

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ЗА МАШИНСТВО И ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ

Факултет за машинство и грађевинарство
у Краљеву

Универзитета у Крагујевцу,

Број:

Датум:

1498
20.12.2018 год.

Краљево, Доситејева 19.

**НАСТАВНО – НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ЗА МАШИНСТВО И ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Марине Бошковић, дипломираног машинског инжењера

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу, број IV-04-1006/5 од 12.12.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Марине Бошковић, дипломираног машинског инжењера под насловом:

**„САВРЕМЕНИ ПРИСТУПИ У КИНЕМАТИЧКОЈ И ДИНАМИЧКОЈ
ОПТИМИЗАЦИЈИ РАВАНСКИХ МЕХАНИЗАМА“**

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације и испуњености услова кандидата Марине Бошковић, која је одобрена за израду одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-835/25 од 14.09.2016. године и одлуком Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу број 1024/7 од 25.08.2016. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

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

Докторска дисертација кандидата Марине Бошковић, дипл.маш.инж., под насловом „Савремени приступи у кинематичкој и динамичкој оптимизацији раванских механизма“ представља резултат научно-истраживачког рада кандидата у актуелној научној области која се односи на примену савремених оптимизационих метода у поступцима анализе и синтезе различитих типова раванских механизма.

Предмет докторске дисертације инспирисан је реалним проблемима који се јављају у раду савремених механизма, а односе се на елиминисање динамичких оптерећења која узрокују појаву вибрација, буке, замора и трења и тиме негативно утичу на функционалност механизма. Такође, дисертацијом је обухваћен и проблем

пројектовања тј. проблем оптималне синтезе раванских механизма као генератора путање која је унапред дефинисана.

Кандидат је најпре на основу релевантне научне литературе спровео детаљну анализу постојећих оптимизационих метода и уз критички осврт изложио предности и недостатке сваке од њих. Затим је, на основу спроведене анализе, указао на значај савремених метахеуристичких алгоритама чије ће нове (модификоване и хибридне) верзије бити примењене у поступцима анализе и синтезе раванских механизма.

Значај и допринос докторске дисертације огледа се у примени новог метода у динамичкој анализи којим се одређују реакције веза у зглобовима раванских механизма са крутим члановима. У циљу динамичке анализе ових механизма предложен је метод који се заснива на примени апсолутних координата. Основ метода је представљање крутих чланова манипулатора динамички еквивалентним системом са концентрисаним масама. Применом метода трансформације брзина спроведена је кинематичка и динамичка анализа система са концентрисаним масама. У циљу одређивања динамичких реакција веза извршено је имагинарно пресецање зглобова и у истима су уведена померања која су пре замишљеног пресецања била спречена од стране зглоба. Овим број апсолутних координата постаје већи од броја степени слободе. У циљу елиминације прекобројних координата, кандидат је применио Лагранжеве једначине са множитељима веза. Поред тога, процес динамичке анализе проширен је на механизме са еластичним члановима што представља још један допринос ове дисертације. Коначно, у решавању проблема анализе и синтезе механизма предложене су побољшане и хибридне варијанте савремених биолошки инспирисаних алгоритама. Ефикасност новопредложених алгоритама потврђена је кроз одговарајуће нумеричке примере из доступне литературе. На основу добијених резултата, кандидат је формулисао одређене закључке и указао на могуће правце даљих истраживања на овом пољу.

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

Комисија сматра да докторска дисертација под називом „Савремени приступи у кинематичкој и динамичкој оптимизацији раванских механизма“ представља резултат оригиналног научног рада кандидата Марине Бошковић, дипл.маш.инж. Обрађена тема је актуелна и значајна за развој науке у области анализе и синтезе (пројектовања) механизма применом оптимизационих техника, имајући у виду да савремена индустријска производња подразумева примену механизма од којих се захтева прецизан рад тј. елиминисање динамичких оптерећења која негативно утичу на функционалност истих. Кандидат је тему обрадио детаљно и са више аспеката, користећи у свом раду аналитичку механику и савремене оптимизационе методе.

Оригиналност научног рада, истраживања и резултата остварених у оквиру ове дисертације огледа се, између осталог, и у следећим елементима:

- Прегледом и анализом научно-стручне литературе из области теорије оптимизације кандидат је препознао значај примене савремених оптимизационих метода како у процесу анализе, тако и у поступку синтезе механизма. Поступак уравнотежења механизма тј. минимизације динамичких реакција веза од пресудног је значаја за

обезбеђивање поузданог и сигурног рада механизма. У ту сврху кандидат је предложио три методе: коришћење интерполационих полинома, додавање противтегова и метод прерасподеле масе чланова механизма уз примену савремених оптимизационих алгоритама. Предложене су две нове варијанте биолошки инспирисаних алгоритама чијом применом је извршено динамичко уравнотежење зглобног четворочланог механизма и на тај начин је потврђена оригиналност истраживања. Коришћењем суб-популацијског алгорита свица који представља побољшану верзију стандардног алгорита свица и хибридног алгорита свица и кукавичје претраге остварено је значајно смањење динамичких реакција веза код овог типа механизма. Проблем уравнотежења решен је применом новог приступа у вишекритеријумској оптимизацији који се заснива на истовременој минимизацији неколико функција циља, чиме је још једном потврђена оригиналност научног рада. Ефикасност предложених оптимизационих алгоритама показана је кроз одговарајуће нумеричке примере из литературе.

- Кандидат је у оквиру дисертације извршио уравнотежење реакција веза у свим зглобовима механизма, што такође садржи дозу оригиналности, јер је у доступној научно-стручној литератури разматран само проблем уравнотежења реакција у непокретним ослонцима. Добијени резултати су нови.
- У циљу одређивања динамичких реакција веза кандидат је предложио нов приступ који се базира на коришћењу апсолутних координата, чиме је омогућена поједностављена и рачунски ефикаснија динамичка анализа раванских механизма. Поред тога, кандидат је своје истраживање проширио на механизме са еластичним члановима. Примењујући приступ који важи за системе крутих тела, кандидат је на оригиналан и једноставан начин извршио динамичку анализу механизма (манипулатора) са еластичним чланом. Ваљаност предложеног приступа потврђена је кроз нумеричке примере из литературе.
- У процесу пројектовања тј. оптималне синтезе подесивих механизма кандидат је применио алгоритам сивог вука. У доступној литератури не постоје истраживања у којима је овај алгоритам примењиван у поступцима синтезе механизма, тако да и овај сегмент истраживања има оригиналан карактер. Најпре је кандидат тестирао предложени алгоритам на нумеричком примеру који је доступан у литератури и тако потврдио ефикасност истог. Значајан искорак у истраживању представља примена алгоритма сивог вука у поступку вишекритеријумске оптимизације када се врши истовремена минимизација више функција циља. Детаљном анализом кандидат је дошао до резултата који указују на извесна ограничења овог алгоритма у поступку вишекритеријумске оптимизације.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Марина С. Бошковић, дипл.маш.инж., рођена је 27.07.1984. године у Новом Пазару. Основну школу и Гимназију завршила је у Рашки са одличним успехом. Студије на Машинском факултету у Краљеву уписала је школске 2003/04 године, завршила их у предвиђеном року и дипломирала 19.05.2008. године на смеру Конструисање и

пројектовање у машиноградњи, група за топлотну технику и заштиту животне средине. Током студија остварила је просечну оцену 9,37 (девет и 37/100), одбранила дипломски рад из предмета Транспорт цевима на тему „Пројектовање топловода у улици Октобарских жртава у Краљеву“ и добила оцену 10 (десет). Добитник је више награда за остварени успех током студија. У периоду од 2008-2011 године била је запослена у ЈП „Топлана“ у Краљеву као пројектант термотехничких постојења. Докторске студије уписала је школске 2012/13 године на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву. Априла 2013. године изабрана је у звање асистента за ужу научну област Механика и механизми.

Тренутно је студент III (треће) године докторских студија. Положила је све испите предвиђене програмом студија са просечном оценом 9,90 (девет и 90/100). Ангажована је на извођењу аудиторних и самосталних вежби из предмета: Механика 1, Механика 2, Теорија механизма, Техничка механика 1, као и самосталних вежби из предмета Отпорност материјала. У свом научно-истраживачком раду служи се енглеским и руским језиком.

Кандидат је објавио 8 радова у научним часописима као и на међународним научним скуповима. Објављени радови, сврстани по категоријама, приказани су у наставку.

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. R.R.Bulatović, G.Miodragović, **M.S.Bošković**, Modified krill herd (mkh) algorithm and its application in dimensional synthesis of a four-bar linkage, Mechanism and Machine Theory 95, (2016), 1-21, DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2015.08.004

Рад у међународном часопису (M23)

1. **M. Bošković**, R.R. Bulatović, S. Šalinić, G.R. Miodragović, G.M. Bogdanović, Optimization of dynamic quantities of a four-bar mechanism using the Hybrid Cuckoo Search and Firefly Algorithm (H-CS-FA), Archive of Applied Mechanics 88(12), (2018), 2317-2338, DOI: 10.1007/s00419-018-1457-8

Рад у националном часопису међународног значаја (M24)

1. S. Šalinić, **M. Bošković**, R.R. Bulatović, Minimization of dynamic joint reaction forces of the 2-dof serial manipulators based on interpolating polynomials and counterweights, Theoretical and Applied Mechanics 42(4), (2015), 249-260, ISSN: 1450-5584, DOI: 10.2298/TAM1504249S

Саопштења на међународним научним скуповима штампана у целини (M33)

1. S. Šalinić, **M. Bošković**, R.R. Bulatović, Contribution to the dynamic modeling of a single link flexible manipulator, 8th International Scientific Conference of Defensive Technologies “ОТЕН 2018”, Belgrade, Serbia, 11-12 October 2018, pp.336-340, ISBN: 978-8681123-88-1
2. **M. Bošković**, S. Šalinić, R. Bulatović, G. Miodragović, Multiobjective optimization for dynamic balancing of four-bar mechanism, 6th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Tara, Serbia, 19-21 June 2017, C2b, ISBN: 978-86-909973-6-7

3. S. Šalinić, M. Bošković, R.R. Bulatović, Minimization of joint reaction forces of the 2-DOF planar serial manipulators, 5th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Arandelovac, Serbia, 15-17 June 2015, G2f, ISBN: 978-86-7892-715-7
4. G. Miodragović, R. Bulatović, S. Ivanović, M. Bošković, The Use of Biologically Inspired Algorithms for the Optimization of Machining Parameters, 8th International Conference "Heavy Machinery – HM 2014", Zlatibor, Serbia, June 2014, B.13-18, ISBN: 978-86-82631-74-3

Рад у националном часопису (M53)

1. Goran Miodragović, Marina Bošković, Primena algoritma svica za rešavanje problema primenjene mehanike, IMK-14 – Istraživanje i razvoj u teškoj mašogradnji, vol. 19 (2013), str. 58-62, ISSN 0354-6829

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

Докторска дисертација кандидата Марине Бошковић, дипл.маш.инж., под називом „Савремени приступи у кинематичкој и динамичкој оптимизацији раванских механизма“, усклађена је по обиму и садржају теми одобреној од стране Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву (бр.одлуке 1024/7 од 25.08.2016.) и Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу (бр.одлуке IV-04-835/25 од 14.09.2016.).

Резултати истраживања докторске дисертације изложени су на укупно 120 страна. Дисертација садржи 59 слика, 12 табела и 114 библиографских јединица. Рад је подељен у 5 поглавља којима претходе резиме рада на српском и енглеском језику, садржај и листа коришћених ознака. На крају рада дат је и списак коришћених библиографских јединица. Наслови поглавља су:

1. Увод
2. Уравнотежење равних механизма минимизацијом погонског момента и реакција веза у зглобовима
3. Динамичко моделирање манипулатора са једним еластичним чланом
4. Оптимална синтеза подесивих равних механизма за генерисање затворене путање
5. Закључак

У првом поглављу кандидат је изложио уводна разматрања о историјском развоју механизма и њиховој примени у савременим условима. Представљени су конвенционални приступи у проучавању механизма, али и модерне тенденције и трендови у пројектовању истих. Указано је на значај примене савремених оптимизационих метода, како у процесу анализе, тако и у поступку синтезе механизма. У том смислу, у најкраћем је изложен развој оптимизационих алгоритама и њихова класификација. Акцент је на биолошки инспирисаним алгоритмима који се успешно примењују у решавању комплексних инжењерских проблема.

У другом поглављу разматран је проблем уравнотежења раванских механизма са крутим члановима. Поглавље је подељено на три целине. У првој целини разматрана су два начина уравнотежења серијског манипулатора са два степена слободе кретања. Први

начин којим се постиже уравнотежење базира се на примени интерполационих полинома и омогућава смањење динамичких реакција веза за 50%. Други начин уравнотежења заснива се на додавању противтегова на чланове манипулатора, чиме су динамичке реакције редуковане за 66%. У оквиру ове целине предложен је и нов метод за рачунски ефикаснију и једноставнију динамичку анализу раванских механизма. У другој целини овог поглавља, проблем уравнотежења решен је као вишекритеријумски оптимизациони проблем. Извршена је истовремена минимизација осам функција циља и примењена побољшана верзија стандардног алгоритма свица под називом суб-популацијски алгоритам свица. Предложеним алгоритмом постигнута је редукација динамичких величина у опсегу од 71% до 99% у односу на неоптимизоване вредности. Такође, примењен је нов приступ у вишекритеријумској оптимизацији који се разликује од конвенционалних приступа из доступне литературе, а базира се на истовременој минимизацији неколико функција циља. Трећа целина представља наставак тј. надоградњу претходне целине где је извршено уравнотежење реакција веза у непокретним ослоњцима механизма. Наиме, у трећој целини поступком уравнотежења обухваћене су реакција веза у свим зглобовима механизма. Проблем уравнотежења решен је применом хибридног алгоритма свица и кукавичје претраге у вишекритеријумском оптимизационом поступку. Оптимизацијом расподеле масе чланова механизма и применом предложеног алгоритма остварено је значајно смањење динамичких оптерећења (до 99.186%).

У трећем поглављу процес динамичке анализе проширен је на механизме са еластичним члановима. У динамичкој анализи еластичног члана манипулатора примењен је нов приступ који важи за системе крутих тела. Тиме је омогућена бржа и једноставнија анализа ових механизма. Ваљаност приступа потврђена је кроз одговарајуће нумеричке примере из литературе. Предложени приступ показао је ефикасност и у случају великих угаоних брзина главчине. У оквиру истог поглавља кандидат је детаљно описао поступак одређивања реакција веза на контакту главчине и еластичног члана манипулатора, а исти се базира на процедури којом су одређене реакције веза код манипулатора са крутим члановима.

У четвртом поглављу разматран је процес пројектовања тј. оптималне синтезе код два типа раванских механизма: зглобног четворочланог механизма и подесивог кривајно-клипног механизма. Циљ је оптимизовати путању задату унапред дефинисаним скупом тачака тј. извршити синтезу механизма као генератора путање. У поступку оптималне синтезе примењен је алгоритам сивог вука који припада класи биолошки инспирисаних алгоритама новијег датума. Ефикасност алгоритма потврђена је тестирањем на одговарајућим нумеричким примерима из литературе.

У петом поглављу изложена су закључна разматрања до којих је кандидат дошао током израде дисертације и дати предлози за даља истраживања.

На крају дисертације приказан је списак коришћених библиографских јединица.

5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Марина Бошковић, дипл.маш.инж., је у оквиру докторске дисертације извршила систематизацију постојећих метода оптимизације и уравнотежења механизма и предложила нови приступ у динамичкој анализи раванских механизма са крутим

члановима. Кандидат је затим анализирао могућности примене предложеног приступа на механизме са еластичним члановима. У току израде дисертације, кандидат је дошао до нових резултата који имају своје место у научно-теоријском, али и у практичном смислу. Најважнији научни резултати докторске дисертације су:

- Предложен је оригинални приступ за одређивање реакција веза код раванских механизма са крутим члановима који омогућава бржу и једноставнију кинематичку и динамичку анализу механизма. Предложени приступ се уз извесне модификације може применити на сложеније типове раванских механизма који садрже већи број чланова.
- Применом предложених метода уравнотежења раванских механизма (коришћење интерполационих полинома, додавање противтегова и расподела масе чланова применом оптимизационих поступака) извршено је значајно смањење динамичких реакција веза (од 50% до 99% у зависности од изабраног метода).
- Примењен је нов приступ у вишекритеријумској оптимизацији који омогућава истовремену минимизацију неколико функција циља, а исти се разликује од приступа предложених у доступној литератури.
- У дисертацији су примењене модификоване и хибридне верзије основних биолошки инспирисаних алгоритама. Циљ извршених модификација и хибридизација алгоритама је побољшање ефикасности и избегавање уочених недостатака основних алгоритама тј. остваривање што бољих резултата. Ваљаност побољшаних и хибридних верзија потврђена је одличним резултатима у одговарајућим нумеричким примерима.
- Извршено је уравнотежење реакција веза у свим зглобовима (покретним и непокретним) механизма што представља оригинални резултат докторске дисертације. У научно-стручној литератури разматран је проблем уравнотежења само реакција веза у непокретним ослонцима, тако да је овим начињен искорак за будућа истраживања.
- У поступку динамичке анализе манипулатора са једним еластичним чланом представљен је нов приступ који се примењује код система крутих тела. Прецизније, коришћењем приступа који важи за системе крутих тела извршена је динамичка анализа еластичног члана манипулатора. Предложени приступ има низ предности: омогућава бржу и једноставнију анализу механизма са еластичним члановима, једноставним модификацијама може се применити на сложеније механизме са већим бројем чланова и могуће је извршити проширење приступа којим ће бити обухваћене и подужне деформације еластичног члана.

6. Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси

Резултати докторске дисертације кандидата Марине Бошковић, дипл.маш.инж., под називом „Савремени приступи у кинематичкој и динамичкој оптимизацији раванских механизма“ су од користи у теоријском и практичном смислу.

У теоријском смислу, у дисертацији су коришћени елементи аналитичке механике како би се на што једноставнији и бржи начин одредиле реакције веза у зглобовима

раванских механизма са крутим и еластичним члановима. Предложени приступ којим је извршена динамичка анализа је универзалан и уз једноставне модификације може се применити на сложеније механизме који садрже већи број чланова. Поред тога, коришћењем савремених софтверских пакета (Matlab, Wolfram Mathematica и др.) предложени приступ је могуће представити универзалним програмским кодом који се може применити за одређивање реакција веза раванских механизма.

Коришћењем основних принципа теорије оптимизације извршена је редукција добијених реакција веза тј. постигнуто је уравнотежење механизма. С обзиром да су применом предложених оптимизационих алгоритама добијени добри резултати, то исти могу послужити пројектантима као добар алат при решавању бројних оптимизационих проблема у различитим сферама индустрије. Такође, предложени алгоритми могу послужити као добра основа за даља унапређења и модификације при решавању специфичних инжењерских проблема.

У дисертацији је на бројним нумеричким примерима тестирана тачност и ефикасност предложеног приступа за динамичку анализу механизма, као и ефикасност предложених оптимизационих алгоритама, тако да се са сигурношћу може рећи да добијени резултати могу бити од користи у инжењерским применама.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

Значајан део резултата ове докторске дисертације презентован је објављивањем радова у међународним научним часописима са SCI листе, домаћим часописима и на међународним научним конференцијама.

Комисија сматра да знање и искуство кандидата стечено током израде дисертације, као и резултати презентовани у дисертацији, представљају добру основу за даљи научни рад кандидата Марине Бошковић.

На основу свега изложеног Комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација кандидата Марине Бошковић, дипл.маш.инж., у потпуности како по обиму тако и по квалитету, одговара теми пријављене дисертације, одобрене одлуком број 1024/7 од 25.08.2016. године од стране Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу.

Кандидат је при излагању истраживања користио терминологију уобичајену за научну област којој дисертација припада, а структура докторске дисертације и методологија излагања у складу су са универзитетским нормама.

Кандидат је показао да влада методологијом научно-истраживачког рада и да поседује способност системског приступа, закључивања и коришћења литературе. Докторска дисертација представља резултат самосталног рада, а добијени резултати представљају значајан допринос знањима везаним за примену оптимизационих метода у анализи и синтези механизма.

На основу свега изнетог, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Марине Бошковић, дипл.маш.инж., једногласно је закључила да докторска дисертација под насловом:

**„САВРЕМЕНИ ПРИСТУПИ У КИНЕМАТИЧКОЈ И ДИНАМИЧКОЈ
ОПТИМИЗАЦИЈИ РАВАНСКИХ МЕХАНИЗАМА“**

по квалитету, обиму и резултатима истраживања, у потпуности задовољава све научне, стручне и законске критеријуме за израду докторске дисертације. Стога Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу да овај Извештај у потпуности прихвати и закаже јавну усмену одбрану наведене дисертације.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:



- 1. др Небојша Васовић, редовни професор – председник Комисије**
Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду
Ужа научна област: Механика



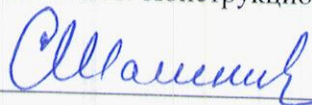
- 2. др Миле Савковић, редовни професор – члан Комисије**
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Механизација и носеће конструкције



- 3. др Гордана Богдановић, ванредни професор – члан Комисије**
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Примењена механика



- 4. др Иван Милићевић, ванредни професор – члан Комисије**
Факултет техничких наука у Чачку Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Конструкционо машинство



- 5. др Славиша Шалинић, ванредни професор – члан Комисије**
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Механика