

УНИВЕРЗИТЕТ „УНИОН - НИКОЛА ТЕСЛА“ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ЗА ИНФОРМАЦИОНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ И ИНЖЕЊЕРСТВО У БЕОГРАДУ

Наставно-научном већу Факултета

На основу одлуке Наставно-научног већа Факултета за информационе технологије и инжењерство, Универзитета „Унион – Никола Тесла“ у Београду, бр. 222/24 од 12.07.2024. године, именовани смо у Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације МА Стефана Цвејића, *мастер инжењер електротехнике и рачунарства*, под насловом „Развој софтвера за експлицитну нелинеарну динамичку анализу и процену радног века конструкција клипних пумпи“

Комисија у саставу:

1. Др Маја Анђелковић, редовни професор, Факултет за информационе технологије и инжењерство, Универзитет „Унион – Никола Тесла“ у Београду – председник;
2. Др Мирјана Пухарић, редовни професор у пензији, Факултет за информационе технологије и инжењерство, Универзитет „Унион – Никола Тесла“ у Београду – ментор;
3. Др Наташа Ђорђевић, научни саветник, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд – члан;
4. Др Радован Петровић, редовни професор у пензији, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитет у Крагујевцу - члан;
5. Др Александра Митровић, ванредни професор, Факултет за информационе технологије и инжењерство, Универзитет „Унион – Никола Тесла“ у Београду-члан

подноси следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о кандидату

Стефан Цвејић је рођен 24.07.1987. године у месту Пожаревац, Република Србија. Кандидат је дипломирао 2011. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду и стекао назив *дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства*. Завршио је мастер академске студије на истом Факултету 2013. године и стекао академски назив *мастер инжењер електротехнике и рачунарства*. Кандидат од 2014. године ради као мастер инжењер за француску компанију МАК-SYSTEM International Group у Београду.

Научно-истраживачка делатност кандидата

Кандидат је објавио више научних радова у међународним часописима и учествовао на међународним конференцијама:

1. Dragana Labovic Vukic, Sonja Ketin, Olivera Zivkovic, **Stefan Cvejic**, Snezana Topalovic, GAS EMISSIONS AND ECONOMIC GAS EMISSIONS AND ECONOMIC EFFECTS IN SERBIA, Fresenius Environmental Bulletin, 30 (12/2021):13225-13230, **M23**
2. Radoje CVEJIĆ, Aleksandar VASEV, **Stefan CVEJIĆ**, "INSECURITY OF WEP ENCRYPTION ON WIRELESS NETWORKS" ANNALS OF THE ORADEA UNIVERSITY. Fascicle of Management and Technological Engineering volume XII, 2013/2, ISSN1583-0691, CNCSIS, clasa B+, **bez kategorizacije**
3. M. Anđelković, M. Radosavljević, R. Petrović, P. Kočović, **S. Cvejić**, Computer programme for mathematical modelling and optimisation of hydrodynamic processes in a radial piston pump, Structural integrity and life, Vol. 22, No 3, 2022., pp. 271–274, **M24**
4. M. Radosavljević, M. Anđelković, P. Kočović, R. Petrović, **S. Cvejić**, An approach in reducing vibration in seawater hydraulic piston pumps for increased operational effectiveness and efficiency, Structural integrity and life, Vol. 22, No 3, 2022., **pp. 275–279, M24**
5. Dr Radoje Cvejić, *msc.ing.el.Stefan Cvejić*, mr Rosica Cvejić, Kodovanje izvora u savremenim informaciono - telekomunikacionim tehnologijama, deveta internacionalna konferencija EUROBREND, decembar 2014, Zrenjanin ISBN 987-86-88065-31-3 COBIS.SR-ID 293004551 **M33**
6. R. Cvejic, D. Kostic, **S. Cvejic**, Beograd. Software Defined Networking & Network Functions Virtualization (NFV) overview, SATCIP, International conference Economics and management based on New Technologies. 18/21 jun 2015 VrnjačkaBanja , ISBN 978-86-6075-055-8, COBISS.SR-ID **M33**
7. R. Cvejic, D. Kostic, **S. Cvejic**, Beograd: THE ROLE OF SOCIJAL NETWORKS IN THE USE OF MARKETING IN SERBIA, SATCIP, International conference Economics and management based on New Technologies. 18/21 jun 2015 Vrnjačka Banja , ISBN 978-86-6075-055-8, COBISS.SR-ID **M33**
8. Cvejić R., Šćekić V., **Cvejić S.** (Belgrade – Serbia) EUROPEAN ECONOMY RECOVERY AND DEVELOPMENT FORECAST, 9ta konferencija New Functional Materials and High Technology, 29/30jun 2016., Tivat, ISBN 978-5-905364-10-5., UDC 661:574:502/504:004 **M33**
9. Prof.dr Radoje Cvejic, msci Milos Stevic, *msci Stefan Cvejic*, NOVI METOD DETEKCIJE PROVALE, ZASNOVAN NA SLANJU I PROVERI PAKETA SUSEDNIH ČVOROVA U MANET-u, EUROBRAND 11, oktobar 2015, Zrenjanin, COBISS.SR-ID 300551943, ISBN978-86-88065-33-7, **M33**
10. Radoje Cvejić, **Stefan Cvejić**, Mitar Lutovac, Nikolaj Ivannikov, MODELING CONSIDERATIONS OF INNOVATION PROCESS AT COMPANY LEVEL FOR

- PRIVACY AND ELECTRONIC SECURITY, str.64, , ISBN978-5-4446-0834-0, 2nd International Conference „ New Functional Materials and High Technology „ NFMaHT-2014, Tivat Montenegro 21-23 jun **M33**
11. Radoje Cvejić¹, Dragan R. Avramović², **Stefan Cvejić³**, Duško Kostić, MODEL INFORMACIONOG SISTEMA ZA UPRAVLJANJE ODRŽAVANJEM U TRANSPORTNOM PREDUZEĆU, LEMIMA 2017. **M33**
 12. Radoje Cvejić, Belgrade., Milos Stevic, Pozarevac., **Stefan Cvejić**, COMPUTER VISION/ OPEN CV, FREE UOEN SOURCE COMPUTER VISION LIBRARY OVERVIEW, International conference EMoNT 2017, Proceedings, ISBN978-86-6075-061-9, 15/18 jun, Vrnjacka Banja, str. 202 - 209, **M33**
 13. **Stefan Cvejić**, Ivica Stankovic, Radoje Cvejić, Velimir Dedic, EMERGING ETHICAL CONCERNS IN INFORMATION SYSTEMS, 17 international conference RaDMI2017 ISBN978/86/6075/062/6, str.219-225 **M51**
 14. Ivica Stanković, **Stefan Cvejić**, Milena Kukrić, Radoje Cvejić, Application of the artificial intelligence in dynamic environments of modern touristic business systems, Modern management tools and economy of tourism sector in present era: Second international thematic monograph: thematic proceedings, ISBN 978-86-80194-10-3, COBISS.SR-ID – 512786845, 2017., str. 503-520 **M45**
 15. **Stefan Cvejić**, Velimir Dedić, Radoje Cvejić ZAŠTITA VODA U REPUBLICI SRBIJI Peti naučno – stručni skup sa međunarodnim učešćem ZAŠTITA VODA U ZELENOJ INDUSTRIJSKOJ REVOLUCIJI 15. oktobar 2021. godine, FITI Beograd **M63**
 16. Radoje Cvejić, Vladan Čolić, **Stefan Cvejić**, STRATEGIJE PRETRAGE U SISTEMIMA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE, LEMIMA 2023; Zbornik radova. Knj. 1, (Str. 105-118.), ISBN 978-86-6102-124-4, COBISS.SR-ID - 122458889 **M33**
 17. **S. Cvejić**, M. Miletić, R. Cvejić, “Jedan pogled na antijevrejsku politiku i holocaust”, Deveta naučna konferencija sa međunarodnim učešćem “Stradanje Srba, Jevreja, Roma i ostalih na teritoriji bivše Jugoslavije”, Jan. 2022, ISBN: 978-86-6102-055-1. COBISS.SR-ID - 63768073 **M63**
 18. M. Miletić, **S. Cvejić**, R. Cvejić, „Povećanje efikasnosti prerade otpadnih voda“, Šesta naučno-stručna konferencija sa međunarodnim učešćem „Održivi razvoj i zaštita voda“, Okt. 2022, Zbornik radova, [Vol. 1](#) (Str. 209-217.), ISBN - 978-86-6102-090-2, COBISS.SR-ID – 84011785, **M63**
 19. M. Miletić, **S. Cvejić**, B. Stanković, „Application of Artificial Intelligence in the Production of Stainless Steel Elements”, Osma međunarodna konferencija “Pravo, ekonomija i menadžment u savremenim uslovima - Lemima 2023”. Zbornik radova, knjiga II, (Str. 81-94.), ISBN: 978-86-6102-125-1, COBISS.SR-ID - 123701001 **M33**

У току докторских студија, кандидат је учествовао на следећим пројектима:

1. **Application of information technologies in the design of hydraulic components and systems/ ФИТИ ТТП/ИМ-0421-0822/21-2022**, Број учесника са ФИТИ: 1.проф. др Маја Анђелковић; 2.Пантовић С. Владан, 3.Радоњић М. Александар, 4.Радоје Цвејић, 5.Мирјана Пухарић, **Студенти:** Halima Onalla, Стефан Цвејић, Hana R. Qananah, Khalefa A. Alnagasa, Врста пројекта: Међународни, примењени
2. **COVID-19 PANDEMIC CRISIS MANAGEMENT A NON MEDICAL APPROACH / ФИТИ ТТП/ИМ-0619-1220/19-2020.**, Број учесника са ФИТИ:

1.Велимир Дедић, 2. Цвејић, 3.Маја Анђелковић,4. Гордана Ђуретић, Александра Гајдобрански, Вера Крмпот, 5. Илић, Лазар Цвијић, 6.Невена Красуља, 7.Милан Вемић, 8.Владан Станковић, 9.Александар Анђелковић,10.Милан Радосављевић, 11.Милијанка Ратковић, 12.Мирјана Пухарић, **Студенти:** 1.Цвејић, Стефан, 2.Nasr, Ayoub Ateeyah, Врста пројекта: национални, стратешки

3. **Развој методологија и софтвера за пројектовање, симулацију и оптимизацију клипних пумпи за воду / ФИТИ ТТП/ИМ-1221-0223/21-2023,** Број учесника са ФИТИ: 1.проф. др Маја Анђелковић; 2.проф. др Радоје Цвејић; 3.проф. др Мирјана Пухарић, **Студент:** 1.Стефан Цвејић, Врста пројекта: национални, развојни

4.

Течно говори и пише енглески језик у рангу Ц1.

Наведено указује да је Стефан Цвејић, *мастер инжењер електротехнике и рачунарства*, кроз мастер и докторске студиј, као и кроз своје усавршавање у француској компанији МАК-SYSTEM International Group, повећао квалитет и квантитет свој знања, који су му обезбедили успешан рад на изради докторске дисертације. Радови који су објављени у релевантним научним и стручним часописима и конференцијама показују његову стручност и способност за обједињавање теорије и праксе, што је и крајњи циљ научног деловања.

2. Испуњеност процедура и прописа за одбрану дисертације

Дисертација је изложена јавности на сајту и у библиотеци Факултета за пословне студије и право Универзитета „Унион – Никола Тесла“ од _____.2024. до _____.2024. године, што је у складу са Законом о високом образовању и нормативним актима Факултета.

Кандидат је од прихватања пријаве докторске дисертације до дана одбране написао и објавио већи број радова у домаћим и међународним научним часописима, на међународним и домаћим научним конференцијама и учествовао на три пројекта што га чини компетентним да може приступити одбрани дисертације.

Као што се из претходног може видети Факултет и кандидат су поштовали законске одредбе, као и регулативу Факултета у вези одбране докторске дисертације.

3. Предмет, полазишта и циљеви тезе

Предмет истраживања

У дисертацији је разматрана клипно аксијална хидропумпа константног притиска променљиве радне запремине. Ове пумпе имају широку примену у сложеним хидрауличким системима из области ваздухопловства. Захтеви који се постављају овим пумпама у ваздухопловству су многобројни, али су најзначајнији поузданост у

експлоатацији, изузетна ефикасност у напајању врло сложених грана система као и економичан рад и захтев да се енергија максимално штеди. Садржај рада указује на покушај да се обезбеди даље побољшање перформанси свих уређаја из структуре хидросистема ваздухоплова. Посебно се ове активности односе на компоненте које генеришу одређене видове снаге, а то су, пре свега, пумпе и хидромотори. У раду се приказују резултати истраживања хидрауличке клипно аксијалне пумпе константног притиска променљивог протока за коју је уобичајен назив серво пумпа. Поменута хидропумпа, представља генератор укупне снаге на домаћим борбеним авионима типа "Орао" J-22 и "Галеб" Г4.

Параметри хидродинамичког процеса клипно-аксијалне пумпе (ток притиска, ток усисавања и ток сабијања) немогуће је довољно тачно одредити чисто експерименталним путем, а такође ни чисто математичким моделирањем. Довољно тачни параметри могу се добити комбинованом применом мерења тока притиска у цилиндру, математичког моделирања стварног хидродинамичког процеса и метода нелинеарне оптимизације, при чему се могу истовремено одредити систематске грешке мерења и непознати параметри.

За опитни објекат изабрана је осмоцилиндрична клипно-аксијална пумпа. За мерење тока притиска у цилиндру, потисној комори и потисном цевоводу коришћени су високофреквентни давачи притиска са мерним тракама, а као давач угла коришћен је оптоелектронски инкрементални давач са 1024 марке (зареза) по обрту и једном референтном марком по обрту. За мерно-аквизициони систем одабран је домаћи ултра-брзи мерни систем АДС 2000 са 4 А/Д конвертора који раде симултано, модулом за инкрементални давач угла и појачивачима за даваче са мерним тракама. У модулу за инкрементални давач угла број угаоних марки давача се множи фактором 1, 2, ..., 9. У конкретној примени одабран је фактор 4, тако да је број узорака по каналу и обрту (радном циклусу пумпе) $4 \times 1024 = 4096$, односно мерење је вршено на сваких $0,09^\circ$ погонског вратила пумпе симултано на свим каналима.

Полазишта

Клипно аксијалне пумпе, константног притиска и променљивог протока имају изузетне могућности регулисања протока у функцији промене притиска. Запреминско управљање пумпом, захваљујући повратној спрези по притиску, омогућава поменутим пумпама широку примену у сложеним хидрауличким системима, а посебно у ваздухопловству и свемирској техници. Поједини динамички процеси који се одвијају у циклусу регулисања, су нелинеарни прелазни процеси који се одигравају у току рада пумпе. Математички модел ових процеса, који је у овом случају могуће дефинисати само уз занемаривање појединих зависности, у овој докторској дисертацији је формиран апроксимацијом и линеаризацијом тих величина, па је математички модел клипно аксијалне пумпе константног притиска формиран дефинисањем линеарних диференцијалних једначина.

Циљеви истраживања

Циљеви докторске дисертације кандидата коегзистирају са самим предметом истраживања и тиме добијају валидних закључака кроз доказивање самих хипотеза.

Циљ истраживања је развој математичког модела и компјутерских програма за прорачун високодинамичких хидрауличких процеса у цилиндру пумпе, потисном и усисном простору и потисном цевоводу у функцији угла погонског вратила, при стационарним и нестационарним режимима рада и примена метода идентификације непознатих параметара, као и метода оптимизације и увођење експерименталних поступака за мерење високодинамичких процеса у клипно-аксијалној пумпи. Главни циљ дисертације је примена информационих технологија (ИТ) у процени радног века конструкција клипних пумпи у развоју нових производа хидрауличких клипних пумпи.

Реални нестационарни хидродинамички процеси у цилиндру, усисном и потисном простору пумпе са једним цилиндром описани су на основу закона хидродинамике и динамике, системом нелинеарних парцијалних и обичних диференцијалних једначина променљиве структуре. Узети су у обзир: реална геометрија разводних органа, кинематика кретања клипа и стишљивост радног флуида. За моделирање динамике кретања потисног вентила узети су у обзир вискозно трење и реална ограничења, еласто-пластично седиште и еласто-пластични граничник. Пошто је добијени систем нелинеарних диференцијалних једначина у групи тзв. крутих система који се веома тешко нумерички решавају, развијен је посебан итерациони предиктор-коректор поступак. Комплетан модел описан је у Digital Visual Fortran 5.0 и практично примењен на конкретном моделу.

На основу измереног притиска у цилиндру и вентилској (потисној) комори и вибрација кућишта пумпе у функцији обртног угла погонског вратила пумпе извршена је детаљна анализа.

4. Актуелност и значај теме дисертације

Хидраулика се углавном ослањана експерименте како би се добили одговори на постављена питања. Због тога и данас, многи сматрају да је хидраулика класично подручје емпирије. Савремена хидраулика је јединствена област науке у којој су математичке методе описивања процеса и појава у складу са резултатима експерименталних испитивања и где се теорија и даље потврђује и допуњава експериментима у циљу стварања основа за егзактнија и поузданија истраживања у наредном периоду.

Развој и стопа раста примене која се десила у хидраулици није се десила ни у једном другом делу машинске технике, а главни разлози су посебне могућности и ефекти које ова врста технике пружа у односу на могуће алтернативе. Снажан допринос таквом развоју је подстакнут брзим развојем у мерној техници, техници пројектовања, техници производње и техници електронског управљања системима, као и применом нових материјала. Интензивни развој хидрауличких уређаја и система који је забележен задњих година показује да је достигнут висок ниво техничких и радних параметара и широка лепеза разноврсних уређаја потребних да покрију све области примене. Сасвим је природно да се овај тренд развоја у највећој мери осећа код пумпи као највиталнијих делова хидросистема. Посебно је приметна модернизација њиховог система управљања и регулисања путем потпуног преласка на електро хидраулички.

Истраживања која су обављена у овој дисертацији, имају задатак да дају допринос у погледу побољшања карактеристика хидропумпи уопште. Хидропумпе које се користе у ваздухопловству имају врло строге захтеве по питању поузданости у експлоатацији. Због тога се при освајању хидро пумпе за ову примену оне подвргавају врло строгим процедурама хомологационих испитивања.

5. Методологија истраживања и основне хипотезе од којих се пошло у истраживању

Методологија истраживања

У докторској дисертацији је коришћен већи број савремених научно-истраживачких метода применом информационих технологија (ИТ). Услед комплексности проблема, коришћен је и нумерички и експериментални приступ. Обављена су следећа истраживања:

- утицај притиска усисавања p_u на градијент пораста притиска у цилиндру,
- промена угла нагиба косе плоче и његов утицај на градијент пораста и пада притиска у цилиндру и у потисној комори,
- утицај броја обртаја погонског вратила n на ток високопритисних пулзација притиска у цилиндру у фази сабијања,
- промена величине запремине потисне коморе V_v и њен утицај на величину пулзације притиска у потисној комори,
- утицај процентуалног садржаја гаса у радном флуиду γ на градијент пораста притиска у цилиндру,
- утицај процентуалног садржаја гаса у радном флуиду на ток притиска у потисној комори,
- промена пречника цилиндра D_c има за последицу промену тока притиска у фази сабијања,
- утицај радијалног зазора Δr између клипа и цилиндра на ток линија притиска у цилиндру и потисној комори,

- утицаји осталих параметара клипно-аксијалне пумпе биће наведени у датотеци AKSIP.DAT.

Теоријске основе истраживања обухватају широки аспект досадашњих сазнања доступних научној и стручној јавности, публикованих у извештајима, студијама међународних институција, монографијама, научним и стручним студијама, теоријским расправама домаћих и страних аутора, покривених релевантним достигнућима науке и најбоље доказаним праксама у земљи и свету.

Методе рада примењене у истраживању у складу су са методологијом научно-истраживачког рада и обезбеђују објективност и поузданост добијених резултата. Коришћене су следеће методе: дескриптивна метода; метода анализе и синтезе код проучавања домаће и стране литературе и истраживачких искустава, доступних докумената, извештаја и студија; компаративна метода карактеристика пумпе добијених симулацијама на математичком моделу и испитивањима вршеним на реалном објекту; аналитичко-синтетичка метода - након завршених мерења на моделу урађена је анализа и синтеза добијених резултата; научни експеримент – извршен у лабораторији за хидраулику и пнеуматику ППТ Наменска. Експериментални процес подразумева обезбеђење услова захтеване експерименталне ситуације тј. захтеваних услова испитивања. Структуру научног експеримента чине: проучавање проблематике, дефинисање проблема истраживања, одабир методе истраживања, припрема експеримента, реализација експеримента, анализа резултата експеримента, интерпретација резултата, доношење закључака и смерница за даљи рад на изабраном проблему.

Хипотетички оквир истраживања

На основу идентификованог проблема, дефинисаног предмета истраживања који је детерминисао и циљеве научног истраживања, дефинисан је оквир хипотеза којима је кандидат истраживао идентификовани проблем, и то:

Општа хипотеза X0

“Математичким моделирањем процеса рада аксијалне клипне пумпе са константним притиском добијају се параметри који се са довољном тачношћу поклапају са параметрима одређеним експерименталним путем.”

Помоћне хипотезе:

X1: “Моделирање процеса рада пумпи са различитим конструктивним шемама, различитим бројем цилиндара и различитим типовима разводних органа, даје резултате прихватљивих тачности.”

X2: “Мерно управљачки систем АДС 2000 је могуће применити у испитивањима и пројектовању аксијално клипне пумпе са константним притиском и константним протоком. “

У истраживању кандидат је у потпуности **потврдио почетну хипотезу X0**: “Математичким моделирањем процеса рада аксијалне клипне пумпе са константним притиском добијају се параметри који се са довољном тачношћу поклапају са параметрима одређеним експерименталним путем.” Математички модел клипно аксијалне пумпе константног притиска кандидат је дефинисао линеарним диференцијалним једначинама. Моделом су описани хидродинамични процеси који се одвијају у пумпи. Дефинисањем математичког модела и на основу њега формирање структурног блок дијаграма, а коришћењем софтвера Матлаб омогућио је израду симулационих дијаграма који је поредио са резултатима добијеним експерименталном анализом.

Општа хипотеза је доказана кроз поглавље 3, под називом Математички модел клипно аксијалне хидропумпе константног притиска, као и у поглављу 4, под називом Резултати теоријске анализе параметара хидропумпе константног притиска. Математички модел којим је симулиран реални модел понашања садржао је четрдесет различитих параметара. Модел је дефинисан тако да се може користити при деловању више улазних поремећаја са праћењем неколико излазних величина. Коришћењем рачунара и софтвера Матлаб-а симулацијом је сложени теоретски модел искоришћен за анализу утицаја великог броја параметара и нелинеарности на динамичко понашање система. Резултати приказани у поглављу 4 су потврдјени кроз поглавље 5, под називом Експериментална анализа.

X1- “Моделирање процеса рада пумпи са различитим конструктивним шемама, различитим бројем цилиндара и различитим типовима разводних органа, даје резултате прихватљивих тачности.” Развој модела понашања пумпе обухвата анализу утицаја великог броја конструктивних параметара пумпе. На основу дефинисаног модела кандидат је извршио симулацију динамичког понашања пумпе константног притиска и протока. Након извршених експерименталних испитивања реалног модела, анализиран је однос теоретског и реалног модела пумпе и доказао помоћну хипотезу. Помоћна хипотеза 1 је, као и општа хипотеза, доказана поглављима 3, 4 и 5. Развој модела понашања пумпе обухвата анализу утицаја великог броја нелинеарности. Након извршених експерименталних испитивања закључак је да се теоретски модел у значајној мери поклапа са реалним моделом.

X2- “Мерно управљачки систем АДС 2000 је могуће применити у испитивањима и пројектовању аксијално клипне пумпе са константним притиском и константним протоком. “

Експериментална испитивања при пројектовању аксијално клипне пумпе са константним притиском и константним протоком представљају изузетно сложена и скупа испитивања. Ова испитивања је могуће спровести формирањем реалних објеката испитивања уз коришћење сложених система за аквизицију и обраду података. Ова помоћна хипотеза је доказана у поглављу 5, под називом Експериментална анализа. Захваљујући великим могућностима савременог мерно управљачког система АДС 2000, којим се неелектричне величине могу мерити и претварати у електричне сигнале, аквизиција података и снимање дијаграма се могу вршити успешно, јер се сви процеси могу снимати адекватним брзинама.

6. Кратак опис садржаја докторске дисертације

У наставку текста дат је преглед садржаја докторске дисертације са кратким описом поглавља на крају.

САДРЖАЈ

АПСТРАКТ

1. УВОД

1.1. Пренос енергије хидрауличким путем

1.2. Главне карактеристике хидростатичког преноса снаге

2. ПРИМЕНА ПУМПИ У ХИДРАУЛИЧКИМ СИСТЕМИМА ВАЗДУХОПЛОВА

2.1. Запреминске пумпе

2.2. Основни захтеви за ваздухопловне хидропумпе

2.3. Специфични захтеви за ваздухопловне хидропумпе

2.4. Ваздухопловне клипно аксијалне хидропумпе константног притиска

2.4.1. Пумпе константног притиска са регулисањем помоћу цилиндра и опруге

2.4.2. Пумпе константног притиска са регулисањем протока помоћу посебног управљачког кола

2.5. Брзина процеса регулисања протока

2.6. Уобичајене шеме примене клипно аксијалне пумпе константног притиска

3. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ХИДРОПУМПЕ КОНСТАНТНОГ ПРИТИСКА

3.1. Диференцијалне једначине линеаризованог модела, пумпе константног притиска, ПКП

3.1.1. Хидраулички претварачи притиска, ХПП

3.1.2. Хидраулички цилиндар ХЦ, управљан разводником за регулисање

3.1.3. Закретна плоча

3.1.4. Једначина проточне карактеристике пумпе

3.1.5. Једначина протока пумпе константног притиска

3.1.6. Симулирање нелинеарности

4. РЕЗУЛТАТИ ТЕОРИЈСКЕ АНАЛИЗЕ ПАРАМЕТАРА ХИДРОПУМПЕ

КОНСТАНТНОГ ПРИТИСКА

- 4.1. Симулација промене протока у функцији промене притиска
- 4.2. Симулирање процеса регулисања протока са разним вредностима преднапона опруге ε_1
- 4.3. Симулирање времена одзива пумпе
- 4.4. Симулирање услова у којима се мења велчина прескока притиска при прелазу са називног на максимални притисак
- 4.5. Симулирање услова који мењају временску константу t_2 .

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА

- 5.1. Реални објекат и методе испитивања
- 5.2. Систем за аквизицију података
 - 5.2.1. Опис електронске јединице за мерење и управљање хидрауличким системом
 - 5.2.2. Радни екран система за аквизицију података
 - 5.2.3. Аналогни улазни канали
 - 5.2.4. Аналогни излазни канали
 - 5.2.5. Електронски претварачи параметара у хидрауличком систему
 - 5.2.5.1. Електронски претварачи притиска
 - 5.2.5.2. Турбински претварач протока
 - 5.2.5.3. Претварачи температуре
- 5.3. Испитивање карактеристика хидропумпе константног притиска
 - 5.3.1. Снимање промене протока при промени притиска од задате вредности притиска до максималне подешене вредности.
 - 5.3.2. Снимање промене параметра пумпе при раду са две различите вредности максималног притиска
 - 5.3.3. Снимање временске константе пумпе
 - 5.3.4. Снимање варијације прескока притиска при прелазу са називног на максимални притисак
 - 5.3.5. Снимање варирања временске константе t_2

6. КАРАКТЕРИСТИЧНИ ПАРАМЕТРИ КЛИПНО-АКСИЈАЛНЕ ПУМПЕ

7. ЗАКЉУЧЦИ

8. LITERATURA

9. ПРИЛОЗИ

Кандидат је кренуо у истраживање конципирајући садржај докторске дисертације, где се према логичном току истраживања **у првом делу** бавио главним карактеристикама хидростатичког преноса снаге, са посебним освртом на историјат развоја и основне захтеве који се постављају хидростатичком преносу снаге и његовим предностима и недостацима у односу на алтернативне системе разних врста.

У другом делу кандидат се бави применом пумпи у хидрауличким системима ваздухоплова као основним агрегатом хидрауличког система, које механичку енергију погонског мотора, претварају у хидростатичку енергију радног флуида, при чему морају да задовоље читав низ основних и специфичних захтева. . Посебно су разјашњени принципи рада и регулисања клипно аксијалних пумпи константног притиска. Детаљно су разрађени принципи регулисања протока у функцији притиска помоћу цилиндра и опруге. Такође је обрађена варијанта са аутоматским регулисањем помоћу посебног кола за регулисање. Приказана је најчешће примењивана шема примене клипно аксијалне пумпе константног притиска. Размотрена је и брзина процеса регулисања протока пумпе у функцији притиска.

У трећем делу „Математички модел клипно аксијалне хидропумпе константног притиска“ кандидат обрађује нелинеарне прелазне процесе који се одигравају у току рада пумпе. Математички модел ових процеса, који је у овом случају могуће дефинисати само уз занемаривање појединих зависности, формиран је апроксимацијом и линеаризацијом тих величина, па је математички модел клипно аксијалне пумпе константног притиска формиран дефинисањем линеарних диференцијалних једначина. Диференцијалним једначинама су описане одређене целине као што су хидраулички претварач притиска, ХПП, хидраулички цилиндар управљан разводником за регулисање, ХЦ. Анализирана је и закретна плоча, затим проточна карактеристика пумпе, као и једначина протока пумпе. Приказана је структурна шема која је урађена на основу диференцијалних једначина. Комплетна анализа је реализована помоћу програмског језика "Матлаб".

У четвтом делу кандидат је дао резултате теоријске анализе параметара хидропумпе константног притиска и уз помоћ Матлаба формирао софтвер, који је послужио као симулациони дијаграм за писање програма за рачунар помоћу програмског језика *Матлаб*. Како би се на прави начин симулирао реални модел понашања, употребио је преко четрдесет различитих параметара, а модел је дефинисао тако да може да се користи при деловању више улазних поремећаја уз праћење неколико излазних величина. Коришћењем рачунара и поменутог софтвера Матлаб-а, кандидат је извршио симулацију промене протока у функцији промене притиска, симулацију процеса регулисања протока са разним вредностима преднапона опруге ε_1 , симулацију времена одзива пумпе, симулацију услова у којима се мења величина

прескока притиска при прелазу са називног на максимални притисак и симулацију услова који мењају временску константу t_2 .

У **петом поглављу** кандидат је дао резултате експерименталних испитивања, која су извршена на реалном објекту конципираном по узору на хидраулички систем у коме хидропумпа ради у систему у реалним условима у Лабораторији за хидраулику и пнеуматику ППТ Наменска. Приказан је комплетан систем за експериментално испитивање, који се састоји од хидрауличног система у коме се пумпа испитује и система за аквизицију и обраду података при испитивању. Експериментима су углавном обухваћена испитивања динамичких карактеристика, као што су динамички процеси одигравања прелазних појава и промена при регулисања протока. У овом поглављу прво је представио реални објекат тј. хидраулички систем, који је веома сличан системима на авионима Орао и Г4, затим примењене методе истраживања, мерне уређаје (електронске претвараче притиска, турбински претварач протока, претвараче температуре) и систем за аквизицију података, истовремено уз резултате експерименталних истраживања, која су обухватила испитивања карактеристика хидропумпе константног притиска, снимања промене протока при промени притиска од задате вредности до максималне подешене вредности, снимања промене параметра пумпе при раду са две различите вредности максималног притиска, снимања временске константе пумпе, снимања варијације прескока притиска при прелазу са називног на максимални притисак и снимања временске константе t_2 .

У **шестом поглављу** кандидат је дао карактеристичне параметре клипно аксијалне пумпе (њих преко 60), који утичу на токове притисака у цилиндру и потисној комори и одредио њихов утицај на градијент пораста притиска у цилиндру. Представио је резултате анализе утицаја притиска усисавања, промене угла нагиба косе плоче, утицаја броја обрта погонског вратила на ток високопритисних пулзација притиска у цилиндру у фази сабијања, утицаја промене величине запремине потисне коморе на величину пулзација притиска у потисној комори, утицаја процентуалног садржаја гаса у радном флуиду на градијент пораста притиска у цилиндру, утицај промене пречника цилиндра, утицај радијалног зазора између клипа и цилиндра на ток линија притиска у цилиндру и потисној комори, утицај промена радијалног зазора на ток притиска у цилиндру, утицај промене величине запремине штетног простора у цилиндру, промене угла почетка фазе усисавања, утицај максималне висине подизања плочице потисног вентила, утицај крутости опруге потисног вентила, утицај величине дужине потисног цевовода, утицај величине масе плочице потисног вентила, као и утицај промене полупречника цилиндарског блока на ток притиска у цилиндру. За утицај осталих разматраних параметара клипно-аксијалне пумпе утврдио је да незнатно утичу на ток притиска у цилиндру и потисној комори.

У **седмом поглављу** кандидат је на основу извршених истраживања, дефинисао најважније закључке. Остварени резултати су од научног значаја, добијени пре свега анализом прикупљаног теоријског материјала и његовим систематским проучавањем, као и експерименталним истраживањима и симулацијама процеса рада хидраличне аксијалне пумпе, на основу чега су се изведени закључци засновани на примени

научних метода. У закључку је дата оцена добијених резултата при чему су поређене карактеристике добијене симулацијама на математичком моделу и испитивањима вршеним на реалном објекту.

У прилогу су дате неке појединости из развојног дела разматране пумпе. Приказан је универзални пробни сто АМС ППТ Наменска Трстеник, на коме су извршена испитивања хидропумпе у фази освајања. Дати су сви технички подаци пумпе интерне ознаке ППТ Наменска 741-1000, као и најновији токови модернизације пумпи константног притиска.

Остварени научни допринос

Кандидат је успешно развио врло савремену методу и компјутерски програм за математичко моделирање модела клипно-аксијалне пумпе, за идентификацију параметара сложеног нелинеарног математичког модела, као и за оптимизацију хидродинамичких процеса реалне вишецилиндричне клипно-аксијалне пумпе. Паралелно је увео примену савремених компјутеризованих уређаја за испитивање хидродинамичких и динамичких процеса клипно-аксијалне пумпе. Комплетан модел биће на бази парцијалних модела појединих елемената (усисне и потисне коморе, цилиндра пумпе, клипног механизма пумпе, усисних и потисних разводних органа, усисног и потисног цевовода пумпе).

У развоју математичког модела узео је у обзир све најбитније утицаје, попут реалне геометрије разводних органа, променљивост коефицијента протока разводних органа, стишљивост и удео гасне фазе у радном флуиду, нестационарност струјања у потисном цевоводу са трењем, еластична ограничења са трењем при кретању вентила и др. На тај начин је развијени математички модел, оригиналним начином решавања добијеног нелинеарног мешовитог система парцијалних и обичних диференцијалних једначина, учинио знатно напреднијим од досадашњих познатих модела. Програм који је кандидат развио у својој докторској дисертацији за потребе математичког моделирања, идентификације и оптимизације параметара клипно-аксијалне пумпе, омогућава аутоматско динамичко приказивање резултата у облику дијаграма у 24 прозора на монитору у току самог прорачуна. Научно објашњење резултата који су приказани у истраживачком раду, засновано је на примени научних метода.

8. Литература

У изради докторске дисертације коришћена је релевантна литература, новијег датума, која је у непосредној вези са проблемом истраживања, укупно 74 библиографске јединице: од тога је у литератури наведено: 24 књиге (10 извора из стране литературе, 14 извора из домаће литературе); 39 извора из релевантних научних часописа, 1 докторска дисертација, 10 страних и домаћих интернет извора.

- [1] Bauer G. Ölhydraulik B. G. Teubner Stuttgart, 1982.
- [2] Backe W. Grundlagen der Ölhydraulik RWTH Aachen, 1980.
- [3] Backe W. The Future of Fluid Power Japan, 1988.
- [4] Gračner Z. Hidrauličke komponente. Radni materijal, VTMS Trstenik, 2006.
- [5] Bašta T. M. Mašinska hidraulika, MF Beograd. 1990.

- [6] Gračner Z. Klipno aksijalne hidropumpe, Međunarodna konferencija, RADMI 2002. Vrnjačka Banja, 2002.
- [7] LINDE Hidrostatički sistemi sa pumpom promenljivog protoka (prevod sa nemačkog). Časopis, Hidraulika 2, 1981.
- [8] Gračner Z. Savremena rešenja klipno aksijalnih hidropumpi. Stručni skup HIP 2002, Vrnjačka Banja, 2002.
- [9] Marković D. Hidraulički sistemi sa podešavanjem prema opterećenju, MAP/ 88, Novi Sad
- [10] Mandić V. Metodologija ispitivanja hidrauličkih uređaja, MAP/88, Novi Sad.
- [11] Nedić N. Hidrauličke komponente i sistemi. HEP/98, Kopaonik
- [12] Egerić S. Upravljanje i regulisanje klipno aksijalnih pumpi promenljivog protoka. HIPET/89, Vrnjačka Banja
- [13] Savić V. Energetsko iskorišćenje različitih konstrukcija hidrauličkih sistema. HEP/95, Kopaonik
- [14] Фролов К. Колебания элементов аксиально поршневых гидромашин Москва 1973.
- [15] REXROTH, Der Hydraulik Trainer Band 1, 2, 3 (prevod sa nemačkog)
- [16] Abdul R. Sinteza elektrohidrauličkog nelinearnog sistema metodom digitalne simulacije, TVA Zagreb, 1978.
- [17] Ivanović P. Metod analize i matematičkog modeliranja procesa, projekata, M F Kragujevac.
- [18] VTI Žarkovo, Opis i održavanje hidrauličkih uređaja, J22, Beograd 1987.
- [19] Mijatović B. Ispitivanje funkcionisanja avionskih hidrauličkih sistema, Časopis HIP br.35 Trstenik 1977.
- [20] Abdul R. Elektro hidraulički servosistemi TŠC Zagreb, 1982.
- [21] Gračner Z. Analiza i sinteza elektrohidrauličkog uređaja za automatsko pokretanje kupole PA sistema, kalibra 30mm, sa dinamičkom MF Beograd 1986.
- [22] Гавриленко Б. Минин А., Гидравлический привод. Машиностроение, Москва 1978.
- [23] Gračner Z. Određivanje momenta na zakretnoj ploči klipno aksijalne pumpe i uticaj na pulzaciju pritiska, Časopis HIP 1981.
- [24] Opreanu A. Ciobanu E. Actionari si automatizari hidraulice modelare simulare, Editura tehnica Bucuresti 1989.
- [25] Popov M. Projekat probnog stola za ispitivanje funkcionalnosti hidrokomponenti. Časopis HIP Trstenik 1970.
- [26] Gračner Z. Primena klipno aksijalnih pumpi u vazduhoplovstvu, Časopis HIP Trstenik 1979.
- [27] Ražnatović Z., Statičke i dinamičke karakteristike klipno aksijalnih pumpi, Časopis HIP Trstenik 1980.
- [28] Sekulić M. Primena hidrauličkih servosistema u vazduhoplovstvu, Zbornik radova, SMEITS, Beograd, 1970.
- [29] Petrović S. Vakuum na ulazu u pumpu, Časopis HIP Trstenik, 1974.
- [30] Milenković B., Izbor i primena hidrauličkih fluida. Časopis, HIP Trstenik 1981.
- [31] Nedić N. Hidrauličke komponente i sistemi, HEP/98 Kopaonik
- [32] Prva petoletka, Prospekti i katalozi iz oblasti hidraulike
- [33] MIL SPEC. MIL-P-19692C Military specification Pumps, hydraulic, variable deliveru, general specification, 1994.
- [34] Berent M. "TORNADO" The computerized Warfighter
- [35] Lazić D. Ristanović M., Uvod u MATLAB, MF. Beograd 2005.
- [36] H B M Hottingen Baldwin Messtechnik - katalog

- [37] Radović M. Sistem za akviziciju podataka, Uputstvo za korišćenje.
- [38] Herbert E. Merritt, Hydraulic control system
- [39] Ernst, M.; Vacca, A.; Ivantysynova, M.; Enevoldsen, G. Tailoring the Bore Surfaces of Water Hydraulic Axial Piston Machines to Piston Tilt and Deformation. *Energies*, **2020**,13, 5997, doi:10.3390/en13225997.
- [40] Paszota, Z. Theoretical and mathematical models of the torque of mechanical losses in the pump used in a hydrostatic driv. *Polish Maritime Research***2012**, 18 (4), 28-35. <https://doi.org/10.2478/v10012-011-0023-x>
- [41] Casoli, P.;Pompini, N.;Riccò, L. Simulation of an Excavator Hydraulic System Using Nonlinear Mathematical Models. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 2018,61,583-593. doi:<http://dx.doi.org/10.5545/sv-jme.2015.2570>.
- [42] Lovrec, D.; Tašner, T.; Tič, V. Dynamic behaviour of different hydraulic drive concepts - comparison and limits. *International journal of simulation modelling***2017**.16(3),448–457.
- [43] Pelosi, M.; Ivantysynova, M. A Geometric Multigrid Solver for the Piston–Cylinder Interface of Axial Piston Machines. *Tribology Transactions***2012**, 55, 163-174. doi: [10.1080/10402004.2011.639049](https://doi.org/10.1080/10402004.2011.639049)
- [44] Zhang, B.; Jien, M.; Haocen, H.; Huayong, Y.; Youtong, F. Analysis of the flow dynamics characteristics of an axial piston pump based on the computational fluid dynamics method. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics***2017**, 11, 86-95. DOI: [10.1080/19942060.2015.1091686](https://doi.org/10.1080/19942060.2015.1091686)
- [45] Qun, C.; Junhui, Z.; Bing, X.; Qiannan, W. Discussion on the Reynolds equation for the slipper bearing modeling in axial piston pumps. *Tribology International***2018**,118,140-147. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.09.027>.
- [46] Kumar, S.; Bergada, J.M. The effect of piston grooves performance in an axial piston pumps via CFD analysis. *International Journal of Mechanical Sciences***2013**,66,168-179. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2012.11.005>.
- [47] Bergada, J.M.; Kumar, S.; Davies, D.L.; Watton, J. A complete analysis of axial piston pump leakage and output flow ripples. *Applied Mathematical Modelling***2012**, 36,1731-1751. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.09.016>.
- [48] Vacca, A.; Klop, R.; Ivantysynova, M. A Numerical Approach for the Evaluation of the Effects of Air Release and Vapour Cavitation on Effective Flow Rate of Axial Piston Machines. *International Journal of Fluid Power***2010**,11, 33-45. DOI: [10.1080/14399776.2010.10780996](https://doi.org/10.1080/14399776.2010.10780996)
- [49] Majdič, F.; Pezdirnik, J.; Kalin, M. Experimental validation of the lifetime performance of a proportional 4/3 hydraulic valve operating in water. *Tribology International***2011**, 44,2013-2021. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2011.08.020>.
- [50] Songlin, N.; Ming, G.; Fanglong, Y.; Hui, J.; Zhonghai, M.; Zhen, H.; Xin, Z. Research on fluid-structure interaction for piston/cylinder tribopair of seawater hydraulic axial piston pump in deep-sea environment. *Ocean Engineering***2021**,219, 108222. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108222>.
- [51] Strmčnik, E.; Majdič, F. Comparison of leakage level in water and oil hydraulics. *Advances in Mechanical Engineering***2017**, 9, 1-12. doi:10.1177/1687814017737723
- [52] Bundschuh, J.; Kaczmarczyk, M.; Ghaffour, N.; Tomaszewska, B. State-of-the-art of renewable energy sources used in water desalination: Present and future prospects, *Desalination***2021**,508, 115035. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115035>.
- [53] Xiyan, X.; Shuming, L.; Ying, L.; Smith, K.; Yong, C. Corrosion of stainless steel valves in a reverse osmosis system: Analysis of corrosion products and metal loss, *Engineering Failure Analysis***2019**,105,40-51. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.06.026>.

- [54] Sarai Atab, M.; Smallbone, A.J.; Roskilly, A.P. An operational and economic study of a reverse osmosis desalination system for potable water and land irrigation. *Desalination* **2016**, 397, 174-184. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.06.020>.
- [55] Fanglong, Y.; Songlin, N.; Hui, J.; Yeqin, H. Non-probabilistic reliability analysis and design optimization for valve-port plate pair of seawater hydraulic pump for underwater apparatus. *Ocean Engineering* **2018**, 163, 337-347. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.06.007>.
- [56] Yang, H.; Pan, M. Engineering research in fluid power: a review. *J. Zhejiang Univ. Sci.* **2015**, 16, 427-442. <https://doi.org/10.1631/jzus.A1500042>
- [57] Ernst, M.; Vacca, A. Hydrostatic vs. hydrodynamic components of fluid pressure in the tribological interfaces of axial piston machines, *Tribology International* **2021**, 157, 106878. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.106878>.
- [58] Jiang, J.; Wang, Z. Optimization and Influence of Micro-Chamfering on Oil Film Lubrication Characteristics of Slipper/Swashplate Interface within Axial Piston Pump. *Energies* **2021**, 14, 1961. <https://doi.org/10.3390/en14071961>
- [59] Zhou, J.; Zhou, J.; Jing, C. Experimental Research on the Dynamic Lubricating Performance of Slipper/Swash Plate Interface in Axial Piston Pumps. *Chin. J. Mech. Eng.* **2020**, 33, 25. <https://doi.org/10.1186/s10033-020-00441-7>
- [60] Rizzo, G.; Massarotti, G.P.; Bonanno, A.; Paoluzzi, R.; Raimondo, M.; Blosi, M.; Veronesi, F.; Caldarelli, A.; Guarini, G. Axial piston pumps slippers with nanocoated surfaces to reduce friction. *International Journal of Fluid Power* **2015**, 16, 1-10. DOI: [10.1080/14399776.2015.1006979](https://doi.org/10.1080/14399776.2015.1006979)
- [61] Defa, W.; Yinshui, L.; Xufeng, Z.; Donglin, L.; Xiaojun, R. The Tribological Behaviors of Different Mass Ratio Al₂O₃-TiO₂ Coatings in Water Lubrication Sliding against Si₃N₄, *Tribology Transactions* **2016**, 59, 352-362. DOI: [10.1080/10402004.2015.1079348](https://doi.org/10.1080/10402004.2015.1079348)
- [62] Qun, C.; Junhui, Z.; Bing, X.; Qiannan, W.; Hsinpu, H. Test rigs and experimental studies of the slipper bearing in axial piston pumps: A review, *Measurement* **2019**, 132, 135-149. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.09.027>.
- [63] Patrosz, P. Influence of Properties of Hydraulic Fluid on Pressure Peaks in Axial Piston Pumps' Chambers. *Energies* **2021**, 14, 3764. <https://doi.org/10.3390/en14133764>
- [64] Zhou, J.; Zhou, J.; Jing, C. Experimental Research on the Dynamic Lubricating Performance of Slipper/Swash Plate Interface in Axial Piston Pumps. *Chin. J. Mech. Eng.* **2020**, 33, 25. <https://doi.org/10.1186/s10033-020-00441-7>
- [65] Yin, F.; Nie, S.; Xiao, S.; Hou, W. Numerical and experimental study of cavitation performance in sea water hydraulic axial piston pump. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering* **2016**, 230, 716-735. doi: [10.1177/0959651816651547](https://doi.org/10.1177/0959651816651547)
- [66] Kumar, N.; Kumar, R.; Kumar Sarkar, B.; Maity, S. Condition monitoring of hydraulic transmission system with variable displacement axial piston pump and fixed displacement motor. *Materials Today: Proceedings*, **2021**, 46, 9758-6765. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.327>.
- [67] Banaszek, A. Identification of optimal efficiency exploitation conditions of axial piston hydraulic motor A2FM type using Artificial Neural Network algorithms, *ELSEVIER Procedia Computer Science* **2021**, 192, 1532-1540.
- [68] Petrović, R. Mathematical Modeling and Experimental Research of Characteristic Parameters Hydrodynamic Processes of a Piston Axial Pump. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* **2009**, 55, 224-229.
- [69] Rokala, M. Analysis of Slipper Structures in Water Hydraulic Axial Piston Pumps. PhD Thesis, *Tampere University of Technology*, **2012**.

9. Закључак комисије

На основу свега претходно изложеног, а имајући у виду предмет и циљеве истраживања, актуелност и значај теме, теоријско методолошке и хипотетичке оквира истраживања, оквирни садржај те евидентан теоријско-научни допринос докторске дисертације, као и литературу, комисија са задовољством:

Предлаже:

да Наставно-научно веће Факултета за информационе технологије и инжењерство, Универзитета „Унион-Никола Тесла“ у Београду прихвати, а Сенат Универзитета „Унион – Никола Тесла“ у Београду да сагласност на позитивну оцену докторске дисертације кандидата магист. Стефана Цвејића, под насловом „Развој софтвера за експлицитну нелинеарну динамичку анализу и процену радног века конструкција клипних пумпи“ и да се одбрана исте обави пред наведеном комисијом.

Београд, септембар 2024. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

1. Др Маја Анђелковић, редовни професор,
Факултет за информационе технологије и инжењерство,
Универзитет „Унион – Никола Тесла“ у Београду – председник
2. Др Мирјана Пухарић, редовни професор у пензији,
Факултет за информационе технологије и инжењерство,
Универзитет „Унион – Никола Тесла“ у Београду – ментор
3. Др Наташа Ђорђевић, научни саветник,
Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина,
Београд – члан
4. Др Радован Петровић, редовни професор у пензији,
Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву,
Универзитет у Крагујевцу - члан
5. Др Александра Митровић, ванредни професор,
Факултет за информационе технологије и инжењерство,
Универзитет „Унион – Никола Тесла“ у Београду - члан