



**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ**

Булевар краља Александра 73  
Поштански фах 895, 11001 Београд  
Телефон (011) 3218-501  
Телефакс (011) 3370-223

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ  
ГРАЂЕВИНСКО-УРБАНИСТИЧКИХ НАУКА

У прилогу дописа достављамо Вам материјал за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији **Al-Wazni Saad, магст.инж.грађ.** под насловом:

**„ДЕТЕКЦИЈА И ЛОКАЛИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА ПРИ МОНИТОРИНГУ  
СТАЊА ГРАЂЕВИНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА”**

**„ DAMAGE DETECTION AND LOCALIZATION FOR CIVIL STRUCTURAL  
HEALTH MONITORING”**

Прилог:

1 примерак обрасца 04

1 примерак реферата о оцени и одбрани

1 примерак одлуке о прихватању реферата о оцени и одбрани

1 примерак докторске дисертације

CD

Сви прилози прослеђени на e-mail

ШЕФ СЛУЖБЕ ЗА СТУДЕНТСКА ПИТАЊА

Тамара Вукша, дипл.педагог

Грађевински факултет  
Бр.1/15  
Септембар 2016

### **ЗАХТЕВ**

**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 47.ст.5 тач.4.Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета”, број 162/11-пречишћен текст, 167/12, 172/13 и 178/14), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији:

Кандидат **SAAD /Jabbar/ Al-Wazni , магст.инж.грађ.**

Студент докторских студија на студијском програму **грађевинарство**

Пријавио је докторску дисертацију под насловом:

**„ДЕТЕКЦИЈА И ЛОКАЛИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА ПРИ МОНИТОРИНГУ  
СТАЊА ГРАЂЕВИНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА”  
„ DAMAGE DETECTION AND LOCALIZATION FOR CIVIL STRUCTURAL  
HEALTH MONITORING”**

Универзитет је дана 21. 04. 2015. године својим актом под бр.61206-1340/2-15 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

**„ДЕТЕКЦИЈА И ЛОКАЛИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА ПРИ МОНИТОРИНГУ  
СТАЊА ГРАЂЕВИНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА”  
„ DAMAGE DETECTION AND LOCALIZATION FOR CIVIL STRUCTURAL  
HEALTH MONITORING”**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата образована је на седници одржаној 07.07. 2016.године одлуком Факултета бр. 48/7-15 у саставу:

1. Ван.проф. др Зоран Мишковић, дипл.грађ.инж
2. Ван.проф. др Ратко Салатић, дипл.грађ.инж.
3. Проф. др Миленко Стегић, дипл.инж.маш., проф.у пензији/ Факултет стројарства и бродоградње Свеучилиштва у Загребу/
4. Доц. др Наташа Прашчевић, дипл.грађ.инж.

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 08.09.2016. године.

**ДЕКАН ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА**

**Проф. др Бранко Божић, дипл. геод.инж.**

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Извештај о оцени докторске дисертације кандидата Саада Ал Вазнија (Saad Al-Wazni)

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду број 48/7-15 од 08.07.2016.године, на основу члана 58. став 1. тачка 23. Статута Грађевинског факултета Универзитета у Београду, именовани смо за чланове комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Саада Ал Вазнија (Saad Al-Wazni), дипл. грађ. инж. под насловом:

**ДЕТЕКЦИЈА И ЛОКАЛИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА ПРИ МОНИТОРИНГУ СТАЊА  
ГРАЂЕВИНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА**

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

**ИЗВЕШТАЈ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Докторска дисертација Саада Ал Вазнија (Saad Al-Wazni) пријављена је 23.01.2015. године на Грађевинском факултету Универзитета у Београду под насловом „Детекција и локализација оштећења грађевинских конструкција током праћења стања конструкција мерењем амбијенталних вибрација применом оптимизационе методе „симулираног каљења“ (на енглеском језику: „Detection and localization of damages in civil structures in structural health monitoring by ambient vibration measurements and application of Simulated annealing optimization method“). На седници Наставно-научног већа која је одржана 29. 01. 2015. године именована је комисија за пријем теме. Наслов дисертације је промењен на предлог и према Извештају комисије за пријем теме докторске дисертације број 48/2 од 13.05.2015.године. Кориговани наслов теме на српском и енглеском језику су “Детекција и локализација оштећења при мониторингу стања грађевинских конструкција“ и „Damage detection and localization for civil structural health monitoring“.

Позитиван извештај комисије за пријем теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета 19.03.2015. године, а за ментора је именован

проф. др. Зоран Мишковић са Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 21. 04. 2015. године дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Саада Ал Вазнија (Saad Al-Wazni).

Кандидат је урађену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 29.06.2015. године.

Именовани ментор, проф. др Зоран Мишковић, дипл. грађ. инж., испуњава важеће критеријуме Универзитета у Београду, а референце су као што следи:

1. Miodrag Malović, Ljiljana Brajović, **Zoran Mišković**, Šekara Tomislav, (2015), *Simultaneity Analysis In A Wireless Sensor Network*, Polish Academy of Science, Metrology and Measurement Systems, vol. 22 No. 2, pp. 275-288., ISSN 2300-1941 , DOI 10.1515/mms-2015-0022., (M23)
2. Ivan S. Ignjatović, Snežana B. Marinković, **Zoran M. Mišković**, Aleksandar R. Savić, (2012), *Flexural behaviour of reinforced recycled aggregate concrete beams under short-term loading*, RILEM, Materials and Structures, Vol.45, No.-10, (October), pp.1-15, ISSN 1871-6873, DOI 10.1617/s11527-012-9952-9, (M21)
3. Branko Milovanović, **Zoran Mišković**, Zagorka Gospavić, Milivoj Vulić, (2011), *Modelling Behaviour of Bridge Pylon for Test Load using Regression Analysis with Linear and Non-linear process*, Geodetic journal, Croatian geodetic society, Vol.65 (88), No.3 (Sep.2011.), pp.205-220, ISSN0016-710X, UDK 624.21-21:624.042.8:528.482:004.92, (M23)
4. **Miskovic, Z.**, Pavic, A.; Reynolds, P., (2009) *Effects of full-height nonstructural partitions on modal properties of two nominally identical building floors*, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.36, No.7 (July 2009), NRC Research Press, pp. 1121-1132(12), ISSN 1121-1132, DOI 10.1139/L09-055, (M23)
5. Pavić A., **Miskovic Z.**, Reynolds P., (2007) , *Modal Testing and Finite-Element Model Updating of a Lively Open-Plan Composite Building Floor*, (2007), ASCE – Journal of Structural Engineering, Vol.133, No-4 , pp.550-558., ISSN: 0733-9445, DOI 10.1061/(ASCE)0733-9445(2007)133:4(550), (M21)
6. Brajović Lj., **Mišković Z.**, Uskoković P., Živković I., Aleksić R. (2004) *Fatigue damage detection in composite rods using fiber optic intensity based sensors*, Materials Science Forum Edition, pp. 497-504, May 2004, ISBN 0255-5476 ISSN/ISO: Mat.Sci.For., DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.453-454.497, (M23)

## 2. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Саад Ал-Вазни (Saad Al-Wazni), дипл.грађ.инж. – мастер, студент докторских студија на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, рођен је у Наџафу (Ирак) 25.03.1975. године, где је завршио основну и средњу школу (гимназију).

Грађевински одсек Колеца за инжењерство Универзитета Куфа у Наџафу уписао је 1993. године, где је 1997. године завршио основне студије и стекао звање дипломираног грађевинског инжењера (BSc) одбравивши завршни рад под насловом "*Analysis and Design of Prestressed Highway Bridge*".

Високу диплому стекао је на Одсеку за зграде и грађевинарство Универзитета за технологију у Багдаду – једногодишње студије (што одговара мастер курсу са називом *Heigh dipl.*) из области грађевинарства.

Након тога, кандидат је уписао магистарске студије на Одсеку за зграде и грађевинарство Универзитета за технологију у Багдаду 1998. године (трогодишње студије), а које је завршио 2001. године са просечном оценом 7.68, одбранивши магистарски рад под насловом "*Stresses due to triaxle loads of the interior of a concrete pavement slab on Filoniko-Borodich foundation*".

Докторске студије на Одсеку за конструкције Грађевинског факултета у Београду уписао је 2011. године, трећу годину студија 2013. године положивши све предвиђене испите Програмом докторских студија са просечном оценом 9.50.

Након дипломирања, запошљава се у приватној фирми из Наџафа, Ирак, у којој ради као инжењер пројектант конструкција. Септембра 2002. године се запошљава у државној фирми у Наџафу као инжењер пројектант за челичне и бетонске конструкције.

Кандидат је од 2002. године запослен на Грађевинском одсеку државног Колеца за инжењерство Универзитета Куфа у Наџафу, у својству асистента (assistant lecturer) од стране Министарства високог образовања и научног истраживања Ирака, где је и тренутно запослен. Као асистент учествује у извођењу наставе из предмета:

- Mechanical Engineering (Theory) /2000-2001/ Lectures at University of Technology
- Survey Engineering (Theory) /2000-2001 / Lectures at University of Technology
- Concrete design (Theory) /2001-2002 / Lectures at University of Technology
- Foundation design (Theory) /2001-2002 / Lectures at University of Technology
- Traffic Eng. (Tutorial) Third stage/2005-2006/ Lectures at University of Kufa
- Survey Eng. (Laboratory) Second stage/2005-2006
- Survey Eng. (Theory) Second stage /2006-2007
- Computer application and programming (Theory) First stage/2007 - 2008 for CE &WRE department
- Highway Eng. (Laboratory) Fourth stage/2007 – 2008
- Survey Eng. (Theory) Second stage/2008 – 2009 for CE &WRE department
- Survey Eng. (Theory) Second stage/2009 – 2010
- Survey Eng. (Laboratory) Second stage/2009 – 2010

Исто тако, обавља многе послове током наставе на факултету, води неколико лабораторија, члан је и помоћник директора истражног комитета и одговоран је за праћење и објављивање радова запослених у ЦЕ одељењу.

Као пројектант учествовао је у изради неколико десетина идејних решења, идејног пројекта, главних пројеката и стручних мишљења за објекте као што су куће, зграде, аутопутеви, јавни објекти, спортски објекти, индустријски објекти, мостови преко река у Ираку.

Професионално искуство кандидата укључује чланство у пројектантским тимовима приликом пројектовања већег броја зграда, мостова и других конструкција. Кандидат је члан више стручних и научних комитета, и то:

- Member of Iraqi Engineers Union / 1997
- Member of Civil Engineering Department of the Collage of Eng. Univ. of Kufa – Najaf / 2002
- Scientific responsible of survey engineering laboratory / 2006
- Member of examining committee / 2006-2007
- Asst. director of examining committee / 2007-2008
- Member of examining committee / 2008-2009
- Responsible of follow up the published papers of CE Department Members / 2008-2010

Такође, члан је Ирачког друштва инжењера и поседује овлашћење за пројектовање и извођење грађевинских конструкција.

Саад Ал-Вазни (Saad Al-Wazni) је аутор и коаутор више научних и стручних радова из области бетонских и челичних конструкција, који су објављени у часописима националног значаја и у зборницима националних и међународних конференција.

Публиковани радови су из области димензионисања при смицању и савијању армиранобетонских конструкција са и без додатих влакана (fibers), као и модалне анализе и детекције оштећења грађевинских конструкција.

Такође, на седници Катедре за материјале и конструкције одржаној 21.01.2015.године, презентирао је Приступни рад – одбрана теме докторске дисертације под истим насловом као и предложена тема дисертације, а који је прихваћен од стране катедре.

Тренутно је студент докторских студија на Грађевинском факултету Универзитета у Београду као стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Владе Републике Србије у оквиру програма научно-техничке сарадње "Свет у Србији".

Саад Ал-Вазни (Saad Al-Wazni) говори и пише енглески језик. Ожењен је и отац детета.

### **3. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О ДИСЕРТАЦИЈИ**

#### 3.1. Научна област дисертације

Тема дисертације је из области техничко-технолошких наука, а научна област је грађевинарство (грађевинско инжењерство). Ужа научна област, дефинисана Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду, је Грађевински материјали, технологија бетона и испитивање конструкција.

#### 3.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација „*Детекција и локализација оштећења при мониторингу стања грађевинских конструкција*“ Саада Ал-Вазнија (Saad Al-Wazni), садржи укупно 381 страну од којих је основни текст приказан на 340 страна. Дисертација је писана на енглеском језику. У оквиру текста дисертације налази се 130 слика и 53 табеле. Списак цитиране литературе садржи 143 наслова. На почетку дисертације су дати резиме на српском и енглеском језику, са кључним речима и УДК бројем, као и биографија аутора на крају дисертације.

Дисертација је технички обликована према упуштвима Сената Универзитета у Београду и посебним упуштвима за обликовање штампане и електронске верзије доктората. Садржи обавезна поглавља и обрасце: изјава о ауторству, изјава о истоветности електронске и штампане верзије и изјава о коришћењу.

### **4. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Предмет дисертације су експериментална и нумеричка анализа одговора конструкције у неоштећеном и оштећеном стању, као и унапређење постојећих метода детекције и локализације оштећења.

Главни циљ ове дисертације је дефинисање нове процедуре за детекцију и мониторинг оштећења без деструкције конструкције (Structural Health Monitoring - SHM). Анализирана метода се односи на испитивање динамичких карактеристика конструкције са циљем да се открију оштећења током оперативног стања конструкције и радног века.

Експерименталним проверама на моделима конструкције, симулацијом различитих типова оштећења како по интензитету тако и положају, извршена је верификација унапређеног алгоритма детекције и локализације оштећења, чиме је потврђена могућност и ефикасност примене код реалних грађевинских конструкција.

## 5. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ

Хипотезе које су биле полазна основа за истраживање, потврђене су у дисертацији:

- Динамичке карактеристике конструкцијских система са и без оштећења разматрају се у еластичном домену;
- Модалне карактеристике одређују се на основу регистрованих амбијенталних вибрација конструкцијских система на основу мерења убрзања у репрезентативном скупу тачака конструкције које одсликавају модалне облике неколико првих тонова;
- Идентификацију конструкцијских параметара могуће је извршити актуелним методама FDD – Декомпозиције у фреквентном домену, SSI – идентификација у оквиру поддомена регистрованог конструкцијског одговора;
- Приликом нумеричког моделирања МКЕ укључују се ефективне крутости релевантних елемената;
- Усаглашавање нумеричког модела спроведено је одговарајућом параметарском анализом варијацијом релевантних конструкцијских параметара у оквирима који су сагласни са могућим опсезима истих;
- Функција која описује сагласност одговарајућег експерименталног и нумеричког одговора укључије најрелевантније параметре: сопствене фреквенције, сопствене и облике осциловања;
- Процена ефикасности примењене методе идентификације извршена је на основу тачности и брзине конвергенције.

## 6. КРАТАК ОПИС САДРЖАЈА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Основни текст разматране докторске дисертације има осам поглавља и пет прилога. На почетку текста су дате листа слика и листа табела, као и преглед коришћених ознака и скраћеница.

Дисертација има десет поглавља. Прво поглавље је увод који описује опште циљеве и иновативне аспекте. У другом поглављу је приказ претходно коришћених метода детекције оштећења у експериментима. Мерења амбијенталних вибрација са свим условима за извођење експеримената су презентирани у трећем поглављу. У истом поглављу су разматране и процедуре за детекцију оштећења и циљне функције. Претходно примењиване методе оптимизације и њихов значај за детекцију оштећења конструкција су у четвртном поглављу. Овај приказ је урађен са циљем да се те методе упореде са Tabu Search (TS) методом и стекне утисак о њеној иновативности. Програм истраживања је у петом поглављу.

Детаљи сваког експеримента и резултати су описани у петом поглављу. У шестом поглављу су нумерички прорачуни који следе након експеримената. Нумерички прорачуни укључују одрживање модалних карактеристика. У седмом поглављу су резултати примењене процедуре и методе оптимизације. Закључци истраживања и препоруке за даља истраживања су у осмом поглављу. Референце су наведене у деветом поглављу, а сви прилози у десетом поглављу ове дисертације.

У разматраној дисертацији представљена је нова процедура како би се унапредио мониторинг стања конструкције (SHM-Structural Health Monitoring), као неструктивног глобалног испитивања конструкције. Она омогућава детекцију оштећења, као и локализацију и квантификацију у грађевинским конструкцијама. Поступак је заснован на испитивању динамичких карактеристика конструкције који се може примењивати у целом периоду експлоатације грађевинског објекта.

Предложени поступак је потврђен на четири типа модела конструкције: слободно ослоњена греда са препустом, роштиљни мост, Вирендел мост и вишеспратна зграда. Поступак се заснива на анализи, експерименталној и нумеричкој, промена динамичких карактеристика: сопствене фреквенције и сопствене форме осциловања.

Експериментална истраживања базирана на мерењу амбијенталних вибрација спроведено је мерењем динамичког одговора модела конструкције помоћу осам акцелерометара. Модалне карактеристике модела одређене су применом софтвера ARTEMIS примењујући Frequency Domain Decomposition (FDD) поступак. Нумеричко моделирање анализирано је помоћу Методе коначних елемената уз помоћ познатог софтвера ANSYS.

Разматрана Structural Health Monitoring (SHM) процедура дефинисана је применом хеуристичке оптимизације како би се детектовала оштећења, локалитет и ниво оштећења. За хеуристичну методу изабрана је оптимизациона метода "симулираног каљења" Simulated Annealing (SA), која је позната као метода која се користи у техникама вештачке интелигенције. Модификована функција циља за SA поступак је дефинисана тако да укључује модалне карактеристике конструкције модела, комбинацију разлика сопствених фреквенција и сопствених облика осциловања за случај неоштећене и оштећене конструкције.

Предложени SHM поступак обухвата процес калибрације, који се аплицира на почетни МКЕ модел како би се усагласио са експериментално одређеним модалним карактеристикама. Усвојена циљна функција за процес калибрације укључује само осетљиве модалне карактеристике сопствених фреквенција конструкције. Коначни резултати модалних карактеристика калибрисаног МКЕ модела имају изражену конвергенцију са модалним карактеристикама добијеним експерименталним путем.

SHM поступак се је потврђен на сва четири модела конструкције, за различите сценарије оштећења, локације оштећења и нивое оштећења. Коначни резултати показали су робустност и високу ефикасност предложеног SHM поступка за детекцију оштећења са исто тако високим нивоом тачности. Добре особине су последица високе ефикасности усвојене хеуристичког методе оптимизација SA, која даје глобалну оптималну вредност са брзом конвергенцијом у малом проценту проверених решења у односу на скуп свих могућих решења.

Изузетни резултати верификације предложеног поступка SHM са примењеном методом оптимизације SA, подразумева способност поступка за идентификацију штете за све врсте једноставних и сложених модела конструкције. Поред тога, предложени SHM поступак, као неструктивна метода испитивања, може се применити на грађевинске конструкције за процену стања у експлоатационом веку конструкције.



## 7. ОСТВАРЕНИ РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Резултат истраживања током израде дисертације су закључци који представљају значајан допринос у области детекције и лоцирања оштећења. Сви научни доприноси предметног истраживања су систематизовани према феноменима на које се односе и таксативно побројани:

1. Истраживањем различитих конструкцијских модела установљено је да тип модела може имати значајан утицај у процесу детекције оштећења, али да примењена SHMUSA (*Structural Health Monitoring Using Simulated Annealing* – Конструкцијски Мониторинг Применом *Симулираног Каљења*) процедура је у стању да тачно или врло блиско открије аплициране сценарије оштећења како код једноставних тако и код сложених типова конструкција.
2. Детаљна карактеристика оштећења за моделе разматране са и без додатних маса, а што резултира у редуцији модалних фреквенција и различитим модалним облицима који су установљени у третираним радним условима.
3. У оквиру усвојеног максималног броја итерација, специфицираног као један од критеријума заустављања процес оптимизације применом симулираног каљења, има значајан ефекат на детекцију аплицираног оштећења. Практично, са великим бројем итерација, током дугог потребног времена, постиже се мало унапређење оптималних решења.
4. Број усвојених параметара у процесу калибрације иницијалног модела КЕ има значајан ефекат на конвергенцију између експериментално и нумерички одређених модалних карактеристика.
5. Примена само модалних фреквенција у процесу калибрације иницијалних модела КЕ је довољна усаглашавање динамичких карактеристика са експериментално одређеним модалним карактеристикама.
6. Укључивањем већег броја модова у процес калибрације, постиже се боља сагласност између одговарајућих модова, посебно код комплексних конструкцијских модела.
7. Укључивањем већег броја модова у предложену процедуру Мониторинга стања конструкција, достиже се већа тачност откривених параметара оштећења, посебно у случају комплексних конструкцијских модела.
8. Избор одговарајућих величина у процесу симулираног каљења има значајан ефекат на перформансе овог хеуристичког метода оптимизације да достигне оптимално решење током кратког времена. Ови параметри су распоред хлађења, иницијална температура и фактор редуције температуре, конфигурација генерисаних суседних решења у области претраживања. Такође, линеарни закон хлађења је довољан за контролу хлађења система.
9. Стандардни метод симулираног каљења са суседним конфигурацијама случајно генерисаним је ефикасан и применљив за једноставне конструкцијске моделе (системе просте греде и греде са препустом). Унапређени метод симулираног каљења са суседним конфигурацијама одређеним скупом генерисаних решења се препоручује и многи је ефикаснији, посебно за комплексне конструкцијске моделе (као што је у истраживању био модел роштилног моста, модел моста са вирендел носачима или модел вишеспратне зграде).

10. Укључивањем већег броја модова у предложену процедуру Мониторинга Стања Конструкција, достиже се већа тачност откривених параметара оштећења, посебно у случају комплексних конструкцијских модела.
11. Повећањем опсега промене селектованих параметара током процеса калибрације модела КЕ, унапређује се компатибилност динамичких карактеристика калибрисаног модела КЕ према експериментално одређеним. Опсег вредности параметара је 5-12% од усвојене иницијалне вредности у иницијалном моделу КЕ.
12. Еквивалентне параметре треба укључивати у нумеричким симулацијама реалних конструкцијских модела, а исти имају значајан утицај на конвергенцију нумерички срачунатих и експериментално одређених модалних карактеристика. Ови параметри су приказани за различите случајеве изучаваних модела, ширина и висина попречног пресека одговарајућих елемената, специфична маса додатних маса и др.
13. Дужина временског записа током регистровања амбијенталних вибрација је врло значајна како би се регистровао рални конструкцијски одговор. Такође, фреквенција узорковања у процесу има значајан ефекат приликом одређивања модалних карактеристика, и како би се избегли нереални модови који су последица присутног шума у подацима.
14. Број мерних тачака током регистровања амбијенталних вибрација има значајан ефекат у презентацији реалних модалних карактеристика – у првом реду модова осциловања. Уколико се поседује мањи броје акцелерометара, могуће је унапредити мерење спровођењем истих у више наврата, а анализу вршити повезивањем свих мерења у једну целину. Такође, фреквенција узорковања у процесу има значајан ефекат приликом одређивања модалних карактеристика, и избегли нереални модови који су последица присутног шума у подацима.
15. Временски записи током регистровања амбијенталних вибрација је врло значајан како би се регистровао рални конструкцијски одговор. Такође, фреквенција узорковања у процесу има значајан ефект приликом одређивања модалних карактеристика, и избегли нереални модови који су последица присутног шума у подацима.
16. Распоред мерних тачака током спровођења мерења је од врло високог значаја како би се добили коректни модови осциловања конструкција, посебно у случају комплексних конструкција.
17. Изузетно добри резултати при детекцији карактеристика оштећења, локације елемента и нивоа оштећења, за примењене сценарије оштећења за сва четири изучавана конструкцијска модела потврђују ефикасност и робусност предложене процедуре идентификације оштећења за примену у Мониторингу стања конструкција.
18. Висок степен прецизности у детекцији оштећења на изучаваним конструкцијским моделима верификује ефикасност примењене хеуристичке методе оптимизација симулираним каљењем за примену код комплексних конструкција и нелинеарних конструкцијских проблема.
19. Метода регистровања амбијенталних вибрација, уз додатну побуду применом адекватног додатног побуђивача, је најадекватнији начин за издвајање модалних карактеристика конструкција, и представља најједноставнији и најјефтинији начин за одређивање реалних модалних карактеристика конструкција.
20. Ретко је могуће применити једну форму функције циља за детекцију оштећења различитих типова конструкција. За примењену форму функције циља датом

једначином (4.32) установљено је да је ефикасна за све типове изучаваних конструкцијских модела са варираним вредностима конструкцијских параметара.

21. Верификација предложене SHMUSA процедуре детекције локације оштећења, за све изучаване конструкцијске моделе, тачно или врло прецизно открива примењени сценарио оштећења. У извесном смислу постоји извесна грешка у детекцији нивоа оштећења током примене предложене процедуре. У овом смислу предложена процедура показује добре карактеристике за примену у реалним конструкцијама, а обзиром да је детекција локације оштећења много важнија од детекције стварног нивоа оштећења.

## 8. ОБЈАВЉЕНИ И САОПШТЕНИ РЕЗУЛТАТИ

Кандидат је објавио, или су у процесу рецензије, следећи радови везани за истраживачки рад докторске дисертације:

1. Zoran Mišković, Saad Al-Wazni, Ahmed Alalikhhan, (2016), *Damage Detection for Civil Structural Health Monitoring Application - A Case Study of the Steel Grid Bridge Structural Model*, Technical Gazette (paper ID: TV-20160411065936 – under revision), ISSN 1330-3651 (print) ISSN 1848-6339 (On-line), (under revision), (M23)
2. Ahmed Alalikhhan, Saad Al-Wazni, Zoran Mišković, Ratko Salatić, Ljiljana Mišković, (2015), *Tests of heuristic optimization techniques in vibration- based damage detection*, (Paper ID: 1410-2015 – under revision), Građevinar – Jorunal of the Croatian Association of Civil Engineers, ISSN (print) 0350-2465, ISSN (on-line) 1333-9095, (under revision), (M23)
3. Mišković Z., Al-Wazni S., Alalikhhan A., Salatić R., *Methods of structural damage detection based on changes of dynamic characteristics*, Civil Engineering Calendar, Vol. 47 (2015) Union o Civil Engineers and Technicians of Serbia, Belgrade, ISBN: 0352-2733, pp. 163-191
4. Mišković Z., Alalikhhan A., Al-Wazni S., Salatić R., Mišković Lj. *Vibration ambient test of GAZELA bridge approach structure in Belgrade*, Proceedings of the 5<sup>TH</sup> International Conference: Civil Engineering – Science and Practice GNP 2014 , Žabljak, 17.-21. February, 2014., University of Montenegro – Faculty of Civil Engineering, Ed. Knežević M., Šćepanović B., ISBN 978-86-82707-23-3, 2014. pp. 261-268
5. Al-Wazni S., Mišković Z., Alalikhhan A., Salatić R., *Comparison of FDD and SSI modal identification methods from ambient vibration data – case study*, Proceedings of the 5<sup>TH</sup> International Conference: Civil Engineering – Science and Practice GNP 2014 , Žabljak, 17.-21. February, 2014., University of Montenegro – Faculty of Civil Engineering, Ed. Knezevic M., Šćepanović B., ISBN 978-86-82707-23-3, 2014. pp. 3-10
6. Alalikhhan A., Al-Wazni S., Mišković Z., Salatić R., 2014, *Numerical test of damage detection using Tabu-search method*, Proceedings of 14th conference of ASES – Association of Structural Engineering of Serbia, ed. M. Lazović, B. Stavanović, Novi Sad 24-26. Sep., Serbia, ISBN 978-86-85073-19-9, 2014, pp. 513-520
7. Al-Wazni S., Alalikhhan A., Mišković Z., Salatić R., 2014, *Numerical test of damage detection using Simulated Annealing method*, Proceedings of 14th conference of ASES – Association of Structural Engineering of Serbia, ed. M. Lazović, B. Stavanović, Novi Sad 24-26. Sep., Serbia, ISBN 978-86-85073-19-9, 2014, pp. 423-430

## 9. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 9.1. Савременост и оригиналност

Предложена тема докторске дисертације спада у врло актуелне теме из области комплексног истраживања стања грађевинских конструкција у циљу процене конструкцијског интегритета и планирања и извршења радова на одржавању значајних инфраструктурних објеката.

Детекција оштећења грађевинских конструкција на основу промене динамичких карактеристика је врло актуелан проблем у научним круговима с обзиром на све веће захтеве за примену и перманентно унапређење метода превентивног конструкцијског мониторинга. Унапређења се спроводе у циљу раног откривања конструкцијских дефеката, унапређења и рационализације одржавања конструкција и спречавања евентуалних већих последица услед значајног нарушавања интегритета конструкција.

Разноликост варијанти конструкција које могу бити предмет мониторинга и превентивног праћења глобалног стања конструкција указује на потребу и неопходност примене методе детекције оштећења на различитим конструкцијским системима.

Током рада на дисертацији, кандидат је дефинисао робусан алгоритам за прецизну и ефикасну детекцију и локализацију оштећења, што је неопходно приликом анализе реалних конструкција са великим бројем коначних елемената.

Потврда могућности примене на различитим конструкцијским системима спроведена је експерименталним истраживањем различитих конструкцијских модела и потврђена је ефикасност примењених алгоритама детекције. Експериментално-нумерички приступ, уз одговарајуће параметарске анализе, унапредио би актуелни ниво знања из области и одговорио све већим захтевима за детекцију оштећења током конструкцијског мониторинга реалних грађевинских конструкција, што представља практични допринос истраживања.

На основу одабране методологије, комплексности и савремености метода које су примењене, као и великог практичног значаја који се очекује, сматра се да је истраживање било адекватно за израду оригиналног научног рада.

### 9.2. Опис и адекватност примењених научних метода

У току израде дисертације су коришћене следеће научне методе :

- Анализа постојећих резултата сличних проблема из области детекције оштећења грађевинских конструкција у смислу примењених параметара конструктивног одговора (статички одговор, динамички одговор, модални одговор, ...);
- Експериментално истраживање динамичког одговора на реалним конструкцијама регистровањем амбијенталних вибрација у циљу истраживања и потврде могућности одређивања сопствених фреквенција и облика осциловања реалних грађевинских конструктивних система у присуству амбијенталне побуде, са анализом резултата испитивања;
- Експериментално истраживање динамичког одговора на конструкцијским моделима у лабораторији у неоштећеном и оштећеном стању у условима амбијенталне побуде која ће се симулирати побуђивачем вибрација у нивоу основе конструкцијских модела у лабораторијским условима;

- Нумеричко моделирање експериментално третираних конструкцијских модела применом МКЕ са параметарском анализом варијације конструкцијских параметара крутости и масе у циљу усаглашавања конструкцијског одговора у неоштећеном стању;
- Примена изабране методе оптимизације симулацијом могућих параметара оштећења и одређивања како положаја тако и интензитета оштећења којим се постиже најбоља сагласност експерименталних и симулираних динамичких конструкција;
- Анализа варијантних предлога алгоритама оптимизације и функције циља у светлу ефикасности и тачности детекције нивоа и локализације оштећења у циљу израде предлога најефикаснијег и најпрецизнијег решења.

Кандидат је рад на докторској дисертацији, полазећи од синтезе и критичке анализе постојећих сазнања и резултата из литературе, засновао на сопственим експерименталним истраживањима, као и статистичким, аналитичким и нумеричким анализама.

### 9.3. Применљивост остварених резултата

С обзиром на све већи број грађевинских конструкција код којих се захтева процена стања и/или преосталог употребног века, предложено истраживање је изузетно актуелно у међународним научним круговима.

У прилог наведеном треба нагласити да се стално повећава број конструкција које се перманентно осматрају (предмет су перманентног конструкцијског мониторинга) из разлога рационализације и планирања потребних финансијских средстава за одржавање, реконструкцију или потпуну замену постојећих конструкција услед значајних дефеката који угрожавају њихов интегритет.

Истраживање је усмерено на различите типове конструкцијских система, што није било или је врло ретко било предмет сличних истраживања.

Предложеним истраживањем се предвиђа развој процедура које ће бити у могућности да третирају конструкције великих распона и сложене геометрије, чије нумеричко моделирање захтева врло детаљан приступ, укључивање великог броја коначних елемената, а што подразумева примену најсавременијег инжењерског приступа приликом моделирања крутости и веза између елемента, ослоначких детаља и др.

Очекивани резултати се огледају у унапређењу детекције и локализације оштећења грађевинских конструкција уз комплексан експериментално-нумерички приступ.

Остварени резултати имају веома широку примену. Практична примена је очигледна за детекцију оштећења значајних грађевинских конструкција, а у првом реду инфраструктурних објеката који су све чешће предмет мониторинга у циљу праћења интегритета ових конструкција. Разноликост конструкцијских модела на којима ће се извршити потврда ефикасности примењених алгоритама гарантује сврсисходност истраживања и оправдава истраживање.

## **10. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

На основу свега претходно изнетог Комисија констатује да докторска дисертација кандидата Саада Ал Вазнија (Saad Al-Wazni), дипл. грађ. инж. под насловом „Детекција и локализација оштећења при мониторингу стања грађевинских конструкција“ представља оригинални научни рад који има значајан научни и стручни допринос у области грађевинарства. Резултати истраживања имају практичну примену.

Сходно претходном, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом “Детекција и локализација оштећења при мониторингу стања грађевинских конструкција“ кандидата Саада Ал Вазнија (Saad Al-Wazni) прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 15.07.2016. године

#### **ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**

.....  
др Миленко Стегић, пензионисани професор  
Факултета стројарства и бродоградње,  
Свеучилишта у Загребу

.....  
др Зоран Мишковић, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....  
др Ратко Салатић, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....  
др Наташа Прашчевић, доцент  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет



**ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ  
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Булевар краља Александра 73  
11001 Београд,  
П. факс 39-42  
Телефон (011) 321-86-06, 337-01-02  
Телефакс (011) 337-02-23  
Е пошта dekanat@grf.bg.ac.rs

На основу члана 58. став 2. тачка 23. Статута Грађевинског факултета Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Грађевинског факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној дана 08.09.2016. године, донело је

## **ОДЛУКУ**

Прихвата се извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Al-Wazni Saada, магст.инж.грађ.**, под насловом:

**„ДЕТЕКЦИЈА И ЛОКАЛИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА ПРИ МОНИТОРИНГУ СТАЊА  
ГРАЂЕВИНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА”**

**„ DAMAGE DETECTION AND LOCALIZATION FOR CIVIL STRUCTURAL HEALTH  
MONITORING”**

Процедура стицања научног степена доктора наука спровешће се у складу са Законом о високом образовању ("Сл.гласник РС", бр.76/05,100/07-аутентично тумачење, 97/08 и 44/10 и 93/12), општим актом Универзитета и Правилником о докторским студијама Грађевинског факултета у Београду.

Веће научних области грађевинско - урбанистичких наука Универзитета у Београду, на седници одржаној 21.04.2015. године, дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације.

У току израде докторске дисертације објављен је 1 рад у научним часописима са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:

1. Alalikhhan, A., Al-Wazni, S., Mišković, Z., Salatić, R., Mišković, L.: **Testing heuristic optimisation methods for vibration-based detection of damage**, *GRAĐEVINAR 68* (2016) 7, – Jorunal of the Croatian Association of Civil Engineers, ISSN (print) 0350-2465, ISSN (on-line) 1333-9095, pp. 543-557, doi: [10.14256/JCE.1410.2015](https://doi.org/10.14256/JCE.1410.2015)

**Одлука је донета једногласно.**

ДЕКАН ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Бранко Божић, дипл.инж.геод.

Доставити:

- Универзитету
- Студентској служби
- архиви
- именованом