

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

1. Датум и орган који је именовао комисију

На својој седници одржаној _____ 2015. године, Наставно-научно веће Факултета за градитељски менаџмент Универзитета Унион–Никола Тесла у Београду именовало је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Смиљане Котур под насловом:

„Вибрације лаких челичних међуспратних конструкција у префабрикованим објектима и утицај неконструктивних зидова на њихове модалне карактеристике“.

2. Состав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива у же научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:

1. **Др Славко Божиловић**, професор емеритус – председник, Факултет за градитељски менаџмент Универзитета Унион–Никола Тесла у Београду, ужа научна област: менаџмент, грађевинарство;
2. **Др Александар Павић**, редовни професор – ментор, Факултет за градитељски менаџмент Универзитета Унион–Никола Тесла у Београду и Универзитет у Екситеру, Велика Британија, ужа научна област: конструкције у грађевинарству;
3. **Др Радомир Фолић**, професор емеритус Универзитета у Новом Саду- члан, ангажован на Факултету техничких наука у Новом Саду и Грађевинско-архитектонском факултету у Нишу, ужа научна област: конструкције у грађевинарству;
4. **Др Александар Вег**, редовни професор – члан, Машински факултет Универзитета у Београду, ужа научна област: теорија механизама и машина;
5. **Др Сузана Копривица**, редовни професор - члан, Факултет за градитељски менаџмент Универзитета Унион–Никола Тесла у Београду, ужа научна област: конструкције у грађевинарству.

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:

Смиљана, Предраг, Котур

2. Датум рођења, општина, република:

4. 12. 1982, Земун, Република Србија

3. Датум одбране, место и назив дипломског – мастер рада или магистарске тезе :

**23.10.2008.г., Грађевински факултет Универзитета у Београду,
„Пројекат носећег стуба далековода називног напона 110 kV“**

4. Научна област из које је стечено академско звање после дипломирања:

Конструкције у грађевинарству

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

„Вибрације лаких челичних међуспратних конструкција у префабрикованим објектима и утицај неконструктивних зидова на њихове модалне карактеристике“

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација садржи 168 стране и 1 страну прилога што је укупно 169 страна, 99 литературна цитата, 13 табела, и 60 слика.

Докторска дисертација садржи укупно **8 поглавља:**

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Динамичко тестирање
4. МКЕ моделирање
5. Метода *FE model updating-a*
6. Резултати и дискусија
7. Закључак
8. Литература

Прилог

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

У првом поглављу истакнута је актуелност теме докторске дисертације са два становишта: 1) кроз евидентан пораст примене префабрикације у грађевинарству, посебно префабрикованих елемената са конструкцијом од хладно обликованих челичних профила (ХОП) и 2) кроз убрзани развој научне области *грађевинских вибрација* који је уследио након учесталих случајева изразито повишених вибрација на различитим типовима грађевинских објеката на почетку 21. века. Пре одређивања предмета истраживања дефинисани су појмови садржани у наслову докторске дисертације, као што су: 1) префабриковани објекти (префабрикација у грађевинарству), 2) грађевинске вибрације, 3) модална анализа конструкције као једна од најважнијих фаза у оквиру поступка провере употребљивости објекта према вибрацијама, 4) лаке челичне таванице и 5) неконструктивни зидови. Затим, дефинисан је предмет истраживања који је двострук и обухвата: 1) модалну анализу лаких челичних међуспратних конструкција у префабрикованим објектима и 2) утицај неконструктивних зидова на модалне карактеристике лаких челичних таваница у префабрикованим објектима. Како би се стекао увид у постојећи систем научног знања о предмету истраживања у Уводу је изложен сажет преглед најважнијих истраживања и резултата саопштених у релевантној литератури. Затим је указано на недостатке у постојећем систему научног знања и на тај начин истакнута је неопходност за спровођењем и састављањем програма нових научних истраживања. У наставку првог поглавља одређени су циљеви истраживања и предложена решења (хипотезе), као и методологија која ће се применити како би се проверила предложена решења (хипотезе). На крају Увода укратко је описана структура докторске дисертације.

Друго поглавље садржи детаљан приказ резултата и закључака досадашњих научних истраживања која се односе на тему докторске дисертације. Овај детаљан преглед литературе у другом поглављу представља образложение ставова о предмету истраживања изнетих у првом поглављу. Друго поглавље је подељено у два дела зато што је предмет истраживања у докторској дисертацији двострук. Стога је први део посвећен вибрацијама лаких таваница, а други део се односи на утицај неконструктивних зидова на модална својства међуспратних система. Како се у литератури могу пронаћи различита објашњења и критеријуми на основу којих се једна таваница може сматрати лаком, нормалном или тешком, на самом почетку првог дела другог поглавља представљено је неколико различитих подела међуспратних конструкција. Затим су приказани резултати испитивања која су спроведена на дрвеним таваницама, а потом и резултати истраживања на лаким

челичним таваницама. Постоји више разлога због којих су дрвене међуспратне конструкције уврштене у преглед литературе. Један од њих је чињеница да се у научној литератури неретко примењују прописи који важе за дрвене конструкције у анализи вибрација лаких челичних конструкција. Према томе, упоредна анализа је неопходна како би се утврдиле сличности и разлике у њиховом вибрацијском понашању. Потребно је истаћи да вибрације лаких челичних таваница до данас нису третиране као посебна научна тематика у оквиру грађевинских вибрација. Стога ова докторска дисертација представља значајан допринос у том правцу. У другом делу другог поглавља приказани су резултати и анализе саопштени у истраживањима везаним за утицај неконструктивних зидова на модалне карактеристике међуспратних конструкција. Указано је на широк спектар параметара везаних за неконструктивне зидове који утичу на модална својства таваница.

Треће поглавље обухвата: 1) опис објекта на којем је спроведено динамичко тестирање, 2) приказ коришћене методологије и опреме, 3) објашњење поступка обраде експерименталних резултата и 4) анализу добијених модалних карактеристика испитиване конструкције. Мерења су извршена на прототипу префабриковане зграде са конструкцијом од ХОП и фасадним/кровним облогама у виду сендвич панела. Динамичко тестирање је спроведено у две фазе: 1) на објекту без преградних зидова (прва конфигурација) и 2) на објекту са преградним зидовима (друга конфигурација). Обрада регистрованих података извршена је за сваку фазу посебно. Поглавље садржи доволно података и информација који су неопходни да би експериментално испитивање могло да се понови, а резултати провере. Нису пронађени недостаци у самом поступку описаног динамичког тестирања, као ни у процесу обраде резултата. Према томе, добијене експерименталне модалне карактеристике се сматрају валидним.

Четврто поглавље садржи детаљан опис и објашњења везана за развијање нумеричких модела. Сви модели засновани су на методи коначних елемената (МКЕ). За прву конфигурацију направљена су два МКЕ модела. Први МКЕ модел развијен је помоћу препорука које се могу пронаћи у стручној и научној литератури, док је други МКЕ модел настао у циљу превазилажења недостатака првог МКЕ модела. Први МКЕ модел је уједно и предложено решење првог дела научног проблема дефинисаног у Уводу (прва хипотеза). У случају друге конфигурације развијена су три МКЕ модела. Први МКЕ модел направљен је по угледу на модел неконструктивног зида који је већ развијен и описан у постојећој научној литератури. Као и у случају прве конфигурације овај МКЕ модел је уједно и предложено решење другог дела научног проблема дефинисаног у Уводу (друга хипотеза). У четвртом поглављу приказан је детаљан прорачун свих параметара неопходних за креирање МКЕ модела. Поглавље садржи доволно података и објашњења да би се прорачун могао поновити и да би се добијене вредности параметара могле проверити.

У петом поглављу приказана је метода *FE model updating*-а. Ова метода није широко позната и не примењује се у великој мери у грађевинарству, стога је исправна одлука да се овој методи посвети посебно поглавље. Техника *FE model updating*-а користи се са циљем да се минимализују разлике између измерених и нумеричких модалних карактеристика. Обично се у поступку *FE model updating*-а користе специјализовани програми, али у овој докторској дисертацији примењени су оптимизациони алгоритми садржани у истом софтверском пакету у којем су пре тога развијени МКЕ модели конструкције. Примена оптимизационих алгоритама заснована је на концепцијској сличности између поступка *FE model updating*-а и процеса оптимизације пројекта. У првом делу петог поглавља изложене су теоријске основе методе *FE model updating*-а. Затим, у другом делу истог поглавља су приказане оптимизационе методе садржане у програмском пакету. На крају поглавља је објашњено како су методе оптимизације коришћене у поступку *FE model updating*-а.

Шесто поглавље садржи резултате истраживања и дискусију, односно анализу добијених резултата. Корелација измерених и МКЕ модалних карактеристика квантifikована је помоћу релативне грешке у случају својствених фреквенција и помоћу MAC (*Mode Assurance Criterion*) вредности у случају својствених облика. Почетни МКЕ модели унапређени су применом методе *FE model updating*-а. У овом поглављу оповргнуте су обе хипотезе дефинисане у Уводу стога је било неопходно развити нове стратегије моделирања и за прву и за другу конфигурацију. Унапређени други МКЕ модел у случају прве конфигурације и унапређени трећи МКЕ модел у

случају друге конфигурације су у одличној корелацији са експерименталним резултатима. За оба МКЕ модела обезбеђена је физичка интерпретација коначних вредности параметара добијених у процесу *FE model updating*-а.

У седмом поглављу концизно су приказани кључни резултати и закључци спроведеног истраживања. Истакнути су најзначајнији доприноси и предложени су могући правци за будућа истраживања.

У додатном поглављу Литература наведена је листа: књига, журналских и конференцијских чланака, мастер и докторских дисертација, извештаја научних пројеката, стручних прописа и извештаја везаних за истраживања тржишта, који су коришћени у докторској дисертацији.

Комисија сматра да је докторска дисертација Смиљане Котур написана јасно и прецизно па је разумљива, а само истраживање је вредно у оквиру актуелне тематске области.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Списак радова објављених у часописима са SCI листе:

Petrovic-Kotur, S. and Pavic, A. (2016), “Vibration Analysis and FE Model Updating of Lightweight Steel Floors in Full-Scale Prefabricated Building”, Structural Engineering and Mechanics. Рад прихваћен за објављивање. (**M22/M23**)

Списак радова објављених у зборницима:

1. **Petrovic, S.** and Pavic, A. (2011), “Effects of Non-structural Partitions on Dynamic Properties of Floor Structures: A Literature Review”. Proceedings of EURODYN 2011 Conference, Leuven, Belgium, 4-6. July 2011. (**M33**)
2. **Petrovic, S.**, Koprivica, S. and Terzic, A. (2011), “Doctoral Studies: Implementation and Performance of Education and Research Program at the Faculty of Construction Management in Belgrade”. Proceedings of EUCEET Association Conference “New Trends and Challenges in Civil Engineering Education”, Patras, Greece, 24.-25. November 2011. (**M33**)
3. **Petrovic, S.**, Pavic, A., Koprivica, S. and Kotur, M. (2012), “The Impacts of Non-structural Partitions on Vibration Performance of Floor Structures - Design Guidelines”. Proceedings of „12th International Scientific Conference on Planning, Design, Construction and Building Renewal - iNDiS 2012“, Novi Sad, Serbia, 28.-30. November 2012. (**M33**)

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Резултати истраживања у дисертацији се могу сумирати кроз следеће главне закључке:

1. Експериментални резултати су указали на значајно учешће виших сопствених тонова у одзиву лаке челичне таванице (доминација локалних тонова на FRF дијаграмима и транзијентни максимуми на дијаграмима убрзања). Стога је закључено да се верификација аналитичких/нумеричких модела не сме спроводити само за основни тон како је то био случај у досадашњим истраживањима, већ и за више сопствене тонове;
2. Тестирана таваница се понашала као систем са неравномерно распоређеном крутошћу и масом по јединици површине, односно у оквиру испитиване међуспратне конструкције издвојио се подсистем (спрегнута плоча са попречним гредама), који је учествовао у одзиву са својим модалним карактеристикама;

3. Еластични ослонци зграде проузроковали су интеракцију таваница, односно ангажовање целе конструкције зграде у свим посматраним тоновима. Сходно томе, аналитичке процедуре садржане у актуелним прописима које подразумевају анализу издвојених међуспратних система (са идеализованим граничним условима) су у овом случају биле непримењиве;
4. Преградни зидови нису значајно променили модалне карактеристике испитиваног објекта. Сопствене фреквенције свих посматраних сопствених тонова су порасле за максималних 6,1%. Пригушења су углавном порасла (сем за четврти сопствени тон), а први сопствени тон у којем је цела зграда осцилovala у вертикалном правцу је ишчезао;
5. Почетни MKE модел за испитивану зграду без преградних зидова (прву конфигурацију) развијен је уз помоћ предлога за MKE моделирање понуђених у пројекту ACOUSVIBRA (2008). Велика одступања нумеричких од експерименталних сопствених фреквенција (до 41%) указала су на неопходност промене полазних претпоставки и развој нове стратегије моделирања. Стога су уведене полу-круте везе на контакту спретнуте плоче и греда, затим, између попречних и главних греда, као и између главних греда и стубова. Поред тога, везе фасадних зидова и конструктивног скелета зграде су такође моделиране као полу-круте. Прорачун крутости веза спроведен је у складу са методама и процедурима које су предвиђене за статичка оптерећења, и у појединим случајевима за топло-ваљање челичне конструкције будући да су упутства за моделирање хладно-обликovanих конструкција значајно ређа и непотпунија;
6. Унапређење MKE модела спроведено је применом методе FE model updating-a. Први пут за ту сврху коришћени су оптимизациони алгоритми садржани у програму ANSYS. Сама процедура је ефикаснија од оних које су до сада биле у пракси зато што су све фазе аутоматизоване;
7. Постигнута је одлична сагласност експерименталних и нумеричких резултата добијених помоћу унапређеног MKE модела прве конфигурације. Највећа разлика између својствених фреквенција је 0,2%, док су MAC вредности за све тонове веће од 90%;
8. Коначне крутости веза (вредности добијене у процесу FE model updating-a) упутиле су на следеће закључке. Дебљина лима чеоне плоче значајно утиче на крутост везе између две греде или између греде и стуба. Везе конструисане са танким лимовима (3mm и 4mm) понашале су се као зглобне, док су се везе са дуплим чеоним лимовима дебљине 18mm понашале као апсолутно крутве. Стога, може се закључити да се танки лимови који се користе за конструисање веза између ХОП-а највероватније деформишу и при оптерећењима малог интензитета као што су грађевинске вибрације.
9. Коначна крутост смичујућих веза између фасадних зидова и конструктивног скелета зграде је мања од почетне, тј. статичке, крутости. Претпоставља се да како је трење између елемената превазиђено крутост везе диктирају: несавршености елемената, зазори између спојних средстава и рупа, ефекти другог реда као што је обртање спојног средства у рупи, локално избочавање танких лимова ХОП-а итд. Ови фактори постају посебно значајни када се узме у обзир да су померања услед силе ходања изразито мала и да мењају смер у току времена;
10. Развијена су три различита MKE модела тестирање зграде са преградним зидовима (друга конфигурација). Модели су се разликовали само по начину представљања преградних зидова. У првом MKE моделу преградни зидови замењени су вертикалним опругама везаним за кровни панел на једном крају и подну таваницу на другом крају. Маса зида уведена је преко концентрисаних маса распоређених на подној таваници у правцу пружања зида. У другом MKE моделу преградни зид је детаљно представљен са свим компонентама, као што су каналице, ступци и гипсани панели. Све везе између компоненти зида, као и између зида и зграде, су усвојене као апсолутно крутве. У трећем MKE моделу уведене су полу-круте везе између гипсаних панела и потконструкције, као и преградног зида и зграде, тј. подне тавнице, кровног панела и фасадних зидова. Најбоља сагласност између нумеричких и експерименталних сопствених фреквенција постигнута је у случају трећег MKE модела;
11. Коначне крутости веза добијене у поступку FE model updating-a трећег MKE модела друге конфигурације упућују на закључак да се преградни зид пуне висине понашао као полу-преграда. Разлози су, највероватније, проклизавање у вези између потконструкције

преградног зида и кровног панела (веза је иначе пројектована као флексибилна, ако се превазиђе почетно трење), као и деформација еластичног материјала (составни део закивака) у споју фасадних зидова и ивичних стубаца преградног зида. Веза између преградног зида и подне таванице је била полу-крута због еластичне структуре траке за звучну изолацију залепљене за доњу каналицу (и смештене између каналице и подне таванице).

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Докторска дисертација је добро структуирана, а добијени резултати истраживања су прегледно приказани и јасно и систематски изложени. Уз све приказане резултате и њихову дискусију, дата су и одговарајућа објашњења и критички осврт на њихово вредновање, у складу са владајућим ставовима науке у области истраживања. Текст је оптимално илустрован, тј. поткрепљен одговарајућим сликама и графиконима. На основу резултата истраживања и њиховог критичког разматрања, изведени су закључци који дају јасне одговоре на постављена полазишта и циљеве истраживања.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. Да ли је дисертација написана у складу са објашњењем наведеним у пријави теме?

Комисија констатује да је докторска дисертација Смиљане Котур написана у складу са објашњењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Докторска дисертација садржи све битне елементе: опис предмета и циљеве истраживања, полазне хипотезе и методологију, преглед досадашњих истраживања везаних за област и тему дисертације, оригинално експериментално испитивање конструкција конкретног грађевинског објекта, оригинални прорачун и развијање нумеричких модела, јасну и објективну анализу резултата и систематичан приказ најважнијих закључака и доприноса.

3. По чому је дисертација оригиналан допринос науци?

Оригиналан допринос науци огледа се у добијању увида у понашање лаких челичних таваница изложених грађевинским вибрацијама, као и оних везаних за утицај неконструктивних зидова на модална својства лаких челичних таваница. У дисертацији су развијени стратегија моделирања и нови модел за анализу лаких челичних таваница и неконструктивних зидова у оквиру модалне анализе помоћу којих су постигнути одлични резултати. Дисертација има и практичан значај зато што се нове стратегије моделирања могу применити у анализи вибрација и провери граничних стања употребљивости према вибрацијама код префабрикованих објеката са конструкцијом од ХОП.

На основу детальног прегледа и анализе докторске дисертације, а узимајући у обзир и верификацију резултата кроз њихово објављивање у референтном међународном часопису и на међународним научним скуповима, комисија констатује да достављена докторска дисертација представља оригинални научни рад.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања?

Комисија констатује на основу детальног прегледа да докторска дисертација не садржи недостатаке

који би утицали на резултате истраживања.

X ПРЕДЛОГ

На основу укупне оцене докторске дисертације кандидаткиње Смиљане Котур под насловом „**Вибрације лаких челичних међуспратних конструкција у префабрикованим објектима и утицај неконструктивних зидова на њихове модалне карактеристике**“ комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета за градитељски менаџмент Универзитета Унион–Никола Тесла да се докторска дисертација прихвати и да се кандидаткињи одобри одбрана.

У Београду, 2016.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Др Александар Павић, ред. проф.
Факултета за градитељски менаџмент
у Београду, ментор

Др Славко Божиловић, проф. емеритус
Факултета за градитељски менаџмент
у Београду, председник

Др Радомир Фолић, проф. емеритус
ФТН Универзитета у Новом Саду, члан

Др Александар Вег, ред. проф.
Машинског факултета
у Београду, члан

Др Сузана Копривица, ред. проф.
Факултета за градитељски менаџмент
у Београду, члан