проф. др Растислав Мандић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

Проф. др Ташко Манески, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет