

**НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТ ЗА МАШИНСТВО И**  
**ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ**

**ПРЕДМЕТ:** *Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Мр Горана Павловића, дипл. маш. инж.***

Одлуком број 1069/2 од 24.10.2012. год. Наставно научног већа Факултета за машинство и грађевинарство Универзитета у Крагујевцу именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр. Горана Павловића, дипломираног машинског инжењера под насловом:

**„ОПТИМИЗАЦИЈА ЗАТВОРЕНИХ ПОПРЕЧНИХ ПРЕСЕКА ГЛАВНИХ НОСАЧА ДИЗАЛИЦА ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ ЛАГРАНЖОВИХ МНОЖИТЕЉА“**

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја комисије за оцену подобности теме докторске дисертације и кандидата која је одобрена за израду Одлуком Стручног веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу 392/6 од 11.07.2012. године и Одлуком Машинског факултета у Краљеву (сада Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву) бр. 555/2 од 26.06.2012. год, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси наставно научног већу Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву следећи :

## **ИЗВЕШТАЈ**

### **1 Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области**

Докторска дисертација кандидата мр. Горана Павловића, дипл. маш. инж. под насловом „Оптимизација затворених попречних пресека главних носача дизалица применом методе Лагранжових множитеља“ је резултат научно-истраживачког рада кандидата у актуелној научној области која се односи на оптимизацију попречних пресека носећих конструкција главних носача дизалица, али се може применити и на све остале носаче уопште. Са аспекта истраживачке области и добијених резултата, ова дисертација представља јединствени научни рад на националном нивоу, при чему један део методологије, приступа и резултата има општи научни значај, што је и потврђено објављивањем рада на СЦИ листи категорије М21.

Кандидат је извршио анализу и систематизацију постојећих знања, искустава и научних резултата водећих светских истраживача у области која се разматра у овој докторској дисертацији. На основу спроведене анализе кандидат је утврдио предности и недостатке до сада коришћених метода, и на основу њих дефинисао конкретан математички модел за оптимизацију затворених попречних пресека главних носача дизалица.

Резултати ове дисертације се огледају у успешно формираном математичком моделу за одређивање геометријских параметара попречног пресека, као и њихових међусобних односа, који задовољава функцију циља за задате улазне параметре. Такође, добијена су оптимална решења сандучастог попречног пресека при истовременом укључењу ограничења: критеријума чврстоће, динамичке, бочне и локалне стабилности, критеријума деформације и технолоичности.

Добијени резултати у дисертацији у потпуности потврђују постављени математички модел, а добијени параметари дају боља решења у погледу оптимизације, приликом поређења са изведеним решењима водећих светских произвођача дизалица. Такође, урађени софтвер омогућава израчунавање оптималних вредности геометријских параметара кутијастих попречних пресека од стране корисника који не мора познавати процес оптимизације већ само техничке параметре и задаје функције ограничења.

Резултати и закључци ове дисертације дају одговоре на постављена питања и хипотезе, али уједно отварају и простор за даљи интензиван научно истраживачки рад на анализи специфичних случајева оптерећења и облика конструкција. Такође, отвара се простор и за инжењерско развојне активности на интеграцији анализираних модела са постојећим стандардима у процесу пројектовања.

Имајући у виду претходно наведено, може се закључити да ова докторска дисертација садржи конкретне и мерљиве елементе који представљају значајан допринос широј научној јавности у области оптимизације носећих конструкција. Формирани математички модели имају теоријско научне основе и апликативне инжењерске аспекте, са могућношћу даљег проширења и надградње па је у том смислу тема веома актуелна и значајна за даља истраживања у области оптимизације конструкција дизалица.

## **2 Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области**

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата мр. Горана Павловића, дипл. маш. инж. под насловом „Оптимизација затворених попречних пресека главних носача дизалица применом методе Лагранжових множитеља“ представља резултат оригиналног научног рада у области оптимизације носећих конструкција. Кандидат је тему обрадио студиозно и детаљно, користећи при томе теоријске основе научних дисциплина релевантних за ову проблематику.

## **3 Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области**

Кандидат мр. Горан Павловић, дипл. маш. инж., дипломирао је на Машинском факултету у Краљеву (сада Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву) 2003. године са просечном оценом 9.13 на смеру Тешка машиноградња-Катедри за

конструкције и пројектовање у машиноградњи. У току студија био је добитник више награда и признања од стране Факултета и Универзитета. На истом факултету одбранио је магистарску тезу 2010 године. Од 2004. године радио је као конструктор и водећи конструктор у предузећу Амига Краљево, а од 2011. године до данас ради у предузећу за пројектовање и производњу дизалица - COLPART - Београд.

Учествовао је на реализацији једног научно-истраживачког пројеката финансираног од стране Министарства за науку, као и на многобројним пројектима за потребе привреде.

Као аутор или коаутор објавио је 1 рад у међународном часопису са СЦИ листе, 2 рада у домаћем часопису, и више радова на међународним и домаћим конференцијама из области механизације и носећих конструкција.

За овај извештај Комисија издваја следеће рефернце:

Рад у водећем међународном часопису - [M<sub>21</sub>]

1. Savković M., Gašić M., Ćatić D., Nikolić R., **Pavlović G.**: OPTIMIZATION OF THE BOX SECTION OF THE MAIN GIRDER OF THE BRIDGE CRANE WITH THE RAIL PLACED ABOVE THE WEB PLAT, Structural and Multidisciplinary Optimization, DOI: 10.1007/s00158-012-0813-5, 2012

Рад у националном научном часопису - [M<sub>53</sub>]

1. **Павловић Г.**, Савковић М., Здравковић Н.(2011) ОПТИМИЗАЦИЈА КУТИЈАСТОГ ПОПРЕЧНОГ ПРЕСЕКА ГЛАВНОГ НОСАЧА МОСНЕ ДИЗАЛИЦЕ ПРЕМА КРИТЕРИЈУМУ БОЧНЕ СТАБИЛНОСТИ, ИМК – 14 Истраживање и развој, vol (17) 4/2011 р.р. 1-8. ISSN 0354-6829
2. **Pavlović G.**, Gašić M., Savković M., Zdravković N. (2012) COMPARATIVE ANALYSIS OF LOCAL AND LATERAL STABILITY OF PLATES AS THE CONSTRAINT FUNCTIONS WITHIN OPTIMIZATION OF MAIN GIRDER BOX SECTION OF THE BRIDGE CRANE, ИМК – 14 Research&Development, vol (18) 1/2012 р.р. EN11-EN18. ISSN 0354-6829.

Рад на међународном скупу штампан у целини - [M<sub>33</sub>]

1. Savković M., Gašić M., **Pavlović G.**, Bulatović R., Zdravković N.: OPTIMIZATION OF THE BOX SECTION OF THE MAIN GIRDER OF THE BRIDGE CRANE ACCORDING TO THE CRITERIA OF LATERAL AND LOCAL STABILITY OF PLATES, The 7th International Symposium, р.р. 113-120, Balatonfüred, Hungary, 2012, ISBN 978-86-7892-399-9.
2. Savković, M., **Pavlović, G.**, Gašić, M., Zdravković, N. MULTICRITERION OPTIMIZATION OF THE BOX SECTION OF THE MAIN GIRDER OF THE BRIDGE CRANE, International Conference on material Handling, Construction and Logistics MHCL -12 -2011 – р.р. 285-292 ISBN 978-86-7083-763-8, Beograd 2012.

Рад са скупа националног значаја штампано у целини - [M<sub>63</sub>]

1. **Павловић, Г.**, Савковић, М., Гашић, М., Булатовић Р. ПРИМЕНА МЕТОДЕ КРУТИХ ТЕЛА ЗА ДИСРЕТИЗАЦИЈУ НОСЕЋИХ СТРУКТУРА ПРИ ДИНАМИЧКОЈ АНАЛИЗИ НА ПРИМЕРУ КОНЗОЛНЕ ДИЗАЛИЦЕ, 38 Јупитер конференција са међународним учешћем, р.р. 3.52-3.57, ISBN 978-86-7083-757-7, 2012.

#### 4 Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата мр. Горана Павловића, дипл. маш. инж., под насловом „Оптимизација затворених попречних пресека главних носача дизалица применом методе Лагранжових множитеља“ одговара по обиму и садржају прихваћеној теми од стране Наставно-научног већа Машинског факултета у Краљеву (сада Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву) и Стручног већа Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове предвиђене за израду докторских дисертација.

Резултати рада у оквиру ове дисертације изложени су на 153 стране А4 формата. У раду је приказано 156 графичких илустрација и 28 табела, цитирано је 69 библиографска податка.

Дисертација је подељена у 8 поглавља (којима претходе резиме на српском и енглеском језику и садржај):

1. Уводна разматрања
2. Преглед радова из области истраживања
3. Упоредна анализа типова и специфичности конструктивних решења затворених попречних пресека главних носача дизалица
4. Оптимизација затворених попречних пресека за различите услове преношења оптерећења.
5. Анализа добијених резултата оптимизације за карактеристичне параметре дизалица.
6. Израда софтвера за израчунавање оптималних параметара кутијастих попречних пресека и верификација добијених аналитичких вредности софтверском симулацијом
7. Закључна разматрања.
8. Литература

У **првом поглављу** дат је увод у проблематику и истакнут значај предложене теме. Јасно је дефинисана основна хипотеза, граница истраживања, примењене методе и технике као и циљеви истраживања у дисертацији. Такође приказани су и неки резултати претходних истраживања чији су закључци послужили за дефинисање основне хипотезе као и примењене методологије у дисертацији.

У **другом поглављу**, дат је преглед радова из области истраживања. Анализирани су резултати оптимизације попречних пресека главних носача дизалица при чему је посебно указано на разноврсност метода које су аутори користили у радовима. У анализи радова се уочавају предности и недостаци примењених метода у истраживањима. Показано је, да примена аналитичких метода даје функционалне зависности резултата оптимизације у таквом облику да се даљом анализом може дефинисати утицај појединих параметара на смањење масе. Примена методе коначних елемената такође погодује оптимизацији јер се може истовремено варирати већи број параметара. Наведено је да већина аутора као функцију ограничења задаје гранични напон или гранични напон и деформацију. У радовима новијег датума се све више примењује критеријум бочне стабилности као функција ограничења. Сагледавајући сва ограничења и параметре, који су анализирани у радовима, показује се оправданост вишекритеријумске оптимизационе петље као и употреба FEA методе.

У **трећем поглављу**, дат је приказ типова и специфичности конструктивних решења затворених попречних пресека које тренутно користе водећи светски произвођачи дизалица приликом њихове израде. Посебно је указано на специфичности одговарајућих решења које се односе на облик, односе димензија, место постављања шине за кретање колица, места постављања вертикалних и хоризонталних укрућења, као и места настављања.

У **четвртном поглављу**, које представља кључни део дисертације, извршена је оптимизација геометријских параметара затворених попречних пресека, за случај преношења оптерећења преко шине постављене изнад вертикалног ребра и за случај шине постављене на средини горњег појаса. Готово сва решења конструктивног извођења попречног пресека главног носача изведена су на један од ова два начина.

У оквиру овог поглавља приказана је математичка формулација оптимизационог проблема. Дефинисани су вектори задатих и променљивих параметара, функција циља као и све функције ограничења. Такође су детаљно разјашњени сви параметри који су коришћени у поступку оптимизације. Извршена је апроксимација једначина, са свим неопходним доказима уведених претпоставки а у циљу олакшања поступка оптимизације. Посебан акценат је стављен на чињеницу да вредности задатих параметара и ограничења буду у реалним границама које се користе у инжењерској пракси.

Детаљно су изведени и објашњени спроведени поступци оптимизације и то за функције ограничења које представљају: критеријум чврстоће када је шина постављена изнад вертикалног ребра и на средини горњег појаса, критеријум динамичке крутости, критеријум локалне стабилности горњег појасног лима, критеријум локалне стабилности вертикалних лимова по пољима, критеријум бочне стабилности и критеријум крутости. За све наведене критеријуме добијене су тражене оптималне вредности геометријских параметара које дају тражени минимум функције циља. Добијене оптималне вредности геометријских параметара попречног пресека, као и њихове међусобне функционалне зависности, добијене су у експлицитном облику, што је од посебног значаја за даља истраживања, јер се може сагледати утицај сваког параметра понаособ. Овако приказан облик зависности омогућава отклањање или смањење негативног утицаја који су настали као последица погрешног избора одређених геометријских параметара.

Добијене релације дају могућност избора оптималних вредности геометријских параметара при узимању у обзир свих функција ограничења или само неких од њих, по избору или захтеву који је постављен.

У **петом поглављу** је извршена детаљна анализа добијених резултата као и њиховог међусобног поређења за карактеристичне параметре дизалица. Да би се реално сагледале добијене вредности оптимизације извршено је поређење добијених резултата са изведеним решењима мосних дизалица. Анализа је показала да параметри добијени оптимизацијом дају боље резултате и да је постигнута значајна уштеда у материјалу у односу на изведена решења. Такође, анализа је показала оправданост вишекритеријумске анализе јер за различите вредности задатих параметара (носивост, распон, погонска класа, материјал, ...), добијају се оптималне вредности према различитим функцијама ограничења. Наиме, у приказаним анализама, сваки од критеријума функције ограничења појављује се бар једном као критични за одређивање оптималних вредности геометријских параметара. На овај начин извршена је верификација постављеног математичког модела, потврђени су сви добијени резултати као и постављена хипотеза.

У **шестом поглављу** је објашњен општи принцип рада софтвера који је развијен за израчунавање оптималних вредности геометријских параметара попречног пресека.

Претходно добијени резултати показују исправност постављеног математичког модела, међутим добијање оптималних вредности захтева значајно време, добро познавање поступка прорачуна и процеса оптимизације. Из тог разлога направљен је софтвер за кориснике који не морају познавати детаљно поступак оптимизације као ни сложени математички модел. Корисник у програм уноси жељене техничке карактеристике дизалице као и ограничења. После тога програм сам спроводи прорачун а корисник добија оптималне вредности геометријских параметара попречног пресека и функцију циља.

У седмом поглављу су сумирани закључци о читавом истраживању. Закључна разматрања изложена су детаљно, систематично и са потребном концизношћу. Реално је процењена испуњеност постављених циљева, детаљно је приказан значај добијених резултата и указано на могућност даљих истраживања.

У осмом поглављу дат је списак коришћене литературе. Приказано је 69 референци сложених по абecedном реду. Од 69 референци 25 је из домаћих часописа, конференција и уџбеника а 44 из иностраних часописа, конференција и уџбеника. Од 69 референци 45 референци је датирано после 2000. године., 19 је на српском језику а осталих 50 на енглеском. Кандидат је цитиран у 5 референци.

## 5 Научни резултати докторске дисертације

Кандидат мр Горан Павловић, дипл. маш. инж., је кроз своју дисертацију извршио систематизацију постојећих знања и искустава и на целовит, садржајан и прегледан начин изложио своје основне резултате. Постављени основни циљеви дисертације:

- формирање математичког модела за одређивање геометријских параметара попречног пресека, као и њиховог међусобног односа, који дају минималну површину попречног пресека за задате улазне параметре,
- добијање оптималног решења при истовременом укључењу ограничења: критеријума чврстоће, динамичке, бочне и локалне стабилности, критеријума деформације и технологичности,
- валидација математичког модела и добијених параметара поређењем са изведеним решењима водећих светских произвођача дизалица,

су у потпуности отворени.

Реализацијом истраживачког рада на овој дисертацији кандидат је дошао до резултата и закључака који имају значај и своје место како у научно теоријском тако и у практичном смислу. Најважнији резултати ове дисертације могу се систематизовати кроз следеће ставке:

- Истражене су и дефинисане оптималне вредности и међусобне зависности геометријских параметара сандучастог попречног пресека главног носача који утичу на повећање савојне и торзионе крутости уз истовремено задовољење локалне стабилности свих елемената и смањење површине попречног пресека.
- Компаративном анализом критеријума локалне стабилности показано је да су криве ограничења ових критеријума блиске за појасне лимове и лимове на ребру. Повећање стабилности елемената вертикалих лимова постиже се једним редом укрућења, при чему је утицај на површину попречног пресека знатно мањи.

- Показано је да критеријум бочне стабилности има најмањи утицај у односу на остале функције ограничења, које су знатно строжије па је њиховим испуњавањем задовољен и овај критеријум.
- Потврђен је значај критеријума крутости, који је доминантан за одређене задате техничке карактеристике.
- У анализама је утврђено да је јако битан критеријум динамичке крутости, јер се ради о осциловању конструкције по којој се креће покретна маса. Овај критеријум се показао као нарочито значајан код дизаличних конструкција великих распона и носивости и тежих режима рада.
- Такође, доказана је оправданост примене методе Лагранжових множилаца пошто су резултати оптимизације добијени у аналитичком облику, омогућавају доношење закључака о утицају појединих параметара као и о правцима даљег истраживања у погледу смањења масе. На тај начин могуће је коментарисати добијена решења и детаљније анализирати параметре који директно утичу на смањење површине попречног пресека сандучастог носача, односно његове масе.
- Користећи резултате анализе, као и спроведене процедуре прорачуна при истовременом укључењу ограничења: критеријума чврстоће, динамичке, бочне и локалне стабилности, критеријума деформације и технолоичности, развијен је софтвер који омогућава брзо израчунавање оптималних вредности геометријских параметара попречног пресека носача. Софтвер омогућава замену било које функције ограничења као и увођење нових.

## **6 Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси**

У научно теоријском смислу докторска дисертација кандидата мр Горана Павловића, дипл.маш.инж., под насловом „Оптимизација затворених попречних пресека главних носача дизалица применом методе Лагранжових множитеља“ даје низ значајних резултата који могу бити изузетно корисни у теорији и пракси.

Кроз научно истраживачки рад на овој дисертацији кандидат даје одговоре на одређена питања и постављену хипотезу, али долази и до нових питања који отварају низ нових праваца истраживања у области оптимизације носећих конструкција.

Теоријски допринос огледа се у успешном формирању математичког модела за одређивање оптималних вредности геометријских параметара попречног пресека, применом методе Лагранжових множилаца. Потврђено је да се наведена метода може користити за ову врсту оптимизације при укључењу већег броја функција ограничења. Добијене оптималне вредности геометријских параметара попречног пресека, добијене су у експлицитном облику што је од посебног значаја јер нам овакав вид математичке формулације даје могућност сагледавање квалитативног и квантитативног утицаја сваког параметра понаособ. Такође, анализом овако дефинисаних јеначина, могу се идентификовати доминантни фактори на резултате поступка оптимизације.

Успешно је спроведен поступак оптимизације при истовременом коришћењу већег броја функција ограничења и за све постављене критеријуме добијене су тражене оптималне вредности геометријских параметара.

Широка и директна могућност практичне примене резултата ове докторске дисертације представља њену посебно значајну карактеристику. Практичан значај најбоље се може сагледати кроз резултате приказане у петом поглављу и њихову

компаративну анализу са попречним пресецима изведених решења дизалица. Коришћењем добијених резултата оптимизације повећава се конкурентност на тржишту која се огледа кроз израду конструкције мање масе. Такође, примењена метода оставља могућност њене даље надградње кроз увођење нових функција ограничења која проистичу услед нових захтева на тржишту као и доношење прописа у пројектовању носећих конструкција дизалица.

## **7 Начин презентирања резултата научној јавности**

Део резултата произашлих у оквиру ове дисертације је већ публикован и верификован објављивањем у међународним и националним научним часописима, као и на међународним и националним научно-стручним конференцијама од којих посебно истичемо:

Рад у водећем међународном часопису - [M<sub>21</sub>]

1. Savković M., Gašić M., Čatić D., Nikolić R., **Pavlović G.**: OPTIMIZATION OF THE BOX SECTION OF THE MAIN GIRDER OF THE BRIDGE CRANE WITH THE RAIL PLACED ABOVE THE WEB PLAT, Structural and Multidisciplinary Optimization, DOI: 10.1007/s00158-012-0813-5, 2012.

Комисија сматра да истраживања и резултати ове докторске дисертације, по своје квалитету и обиму пружају могућност публиковања већег броја научних радова у међународним и домаћим научним часописима.

На основу увида у комплетан научноистраживачки рад представљен у овој докторској дисертацији Комисија доноси следећи:

## **ЗАКЉУЧАК**

Урађена докторска дисертација мр Горана Павловића, дипл. маш. инж., по обиму и квалитету одговара одобреној теми, према одлуци 392/6 од 11.07.2012. године Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу и одлуци број 555/2 од 26.06.2012. године Научно-наставног већа Машинског факултета у Краљеву (сада Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву).

Разматрана тема поседује научну заснованост и актуелност, а дисертација даје значајан допринос у области истраживања оптимизације носећих конструкција дизалица

У оквиру дисертације развијен је оригиналан математички модел за одређивање геометријских параметара попречног пресека главних носача дизалица, као и њиховог међусобног односа, који задовољава функцију циља за задате улазне параметре при истовременом коришћењу функција ограничења: критеријума чврстоће, динамичке, бочне и локалне стабилности, критеријума деформације и технологичности.

Резултати остварени у дисертацији поред научне имају и значајну апликативну вредност у области пројектовања носећих конструкција дизалица.

Део остварених резултата до сада је публикован и верификован објављивањем у међународним и националним научним часописима, као и на међународним и



националним научно-стручним конференцијама, од којих је један рад објављен у часопису на СЦИ листи, категорије М21.

На основу свега изложеног, Комисија за оцену писаног дела и одбрану докторске дисертације, једногласно је закључила да докторска дисертација под насловом:

**„ОПТИМИЗАЦИЈА ЗАТВОРЕНИХ ПОПРЕЧНИХ ПРЕСЕКА ГЛАВНИХ  
НОСАЧА ДИЗАЛИЦА ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ ЛАГРАНЖОВИХ  
МНОЖИТЕЉА“**

кандидата мр Горана Павловића, дипл. маш. инж., по обиму, квалитету и оствареним резултатима у потпуности задовољава све законске, научне и стручне критеријуме за израду докторских дисертација, па стога предлаже Наставно-научном већу Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу, да овај Извештај у целини прихвати и после спроведених осталих предвиђених процедура, закаже усмену јавну одбрану дисертације.

У Жилини, 16. 11. 2012.

У Краљеву 20.11.2012. год.

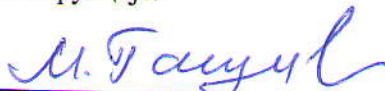
**ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:**



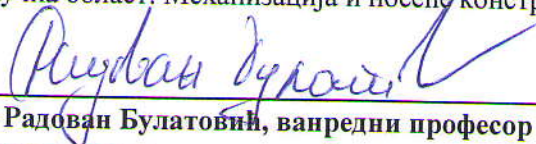
др Ружица Николић, редовни професор, Председник  
Факултет инжењерских наука, Крагујевац  
Грађевински факултет Универзитета у Жилини, Словачка  
Научне области: Машинске конструкције и механизација и  
Механика лома



др Јован Владић, редовни професор  
Факултет техничких наука, Нови Сад  
Научна област: Транспортне машине и металне  
конструкције.



др Миломир Гашић, редовни професор  
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву  
Научна област: Механизација и носеће конструкције.



др Радован Булатовић, ванредни професор  
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву  
Научна област: Механика и механизми.



др Миле Савковић, ванредни професор, Ментор  
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву  
Научна област: Механизација и носеће конструкције.