

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно

члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

371/4

(Број захтева)

04.05.2023. године

(Датум)

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

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

ГОРАНА (ВОЈИН) ВАСИЛИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ГОРАН (ВОЈИН) ВАСИЛИЋ**

уписан на Докторске студије 2013. год.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

КОНЦЕПЦИЈСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЈЕДНЕ КЛАСЕ КОМПЛЕКСНИХ МАШИНА АЛАТКИУниверзитет је дана 24.08.2020. год. својим актом под бр. 61206-2333/2-20 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:**КОНЦЕПЦИЈСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЈЕДНЕ КЛАСЕ КОМПЛЕКСНИХ МАШИНА АЛАТКИ**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

ГОРАНА (ВОЈИН) ВАСИЛИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 09.03.2023. године, одлуком факултета под бр. 371/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Саша Живановић	ред. проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
2. Др Живана Јаковљевић	ред. проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
3. Др Никола Славковић	ванр. проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
4. Др Зоран Димић	виши научни сарадник	Производно машинство	Лола институт Београд
5. Др Слободан Табаковић	ред. проф.	Производно машинство	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 04.05.2023. године.ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТАпроф. др Владимир Поповић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.

2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.

3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности,
уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 371/4
Датум: 04.05.2023. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017, 27/2018 – др. закон 73/2018, 67/2019, 11/2021 – аутентично тумачење, 67/2021 – др. Закон, 67/2021), члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године), Одлуке о изменама и допунама Статута број 239/6 од 17.02.2023. године и члана 46. Правилника о докторским студијама Машинског факултета и реферата Комисије у саставу: др Саша Живановић, ред. проф., ментор, др Живана Јаковљевић, ред. проф., др Никола Славковић, ванр. проф., др Зоран Димић, виши научни сарадник Лола институт Београд и др Слободан Табаковић, ред. проф., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука о оцени докторске дисертације **„Концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки“** студента докторских студија **Горана Василића, маг. инж. маш.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 04.05.2023. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„КОНЦЕПЦИЈСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЈЕДНЕ КЛАСЕ КОМПЛЕКСНИХ МАШИНА АЛАТКИ“** студента **ГОРАНА ВАСИЛИЋА, маг. инж. маш.**

Докторску дисертацију и реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, по истеку рока од 30 дана у коме су били на увиду јавности.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, студенту, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Горана В. Василића, магист. инж. маш. (M.Sc.) студента докторских академских студија

Одлуком бр. 371/2 од 09.3.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Горана В. Василића под насловом

„КОНЦЕПЦИЈСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЈЕДНЕ КЛАСЕ КОМПЛЕКСНИХ МАШИНА АЛАТКИ“

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Горан В. Василић, уписао је Докторске студије на Универзитету у Београду, Машинском факултету у Београду школске 2013/2014. године. Кандидат је положио све испите предвиђене планом и програмом докторских студија, са просечном оценом 9,93 (девет и 93/100).

На основу захтева кандидата бр. 632/1 од 20.5.2020. године, да се прихвати тема и одобри израда докторске дисертације под насловом **„Концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки“**, Наставно-научно веће Универзитета у Београду, Машинског факултета је донело Одлуку, бр. 798/2 од 25.6.2020. године, да му се одобри пријава теме докторске дисертације и именује Комисија за подношење реферата о теми докторске дисертације у саставу: др Саша Живановић, ванредни професор, др Радован Пузовић, редовни професор, др Бранко Кокотовић, доцент, др Никола Славковић, доцент Универзитета у Београду, Машински факултет и др Слободан Табаковић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитета у Новом Саду.

На основу Извештаја Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације бр. 798/3 од 08.7.2020. године, Наставно-научно веће Универзитета у Београду Машинског факултета је прихватило научну заснованост теме докторске дисертације Одлуком 798/4 од 09.7.2020. године и за ментора је именован проф. др Саша Живановић. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је Одлуком бр. 61206-2333/2-20 од 24.8.2020. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације.

На основу информација које је Комисија добила од Службе за студентске послове Машинског факултета, у току студирања кандидат је био у статусу мировања или продужетка статуса студента у складу са следећим хронолошким низом одлука:

1. 2019/2020, продужетак статуса студента, Одобрење број 1728/149 од 30.09.2019;
2. 2020/2021, продужетак статуса студента, Одобрење број 9/1355 од 30.9.2020;
3. 2021/2022, статус мировања, Одобрење број 9/17667 од 22.09.2022;
4. 2022/2023, продужетак статуса студента, Одобрење број 118/1 од 23.01.2023.

Напомена: све школске године ван ове листе су биле са статусом уписа нове године студија - школска 2013/14, 2014/15 и 2016/17 година, или регуларне обнове школске године – школска 2015/16, 2017/18 и 2018/19 година.

На основу претходног, констатује се да је кандидат провео 6 школских година у статусу редовног студента докторских студија, 3 године у статусу продужетка статуса студента и једну годину у статусу мировања, односно укупно 10 година, од чега 9 година у статусу активног студента, што је у складу са чланом 109. важећег закона о високом образовању, којим се регулише престанак статуса студента.

Ментор проф. др Саша Живановић је 01.03.2023. године известио Катедру за производно машинство о завршеној докторској дисертацији кандидата Горана В. Василића. С тим у вези, Катедра за производно машинство је Дописом бр. 371/1 од 03.3.2023. године обавестила Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду о завршетку израде докторске дисертације Горана В. Василића и предложена је Комисија за преглед, оцену и одбрану предметне докторске дисертације. На основу тог дописа, Наставно-научно веће је 09.3.2023. донело Одлуку бр. 371/2 о формирању Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у следећем саставу:

1. др Саша Живановић, редовни професор, ментор
2. др Живана Јаковљевић, редовни професор
3. др Никола Славковић, ванредни професор
4. др Зоран Димић, виши научни сарадник, Лола институт, Београд
5. др Слободан Табаковић, редовни професор,
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Горана В. Василића, под насловом „**Концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки**“, припада научној области машинско инжењерство, ужа научна област Производно машинство, за коју је матичан Универзитет у Београду, Машински факултет. Ментор др Саша Живановић је редовни професор на Катедри за производно машинство Универзитета у Београду, Машинског факултета. Као аутор или коаутор до сада је публиковао 20 радова на SCI листи од чега 17 у последњих 10 година.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Горан В. Василић, је рођен 22.7.1977. године у Београду, Република Србија. Завршио је основну школу "Јован Стерија Поповић" на Новом Београду. Завршио је средњу електро-техничку школу "Раде Кончар" у Београду, смер "Електро-техничар погона". Завршио је Машински факултет у Београду по петогодишњем систему школовања, смер "Војно машинство". Дипломски рад је одбранио са оценом 10 (десет) и стекао звање - дипломирани инжењер машинства. Просечна оцена током студија је 7,60 (седам и 60/100). Завршио је и мастер студије на Машинском факултету у Београду, смер "Производно машинство" и стекао звање - мастер инжењер машинства. Мастер рад је одбранио са оценом 10 (десет) и стекао звање - мастер инжењер машинства. Просечна оцена током мастер студија је 9,5 (девет и 50/100).

Током студија радом у више приватних фирми стиче практична знања из области производних технологија и то: израда 3D модела сложене геометрије применом напредних техника моделирања, пројектовање алата за обликовање лима, пројектовање алата за

бригање пластике, израда програма за CNC машине алатке, пројектовање технологије за израду делова конвенционалним и неконвенционалним методама обраде.

За постигнуте резултате током похађања Мастер академских студија добио је следећа признања:

- Награда за остварен изванредан успех у школској 2011/2012 години на првој години Мастер академских студија и свим положеним испитима;
- Награда за остварен изванредан успех у школској 2012/2013 години на другој години Мастер академских студија и свим положеним испитима;
- Уверење о успешно завршеном курсу за коришћење CAD софтвера Autodesk Inventor који је организован у оквиру сталне школе иновације знања;
- Захвалницу за учешће на конкурс за пројекат у целости реализован у програмском пакету Autodesk Inventor.

Докторске студије на Универзитету у Београду, Машинском факултету уписао је школске 2013/14. године, број индекса Д20/13. Као потенцијалног ментора докторске дисертације кандидат је одабрао професора др Сашу Живановића. У договору са потенцијалним ментором докторске дисертације, утврђена је област истраживања, правац научно-истраживачког рада као и програм усавршавања докторанда. Кандидат је положио све испите који су предвиђени планом и програмом Докторских студија – Машинско инжењерство са просечном оценом 9,93 (девет и 93/100).

Од 2014. год. кандидат је запослен у Високој инжењерској школи струковних студија „Техникум Таурунум“ у Београду на којој држи наставу из области производних технологија. Предмети на којима је ангажован за одржавање наставе, рачунских и практичних вежби су: Машинска обрада 2, Пројектовање технолошких процеса, Системи контроле у производном инжењерству, Пројектовање применом рачунара, Аутоматизација производних процеса, НУ обрадни системи, 3D Моделирање у инжењерству, Технологије и програмирање CNC система.

Анонимним анкетама која се спроводи на крају сваког семестра и према правилнику о студентском вредновању педагошког рада наставника и сарадника на високо школским установама, кандидат је за педагошки рад оцењен одличним оценама на свим предметима.

Познавање страних језика:

- Енглески језик – говори, чита, пише.

Познавање рада на рачунару:

- Напредно коришћење софтверских пакета: Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint, Access итд.), LaTeX, ProENGINEER, PTC Creo, SolidWorks, Autodesk Inventor, MatLab, Basic, Fortran, Arduino Software, FESTO FluidSim, SiemensLOGO Comfort, CorelDRAW, Corel Photo-Paint.

Поседовање знања из области напредног програмирања CNC машина алатки - параметарско програмирање, програмирање помоћу математичких функција и тригонометријски описаних путања алата, програмирање помоћу WHILE и дуплих WHILE петљи, израда универзалних и генерализованих програма за типске захвате, израда програма у трансформисаним координатним системима (ротирани и транслирани) итд.

Истраживачке области:

- Производне технологије: Машине алатке са паралелном кинематиком; Машине алатке са хибридном кинематиком; Комплексне машине алатке; Индустријски роботи.
- Програмирање: Виртуелне машине алатке; Програмирање нумерички управљаних машина алатки; Развој софтвера за различите анализе машина алатки.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом „Концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки“ докторанда Горана В. Василића је документ формата А4, штампан двострано и у боји. Дисертација је на српском језику, куцана је ћириличним писмом и садржи укупно 240 страна. Првих 18 нумерисаних страна чине: насловне стране на српском и енглеском језику, списак чланова комисије, изјаве захвалности и посвете, резиме на српском и енглеском језику и садржај докторске дисертације. Наредних 10 страна, нумерисаних римским бројевима обухватају списак употребљених ознака, списак слика и списак табела. Преостали део дисертације, нумерисан арапским бројевима, садржи 212 страна које обухватају 10 нумерисаних и 2 нумерисана поглавља, биографију и изјаве докторнда. У оквиру докторске дисертације је са 150 слика, 9 табела и 77 математичких израза приказана проблематика која се разматра, анализе постављених проблема, резултати анализа као и решења која дају научни допринос и основу за будућа истраживања.

Кратак садржај докторске дисертације:

1. Увод
 2. Резултати досадашњих истраживања
 3. Равански реконфигурабилни механизма са паралелном кинематиком - МОМА
 4. Анализе раванског реконфигурабилног механизма са паралелном кинематиком -МОМА
 5. Проширена конфигурација двоосног реконфигурабилног механизма са паралелном кинематиком РПКМ-МОМА
 6. Класа комплексних машина алатки заснованих на РПКМ-МОМА
 7. Комплексне вишеосне машине алатке са два механизма РПКМ-МОМА
 8. Управљање и програмирање машинама алаткама из класе комплексних машина алатки заснованих на РПКМ-МОМА
 9. Верификација рада машина алатки из формиране класе машина алатки заснованих на РПКМ-МОМА
 10. Закључак
- Литература
Прилози

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *првом поглављу* докторске дисертације се након кратког осврта на значај развоја машина алатки наводе полазне хипотезе докторске дисертације на основу којих су дефинисани предмет и циљ истраживања. У првом поглављу је дат и кратак опис сваког од поглавља докторске дисертације.

У *другом поглављу* дат је преглед резултата досадашњих истраживања из области конфигурисања машина алатки различитих конфигурација и различитих намена. Посебна пажња је посвећена машинама алаткама које су засноване на раванским механизмима са паралелном кинематиком као и машинама алаткама конфигурисаним од најмање два паралелна механизма или два независна механизма који су међусобно кинематички спрегнути и остварују симулатани рад по задатом програму.

У *трећем поглављу* је дат опис раванског реконфигурабилног механизма са паралелном кинематиком који чини основу докторске дисертације, а назван је РПКМ-МОМА. За

механизам РПКМ-МОМА дефинисан је кинематички модел и решени су кинематички проблеми. Решења кинематичких проблема су изведена у општем и генерализованом облику који важи за све могуће разматране конфигурације реконфигурабилног механизма.

У четвртој поглављу приказане су анализе различитих конфигурација реконфигурабилног механизма РПКМ-МОМА. Анализама су обухваћене: одређивање величине и облика достиживог и корисног радног простора различитих конфигурација механизма, одређивање сингуларитета, оптимизација дужина спојки, одређивање променљиве резолуције механизма и грешке позиционирања платформе механизма. Ове анализе су интегрисане у методологију за анализу реконфигурабилног паралелног механизма која је имплементирана у софтверску апликацију MOMA-GUI. Апликација је развијена са циљем да се анализе механизма РПКМ-МОМА убрзају и поједноставе.

У петом поглављу приказана је проширена конфигурација механизма РПКМ-МОМА за коју је такође постављен кинематички модел и за коју су решени кинематички проблеми као и за основну конфигурацију механизма.

У шестом поглављу приказана је развијена методологија по којој се конфигурише хардверски део машина алатки које су засноване или на основној или на проширеној конфигурацији механизма РПКМ-МОМА. Према развијеној методологији, дефинисано је и приказано 16 различитих конфигурација машина алатки подељених у три групе и то у зависности од коришћеног механизма РПКМ-МОМА (основна или проширена конфигурација).

У седмом поглављу приказане су машине алатке које у својој структури садрже два механизма РПКМ-МОМА. Анализиране су две машине алатке намењене за процес обраде сечења жицом, и то машина алатка заснована на два механизма РПКМ-МОМА основне конфигурације (MOMA-W) и машина алатка заснована на два механизма РПКМ-МОМА проширене конфигурације (MOMA-W 4S). За обе машине су решени кинематички проблеми, а за машину алатку MOMA-W је извршена анализа облика и величине запреминског радног простора као и анализа прецизности машине. На крају поглавља је предложен концепт вишеосне и вишевртене машине која у својој структури садржи два механизма РПКМ-МОМА проширене конфигурације назване MOMA HV-Mill 4S.

У осмом поглављу приказана је методологија по којој се конфигурише реконфигурабилно управљање у LinuxCNC софтверском систему. Дата су и објашњења за конфигурисање виртуелне машине у управљачком систему LinuxCNC, као и резултати конфигурисања виртуелне машине РПКМ-МОМА која осим две активне осе поседује и две виртуелне осе. На крају поглавља су приказане методе за програмирање машина алатки са акцентом на програмирање према стандарду ISO-6983 и програмирање према STEP-NC протоколу.

У деветом поглављу приказани су резултати верификације и анализе рада три различите машине засноване на механизму РПКМ-МОМА. Анализиран је рад двоосне машине алатке MOMA-2D, троосне машине алатке MOMA-3D и вишеосне комплексне машине алатке MOMA-W 4S. За сваку од приказаних анализа дати су одговарајући коментари и објашњења зашто је анализа значајна и који су очекивани резултати анализе.

У десетом поглављу наведени су закључци проистекли из научно истраживачког рада и резултата добијених током израде докторске дисертације. Наводе се научни доприноси у области у коју се дисертација свртава као и планови будућих истраживања. Последња два нумерисана поглавља су *литература* и *прилози*. У оквиру литературе је побројано 139 референци коришћених током израде докторске дисертације а у прилозима су

приказани резултати додатних експеримената, неки од релевантних G-код програма, програмски код за конфигурисање виртуелне машине MOMA-2D као и програмски код којим је конфигурисано управљање за машину алатку MOMA-W 4S у софтверском систему LinuxCNC.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидата Горана В. Василића представља савремен и оригиналан научни допринос проучавању концепцијског пројектовања једне класе комплексних машина алатки. Ова дисертација је урађена у оквиру истраживања везаних за пројекте из програма Министарства просвете науке и технолошког развоја Републике Србије са тематиком која је данас веома значајна и актуелна у свету.

Циљ дисертације представљају истраживања и анализе усмерене ка развоју и концепцијском пројектовању једне класе комплексних машина алатки што је обухватало: (1) развој методологије за концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки, (2) генерализовани модел за идентификацију геометрије и кинематике у оквиру фамилије у разматраној класи комплексних машина алатки, (3) развој конфигуратора за концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки са развојем сопственог софтверског решења, (4) развој реконфигурабилног управљања на бази управљачког софтвера отворене архитектуре, (5) развој класе комплексних машина алатки које се могу користити за различите методе обраде, од којих је остварена реализација неколико прототипова за експерименталну верификацију.

У оквиру докторске дисертације примењени су савремени истраживачки методи уз коришћење најновијих софтверских решења и развој сопствених нових софтвера за анализу и конфигурисање нове класе комплексних машина алатки. Развијени су и реализовани прототипови појединих машина из разматране класе комплексних машина алатки, на којима су експериментално верификоване хипотезе докторске дисертације. Оригиналност добијених резултата у оквиру дисертације потврђују радови који су публиковани и саопштени на домаћим и међународним научним скуповима или објављени у домаћим часописима и међународним часописима са импакт фактором.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Прегледом цитиране литературе, издвојене у поглављу Литература, закључује се да је кандидат Горан В. Василић при изради докторске дисертације користио литературу која је референтна и актуелна. У циљу систематизације резултата постојећих истраживања из области која је предмет дисертације, кандидат је навео све значајне референце релевантне за тему концепцијског пројектовања једне класе комплексних машина алатки.

У оквиру дисертације кандидат се позива на референтну литературу која обухвата: машине са паралелном и хибридном кинематиком, комплексне машине алатке, реконфигурабилне машине алатке, мултифункционалне машине алатке, структурну и кинематичку анализу механизма машина алатке, анализу радног простора и сингуларитета, оптимизацију параметара реконфигурабилних паралелних механизма, конфигурисање управљања отворене архитектуре на бази LinuxCNC система и методе програмирања нумерички управљаних машина алатки (НУМА) укључујући и примере имплементације новог метода програмирања према STEP-NC протоколу. Кандидат је коректно проучио и цитирао литературне изворе.

Сходно Правилнику о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки“, кандидата Горана В. Василића, утврђено подударање текста износи до 8%, што указује на коректност цитирања коришћене литературе и оригиналност спроведених истраживања. На основу увида у детаљни извештај, овај степен подударности последица је поклапања општих фраза, библиографских података о коришћеној литератури, уобичајених појмова општег карактера и сличног. Постоје случајеви када је подударање текста препознато у фрагментима коришћених кључних речи из садржаја неких претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Примењене научне методе истраживања су мултидисциплинарне и математику и програмирање придружују делу машинства који покрива производне технологије. Као резултат ове синтезе, у докторској дисертацији су коришћене следеће методе и технике истраживања:

- Методе формирања математички формализованих кинематичких модела паралелних, хибридних и комплексних механизма;
- Методе за оптимизацију геометрије механизма машине алатке према постављеним захтевима;
- CAD/CAM/CAE за конципирање, пројектовање, програмирање, симулације рада виртуелне машине по задатом програму, односно за конфигурисање виртуелног прототипа разматране класе комплексних машина алатки.
- Методе за конфигурисање виртуелних машина које раде у различитим окружењима и симулирају рад реалне машине;
- Методе програмирања и верификације програма за изабрану класу комплексних машина алатки.
- Методе којима се конфигурише реконфигурабилно управљање отворене архитектуре.
- Методе програмирања НУМА.

3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати у оквиру докторске дисертације поред научне вредности имају и широку практичну примену у конфигурисању и успостављању нове класе комплексних машина алатки. Главни резултати ове дисертације су развијена методологија за концепцијско пројектовање, генерализовани модел за идентификацију геометрије и кинематике, анализу радног простора, сингуларитета и прецизности разматране класе комплексних машина алатки који су верификовани кроз симулацију и лабораторијску експерименталну верификацију на реализованим прототиповима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови комисије сматрају да је кандидат Горан В. Василић показао да има смисао и знање неопходно да самостално препозна и систематски решава инжењерске и научне проблеме, примењујући савремене методе теоријског и експерименталног карактера, да користи расположиву литературу и да успешно влада савременим истраживачким методама. Резултати докторске дисертације доказ су способности кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру рада на дисертацији „**Концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки**“, кандидат Горан В. Василић је према постављеним циљевима и хипотезама, а користећи савремене и адекватне научне методе остварио следеће научне доприносе:

- нови генерализовани модел за идентификацију геометрије и кинематике у оквиру фамилије реконфигурабилног паралелног механизма за разматрану класу комплексних машина алатки. Овај научни допринос је успостављен прво за равански реконфигурабилни механизам са паралелном кинематиком, што је приказано у поглављу 4 докторске дисертације, на странама 35-68 и објављено у раду [2] у међународном часопису категорије M23, у часопису *Journal of Mechanical Science and Technology*, који је доступан на адреси <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0636-z> на коме је кандидат први аутор и једини докторанд.
- нову методологију за концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки, која обухвата анализу кинематике, радног простора, сингуларитета, тачности, за оптимизацију параметара и симулацију рада реконфигурабилног паралелног механизма при развоју нових машина из разматране класе комплексних машина алатки, што је верификовано развијеном оригиналном комплексном вишеосном машином алатком са два паралелна механизма, што је приказано у поглављу 7 дисертације, на странама 93-119, и објављено у раду [1] у врхунском међународном часопису категорије M21, у часопису *Mechanism and Machine Theory*, који је доступан на адреси <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.103833> на коме је кандидат први аутор и једини докторанд.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и постојећих решења из области докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати истраживања изузетно значајни и научно утемељени. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, констатујемо да су пружени одговори на сва релевантна питања и да су решени проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

Због своје сложености, анализа чак и најједноставнијих механизма са паралелном и хибридном кинематиком је компликована. Анализе машина алатки из формираних класа машина алатки заснованих на раванском паралелном механизму МОМА су знатно отежане, јер неопходне анализе обухватају реконфигурабилне механизме. Како се анализа било које конфигурације не би посматрала као анализа засебне машине алатке, приликом решавања проблема успостављен је нови генерализовани кинематички модел и генерализоване једначине инверзне и директне кинематике које важе за сваку машину алатку унутар формиране класе машина алатки.

Нови генерализовани модел за идентификацију геометрије и кинематике у оквиру фамилије реконфигурабилног паралелног механизма, представља основу за анализу и успостављање нове методологије за концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки која је имплементирана у новој софтверској апликацији, и значајно помаже у конфигурацији нових машина из разматране класе. Развијена методологија је примењена у интегрисаној софтверској анализи која обухвата анализу кинематике, радног простора, сингуларитета, тачности, оптимизацију параметара и симулацију рада реконфигурабилног паралелног

механизма. Развијена софтверска апликација примењена је и верификована при развоју прототипова у разматраној класи комплексних машина алатки. Машине алатке унутар формиране класе могу имати различити број степени слободе, различите конфигурације и различите намене. Развијени прототипови поседују интегрисану реконфигурабилност, што омогућава једноставно реконфигурисање и хардверског (структуре машине) и софтверског (управљачког) дела машине.

Посебно је значајно да се истакне да су научни доприноси дисертације експериментално потврђени користећи опрему која је расположива у Лабораторији за обрадне системе (ЛОС), Катедре за производно машинство Универзитета у Београду, Машинског факултета. Кандидат је изградњом прототипова, посебно прототипа врло сложене комплексне вишеосне машине алатке са два паралелна механизма МОМА-W за сечење жицом, остварио верификацију свих постављених хипотеза и циљева дисертације.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Горан В. Василић је кроз усавршавање и рад на више научних и стручних пројеката био аутор и коаутор 21 рада на домаћим и међународним скуповима и у часописима. Аутор је два рада са SCI листе и то категорије M21 и M23, којима су верификовани основни научни доприноси. Коаутор је и једног Техничког решења. Преглед објављених резултата по категоријама је дат у наставку:

Категорија M21:

- [1] **Vasilic, G.**, Zivanovic, S.: Configuring and analysis of complex multi-axis reconfigurable machine for wire cutting process, - *Mechanism and Machine Theory*, vol. 149, pp.1-16, 2020 (**IF=3.866**) (ISSN:0094-114X) (DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2020.103833).

Категорија M23:

- [2] **Vasilic, G.**, Zivanovic, S., Kokotovic, B., Dimic, Z.: Configuring and analysis of a class of generalized reconfigurable 2-axis parallel kinematic machine, - *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol.33, no.7, pp.3407-3421, 2019 (**IF=1.463**) (ISSN: 1738-494X) (DOI: 10.1007/s12206-019-0636-z).

Категорија M24:

- [3] Zivanovic, S., **Vasilic, G.**: A New CNC Programming Method using STEP-NC Protocol, -*FME Transactions*, vol. 45, no. 1, pp. 149-158, 2017 (ISSN 1451-2092) (DOI:10.5937/fmet1701149Z)

Категорија M33:

- [4] Živanović S., **Vasilić, G.**: “Variants of configuring the 2-axis reconfigurable parallel mechanism - MOMA,” -*Proceedings of 2nd International Scientific Conference Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications COMETA 2014*, ISBN 978-99976-623-2-3, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, Jahorina, B&H, Republic of Srpska, 2-5. December 2014., pp.33-40.
- [5] **Vasilic, G.**, Zivanovic, S., Kokotovic, B.: “Modelling and analysis of 3-axis reconfigurable hybrid kinematics mechanism with translatory actuated joints,” - *Proceedings of 5th International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies, NEWTECH 2017*, Editors: Majstorovic, V., Jakovljevic, Z., Lecture Notes in Mechanical Engineering, ISBN 978-3-319-56430-2 (eBook), Belgrade, Serbia, Springer International Publishing AG 2017, June 2017, pp. 429-441, doi: 10.1007/978-3-319-56430-2_32
- [6] Zivanovic, S., Slavkovic, N., Dimic, Z., **Vasilic, G.**, Puzovic, R., Milutinovic, D.: “Virtual machine tools and robots for machining simulation based on STEP-NC program,”-*Proceedings*

of 6th International Conference on Manufacturing Engineering ICMEN 2017, ISBN: 978-618-80878-4-2, Thessaloniki - Greece, october, 2017., pp.41-51.

- [7] **Vasilic G.**, Zivanovic S., Kokotovic B., Dimic Z., Milutinovic M.: "Configuring a Class of Machines Based on Reconfigurable 2DOF Planar Parallel Mechanism, " - In: *Mitrovic N., Mladenovic G., Mitrovic A. (eds) Current Problems in Experimental and Computational Engineering. CNNTech 2021, Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 323, Springer, Cham, (DOI: 10.1007/978-3-030-86009-7_10).
- [8] Živanović, S., **Vasilić, G.**, Kokotović, B., Vorkapić, N., Dimić, Z., Slavković, N.: "Configuring and verification of a reconfigurable machine with hybrid kinematics MOMA V3, " - *Proceedings of the 6th international scientific conference Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications COMETA2022*, ISBN 978-99976-947-6-8, University of East Sarajevo Faculty of Mechanical Engineering, East Sarajevo-Jahorina, RS, B&H, november 2022., pp. 46- 55.
- [9] **Vasilić, G.**, Živanović, S., Milutinović, M., Dimić, Z.: "Machine tool with parallel mechanisms intended for cutting foam materials with hot wire," -*Proceedings of the 6th international scientific conference Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications COMETA2022*, ISBN 978-99976-947-6-8, University of East Sarajevo Faculty of Mechanical Engineering, East Sarajevo-Jahorina, RS, B&H, november 2022., pp. 129-139.

Категорија M34:

- [10] **Vasilic, G.**, Zivanovic, S., Kokotovic, B., Dimic, Z., Milutinovic, M.: Configuring a class of machines based on reconfigurable 2DOF planar parallel mechanism, *International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, CNN TECH 2021 -The Book of Abstracts*, ISBN 978-86-6060-077-8, Zlatibor, June 29- July 02, 2021., pp. 12.

Категорија M51:

- [11] **Василић, Г.**, Живановић, С.: Моделирање и анализа реконфигурабилног двоосног паралелног механизма МОМА са оснаженим транслаторним зглобовима, *ТЕХНИКА: Часопис савеза инжењера и техничара Србије*, vol. 65, no.1, pp. 57-63, 2016 (ISSN 0040-2176), (DOI:10.5937/tehnika1601057V).
- [12] **Vasilic, G.**, Živanović, S.: Modelling and analysis of 2-axis reconfigurable parallel mechanism MOMA with translatory actuated joints, *TECHNICS special edition, Magazine of the Society of Engineers and Technicians of Serbia*, pp. 59-66, 2016 (ISSN 0040-2176), (DOI: 10.5937/tehnika1601057V).
- [13] Живановић, С., Димић, З., **Василић, Г.**, Кокотовић, Б.: Конфигурисање виртуелне реконфигурабилне двоосне машине са паралелном кинематиком интегрисане са CNC системом отворене архитектуре на бази EMC2 софтвера, *ТЕХНИКА: Часопис савеза инжењера и техничара Србије*, vol. 67, no.4, pp. 519-526, 2018 (ISSN 0040-2176) (DOI:10.5937/tehnika1804519Z).

Категорија M53:

- [14] Милутиновић, М., **Василић, Г.**, Живановић, С., Кокотовић, Б., Славковић, Н.: Технологија израде профилних котурастих глодала 3+2 осним брушењем на хоризонталном обрадном центру, *ТЕХНИКА: Часопис савеза инжењера и техничара Србије*, vol. 72, no. 3, pp. 321-327, 2022 (ISSN 0040-2176) (DOI: 10.5937/tehnika2203321M).

Категорија M63:

- [15] **Василић, Г.**, Живановић, С., Кокотовић, Б., Главоњић, М.: "Оптимизација дужина спојки двоосног реконфигурабилног паралелног механизма - МОМА," 39. *ЈУПИТЕР конференција, 35. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова*, ISBN 978-86-7083-838-3, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, октобар 2014., стр. 3.28-3.35.

- [16] **Василић, Г.**, Живановић, С.: “Анализа радног простора реконфигурабилног двоосног паралелног механизма МОМА,” 40. ЈУПИТЕР конференција, 36. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова, ISBN 978-86-7083-893-2, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, мај 2016., стр. 3.47-3.54.
- [17] **Василић, Г.**, Живановић, С.: “Анализа радног простора реконфигурабилног четвороосног механизма са хибридном кинематиком за процес обраде сечења жицом,” 41. ЈУПИТЕР конференција, 37. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова, ISBN 978-86-7083-978-6, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, јун 2018., стр. 3.45-3.53.
- [18] **Василић, Г.**, Живановић, С.: “Утицај резолуције раванског паралелног механизма на тачност комплексне машине алатке за процес обраде сечења жицом,” 42. ЈУПИТЕР конференција, 38. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова, ISBN 978-86-6060-055-6, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, октобар 2020., стр. 3.106-3.115.
- [19] **Василић, Г.**, Живановић, С., Милутиновић, М., Димић, З.: “Кинематика комплексне вишеосне и вишевретене машине алатке намењене за процес обраде глодањем,” 43. ЈУПИТЕР конференција, 39. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова, ISBN 978-86-6060-137-9, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, октобар 2022., стр. 3.79-3.88.
- [20] Милутиновић, М., Живановић, С., **Василић, Г.**, Кокотовић, Б., Славковић, Н., Димић, З.: “Стратегија 3+2 осне обраде на новој брусници за израду профилних котурастих глодала,” 43. ЈУПИТЕР конференција, 39. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова, ISBN 978-86-6060-137-9, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, октобар 2022., стр. 3.95-3.100.

Категорија М85:

- [21] Живановић, С., Димић, З., Кокотовић, Б., **Василић, Г.**, Воркапић, Н., Славковић, Н.: Едукациона виртуелна петоосна машина алатка интегрисана са системом програмирања и управљања, *Ново техничко решење у фази реализације (прототип-софтвер)* - М85, Универзитет у Београду, Машински факултет, 2020.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација под називом „**Концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки**“, кандидата **Горана В. Василића**, маг. инж. маш., урађена према свим стандардима у научно-истраживачком раду, као и да **испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању** и да је у складу са Статутом и Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду, Машинског факултета. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања и да докторска дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносима у научној области Машинско инжењерство, ужа научна област Производно машинство. Кандидат је кроз спроведена истраживања дошао до оригиналних научних резултата који су успешно експериментално верификовани и који се могу применити у инжењерској пракси.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације са задовољством предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду, Машинског факултета да прихвати овај Реферат Комисије, да дисертацију **„Концепцијско пројектовање једне класе комплексних машина алатки“**, кандидата Горана В. Василића, маг. инж. маш, заједно са овим Рефератом стави на увид јавности у складу са законским одредбама, и да потом целокупни материјал упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 04.04. 2023. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Саша Живановић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Живана Јаковљевић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Никола Славковић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Зоран Димић, виши научни сарадник
Лола институт, Београд

др Слободан Табаковић, редовни професор
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 371/4
Датум: 04.05.2023. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017 и 27/2018-др. закон), члана 48. Правилника о докторским студијама, члана 64. Статута Машинског факултета - пречишћен текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године), Одлуке о изменама и допунама Статута број 239/6 од 17.02.2023. године и члана 46. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 04.05.2023. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„КОНЦЕПЦИЈСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЈЕДНЕ КЛАСЕ КОМПЛЕКСНИХ МАШИНА АЛАТКИ“** студента **ГОРАНА ВАСИЛИЋА**, маг. инж. маш.

Јавна одбрана докторске дисертације обавиће се по добијању сагласности Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-2333/2-20 од 24.08.2020. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

Категорија M21:

[1] **Vasilic, G.**, Zivanovic, S.: Configuring and analysis of complex multi-axis reconfigurable machine for wire cutting process, - *Mechanism and Machine Theory*, vol. 149, pp.1-16, 2020
(**IF=3.866**) (ISSN:0094-114X) (DOI:10.1016/j.mechmachtheory.2020.103833).

Категорија M23:

[2] **Vasilic, G.**, Zivanovic, S., Kokotovic, B., Dimic, Z.: Configuring and analysis of a class of generalized reconfigurable 2-axis parallel kinematic machine, - *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol.33, no.7, pp.3407-3421, 2019 (**IF=1.463**) (ISSN: 1738-494X) (DOI:10.1007/s12206-019-0636-z).

Одлуку доставити: студенту, ментору, Катедри за производно машинство и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић