

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ
НАУКА
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА
У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној 04. 07. 2019. године (број одлуке: 01-1/2348-6) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној 10. 07. 2019. године (број одлуке: IV-04-579/17) смо одређени за чланове Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације: **"Идентификација и оптимизација радних и конструктивних параметара клипно аксијалних пумпи водне хидраулике"** у научној области примењена механика кандидата **Ненада Тодића**, дипл. инж. маш. На основу података којима располажемо достављамо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада

У предложеном нацрту докторске дисертације кандидат је образложио предмет истраживања, наводећи актуелност и значај истраживања у области идентификације и оптимизације радних и конструктивних параметара клипно аксијалних пумпи водне хидраулике.

Модерна водна хидраулика треба да обезбеди коришћење воде као радног флуида и тако омогући еколошки прихватљиву алтернативу свеприсутној уљној хидраулици. Водна хидраулика је посебно погодна за индустријске активности као што су прерада хране, десалинизација морске воде, производња челика, рударство, индустрија амбалаже, индустрија целулозе и папира, производња нуклеарне енергије и производња мобилних машина за еколошки осетљива подручја.

Постоје велики изазови за иновативним решењима, са којима се истраживачи суочавају, како би се водна хидраулика учинила конкурентнијом и поузданијом у односу на хидрауличке и пнеуматске системе. Технички императиви и захтеви примене стварају потребу за континуираним истраживањима. Одрживи развој и заштита животне средине су снажни глобални трендови који осигуравају водној хидраулици веома важну улогу у будућности.

Савремени развој пумпи поставља стандарде, како по питању све строжијих режима рада самих уређаја, тако и по питању њиховог квалитета и поузданости, па се пажња посвећује:

- подизању нивоа техничких перформанси пумпе,
- побољшању укупног степена корисног дејства и уштеде енергије,
- смањењу нивоа буке као важног еколошког фактора,

- повећању века уређаја у експлоатацији,
- правилном структурирању целине система у коме уређај ради и
- оптимизацији режима рада и управљања.

Узимајући у обзир претходно наведено, кандидат је предложио програм истраживања у наведеној области, који је у складу са савременим научним методама.

Истраживање се заснива на нумеричким и експерименталним методама.

Имајући у виду приказ проблема проучавања, полазне хипотезе и предложене научне методе истраживања, приказани нацрт докторске дисертације садржи све елементе који су потребни, да би се у изради докторске дисертације дао научни допринос, значајан за даљи развој научних истраживања у области експерименталног и нумеричког изучавања клипно аксијалних пумпи водне хидраулике.

Веза са досадашњим истраживањима

У досадашњем научно-истраживачком раду кандидат је проучавао хидродинамичке процесе клипно аксијалних пумпи водне хидраулике. Резултати досадашњег рада кандидата су кроз научне радове презентовани у домаћим и међународним научним часописима, као и зборницима радова са међународних скупова. Континуитет који би кандидат у оквиру израде докторске дисертације остварио односи се на идентификацију и оптимизацију хидродинамичких процеса клипно аксијалних пумпи водне хидраулике. При томе, предстојећа опсежна истраживања кандидата ослањала би се на публиковане радове следећих аутора:

(Rokala Markus, 2012)¹ се у свом раду фокусира на понашање папучице клипа током рада клипно аксијалне пумпе водне хидраулике, са фокусом на контакту папучице клипа и нагибне плоче пумпе. Као истраживачке методе користио је експериментална истраживања, нумеричке методе и симулације. Главни циљ рада је био налажење метода којима се при пројектовању и развоју појединих компоненти клипно аксијалних пумпи водне хидраулике могу добити пумпе са што већим степеном корисног дејства. Рад у основи представља обимно истраживање постојеће пумпе.

(Wang Dong, Zhuangyun Li, Yuquan Zhu, 2006)² приказују истраживања кључних проблема који се јављају код клипно аксијалних пумпи водне хидраулике. Последњих година системи водне хидраулике су постали веома интересантни зато што узимају у обзир безбедност људи и заштиту животне средине. Клипна аксијална пумпа је једна од најчешће коришћених хидрауличких компоненти у овим системима. Кључни проблеми који се јављају код пумпи водне хидраулике су корозивно трошење и ерозија материјала,

¹ Rokala, M. (2012). Analysis of Slipper Structures in Water Hydraulic Axial Piston Pumps. Thesis for the degree of Doctor of Science in Technology, Tampere University of Technology.

² Dong, W., Zhuangyun, L., Yuquan, Z. (2006). Research on the key problems in a water hydraulic piston pump and its experiment, In 4th FPNI-PhD Symp. Sarasota, pp. 171-179.

који су у овом раду укратко истражени. У раду су обрађени нови материјали који обезбеђују дужи животни век пумпе. Посебна пажња је посвећена материјалу полимер етеркетон-ПЕЕК. Овај материјал има изузетно мали коефицијент трења и у контакту са клизним металним површинама пумпе понаша се као да је радни флуид минерално уље а не вода. Приказана је нова клипно аксијална пумпа водне хидраулике која је развијена на Универзитету за науку и технологију у Хуазхонгу и која има боље радне карактеристике. Велики део овог истраживања односи се на нове материјале, њихову структуру и експерименте који су, такође, посебно представљени у овом раду.

(Fang-long Yin, Song-lin Nie, Shu-han Xiao, Wei Hou, 2016)³ у раду приказују нумеричка и експериментална истраживања кавитацијских перформанси клипно аксијалне пумпе која користи морску воду као радну течност. Приказани су утицаји кавитације на рад клипно аксијалне пумпе. Развијен је математички модел како би се приказале радне карактеристике клипно аксијалне пумпе под утицајем кавитације. Симулација је спроведена помоћу тродимензионалног рачунског кода динамике флуида PumpLinx. Развијена је и опрема за тестирање клипно аксијалне пумпе у циљу валидације резултата, добијених симулацијом. У раду је детаљно представљена хидраулична испитна инсталација са свим елементима који је сачињавају. Приказани су упоредни резултати, добијени експерименталним путем и они остварени симулацијом, за излазни притисак и проток пумпе, при промени улазног притиска и броја обртаја погонског вратила пумпе.

(Trostmann Erik, Frølund Bo, Olesen Bo Højris, Hilbrecht Vjarne, 2001)⁴ у својој књизи разматрају предности примене водне хидраулике са аспекта заштите животне средине. Обрађени су релевантни подаци о води, неопходни за проучавање компоненти водне хидраулике. Представљене су упоредне карактеристике воде и минералних уља као радних флуида у хидрауличким компонентама и системима. Обрађене су основне карактеристике флуида које су веома битне за даља истраживања, као што су вискозност, притисак паре, брзина звука, модул еластичности, топлотна проводљивост, густина и површински напон. Приказан је велики број примера практичне примене компоненти и система водне хидраулике. Књига, поред свог значаја при изради докторске дисертације, може користити инжењерима у пракси, за развој и производњу компоненти водне хидраулике, као и за рад и одржавање хидрауличких система водне хидраулике.

(Krutz W. Gary, Patrick S. K. Chua, 2004)⁵ се баве историјским развојем водне хидраулике, од њеног почетка до данашњих дана, стављајући тежиште на савремене технологије. У раду приказују факторе који су утицали на осетни пад примене водне хидраулике у одређеном периоду, као и чиниоце који су допринели поновном развоју ове гране хидраулике. Дате су карактеристике воде и њихов утицај на водне хидрауличке системе. У

³ Fang-long, Y., Song-lin N., Shu-han X., Wei H. (2016). Numerical and experimental study of cavitation performance in sea water hydraulic axial piston pump, *Journal of Systems and Control Engineering*, 230(8), pp. 716-735.

⁴ Trostmann, E., Frølund, B., Olesen, B., H., Hilbrecht, B. (2001). *Tap Water as a Hydraulic Pressure Medium*. Marcel Dekker, Inc, ISBN 0-8247-0505-X.

⁵ Krutz, W., G., Patrick, S., K., C. (2004). *Water Hydraulics-Theory and Applications 2004*, Agricultural Equipment Technology Conference (AETC '04), Louisville, USA, pp. 1-33.

раду су, такође, приказана новија истраживања спроведена у свету у овој области хидраулике и то, како клипно аксијалних пумпи водне хидраулике, тако и истраживања осталих компоненти које сачињавају системе водне хидраулике.

(Finn Conrad, 2005)⁶ у свом раду даје осврт на истраживања и нове трендове у развоју компоненти водне хидраулике. Приказани су примери развоја нових компоненти и система моделирањем и симулацијама. Указано је на предности употребе воде а спектар подручја примене илустрован је примерима. Данашњи напредак у водној хидраулици се посебно огледа у коришћењу електро-хидрауличких пропорционалних вентила и сервовентила примењених за контролу кретања различитих машина и робота. Изузетно својство је да компоненте раде са чистом водом из водоводне мреже без икаквих додатака. Стога хидраулика воде користи чисту воду јер је еколошки прихватљива, нетоксична је, незапаљива, јефтина, лако доступна и једноставно се користи. Приказане су компоненте које сачињавају системе за пречишћавања морске воде у пијаћу воду.

Значајнија истраживања у области водне хидраулике остварена су током последње две деценије. Посебна пажња у проучавањима је посвећена пумпама, пре свега клипно аксијалним. Па ипак, до сада је релативно мали број радова на ову тему публикован.

Претходно наведени радови су несумњиво најзначајнији и најбитнији из ове области и добра су основа за даљи научни рад.

2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке

Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће

Предмет рада докторске дисертације је дефинисање методологије за идентификацију и оптимизацију хидродинамичких процеса клипно аксијалних пумпи водне хидраулике.

У оквиру теме биће обухваћени принципи дејства, радни и конструктивни параметри клипно аксијалне пумпе водне хидраулике са циљем да се изврши оптимизација појединих параметара, како би се дошло до побољшаног модела поменуте пумпе. Такође, предвиђена је и синтеза теоријских и практичних метода истраживања.

Савремене методе пројектовања и конструисања пумпи не могу се више замислити без коришћења одговарајућих математичких модела појава и процеса који се одвијају у конкретним конструкцијама пумпи. Математички модел неког процеса представља његову аналитичку интерпретацију, уз одређене претпоставке. Добијање математичког модела захтева детаљно теоријско истраживање, засновано на познавању закона фундаменталних наука и научних дисциплина, у циљу потпуног сагледавања и тумачења процеса, на основу чега се усвајају претпоставке и дефинишу једначине модела.

⁶ Conrad, F. (2005). Trends in Design of Water Hydraulics - Motion Control and Open-Ended Solutions, In 6th JFPS International Symposium on Fluid Power, Tsukuba, pp. 420-431.

По формулисању математичког модела, неопходна је математичка интерпретација свега што се дешава у целокупном физичком систему, тј. симулација физичког система. При анализи конкретног физичког система, потребно је тачно дефинисати границе система, подсистеме који га чине и њихове међусобне везе, као и процесе који се у њему одигравају. Затим је потребно утврдити претпоставке и одредити математичке моделе свих раније дефинисаних процеса. Добијени систем једначина и њихових међусобних веза представља симулацију тог физичког модела. Основне карактеристике радног процеса клипно аксијалне пумпе јесу изразита комплексност и сложеност хидродинамичких и струјних процеса који се одигравају у радном простору пумпе. Ови процеси су изразито нестационарни, али се периодично понављају са сваком наредним циклусом, при стационарном режиму рада. Анализа ових процеса захтева познавање и коришћење закона механике, механике флуида и математике. Фундаментална истраживања до данас још нису дала разјашњења механизма одвијања ових процеса, посебно када се ради о нестационарним условима. Из тих разлога математички модели нису у потпуности аналитички, већ се, у већој или мањој мери, ослањају на емпиријске корелације и апроксимације.

Процеси усисавања, сабијања и потискивања радне течности у цилиндру, усисном и потисном простору пумпе моделирају се уз примену закона о одржању масе и једначине стања флуида. Проблем аналитичког одређивања масеног протока радне течности кроз вентиле је сложенији и за ту сврху додатно се користе посебни модели који могу бити мање или више сложени (модел квазистационарног једнодимензијског струјања, модели који узимају у обзир таласне појаве у усисном и потисном цевоводу пумпе и др.).

Основни циљеви истраживања у оквиру докторске дисертације су утврђивање основних параметара и развој нових решења, прилаза, поступака, метода и техника за унапређење клипно аксијалних пумпи водне хидраулике. То би био скроман подстицај домаћој индустрији да се усмери на развој производа који су у стању да задовоље потребе глобалног тржишта и за примену најсавременијих метода и поступака развоја. Тиме би се остварила рационализација утрошака енергије и материјала, односно смањење трошкова коришћења и укупних трошкова животног циклуса клипно аксијалних пумпи водне хидраулике у организованим системима коришћења.

Идентификација и оптимизација радних и конструктивних параметара клипно аксијалних пумпи водне хидраулике захтева увођење следећих претпоставки:

- Кинетичка енергија флуида у свим контролним просторима, изузев у излазном цевоводу пумпе, се занемарује.
- Силе поља (гравитационог и сл.) се занемарују.
- Хидродинамички процеси у усисној и потисној комори, као и у цилиндрима пумпе су квазистационарни, тј. параметри стања су функција пређеног угла погонског вратила.
- Струјање у усисном и потисном цевоводу је једнодимензијско и нестационарно.
- Истицање флуида кроз зазоре (процепе између клипа и цилиндра, истицање кроз разводну плочу и потисни вентил) је квазистационарно.

- Коефицијенти протока разводних органа и коефицијенти пригушења кретања вентила могу да се одреде на основу мерења хидродинамичких процеса и математичког моделирања.

Као резултат досадашњих истраживања и проучавања резултата других аутора, у области теоријске и експерименталне анализе клипно аксијалних пумпи водне хидраулике, настале су основне хипотезе предложене дисертације:

- Експериментална инсталација која ће се користити за истраживања у оквиру дисертације, формирана надоградњом већ постојеће инсталације за испитивање хидрауличких компоненти уљне хидраулике, може се са успехом примењивати и за испитивања у области водне хидраулике.
- Једначине које описују динамичке карактеристике клипно аксијалних пумпи уљне хидраулике, могу да се користе за креирање математичког модела клипно аксијалне пумпе водне хидраулике.
- Могуће је користити детерминистички и статистички приступ идентификацији параметара модела и систематских грешака мерења.

Методe истраживања

У докторској дисертацији ће бити примењен већи број савремених научно-истраживачких метода. Услед сложености истраживања а у циљу добијања што прецизнијих резултата, користе се следеће методе:

- Експериментално испитивање

Експериментална испитивања ће се обавити у Развојно истраживачкој лабораторији „ППТ Наменска“ у Трстенику, у сарадњи са Факултетом инжењерских наука из Крагујевца и фирмом Miolma GmbH из Швајцарске. За испитивање ће се користити клипно аксијална пумпа под називом Миолма адаптирана пумпа са динамичким лежајем Danfoss 10.2 (МАП 10.2). Испитивања ће бити изведена коришћењем инсталације, наменски урађене и специјално прилагођене за потребе овог експеримента, на постојећем хидрауличком испитном столу ВАС 2063.

Мериће се следеће величине:

- број обртаја погонског вратила пумпе,
- притисак на излазу из пумпе,
- притисак на улазу у пумпу,
- проток флуида и
- обртни момент погонског вратила пумпе.

За мерење притиска биће коришћени мерни претварачи притиска на бази мерних трака типа РЗМА, производ фирме Hottinger, Немачка, опсега од 100 до 500 bar, класе тачности 0,1 и пропусног опсега 100 kHz. Мерење протока извешће се мерном турбином типа PE2 25/180 l/min, производње Hydrotechnik, Немачка, класе тачности 0,4. Обртни момент и

број обртаја вратила пумпе мериће се коришћењем мерног претварача T30FN, класе тачности 0,2.

За аквизицију и обраду података употребиће се универзални аквизицијски систем QUANTUM MX840B, произвођача HBM Немачка. Прикупљање и анализа измерених података обавиће се коришћењем софтвера MX ASSISTANT.

Мерења радних параметара биће извршена у временском интервалу од 10 min. Овај интервал представља једну секвенцу мерења. Секвенца је подељена на интервале дужине 50 ms. Укупан број измерених података ће износити 12000 за сваки радни параметар. Експериментално испитивање ће се вршити снимањем радних параметара пумпе на пет канала (сваки радни параметар има свој канал), тако да ће за једну секвенцу бити остварено 60000 снимљених података.

- Математичко моделирање и примена софтверских алата

Фундаменталну основу при идентификацији и оптимизацији радних и конструктивних параметара клипно аксијалних пумпи представљаће експериментално истраживање и математичко моделирање нестационарних високодинамичких хидрауличких процеса у цилиндру пумпе, потисном простору, као и у усисном и потисном цевоводу. На основу резултата експерименталних истраживања и резултата математичког моделирања, коришћењем софтвера MATLAB, уз развој и примену метода идентификације непознатих параметара математичког модела, извршиће се довољно тачно одређивање појединих параметара.

- Нумеричке методе

Метода коначних елемената (МКЕ) је данас општа нумеричка метода, примењена у готово свим наукама, а посебно у инжењерским областима. Индустрија развоја софтвера на основама МКЕ и свакодневна примена комерцијалних МКЕ програмских пакета у готово свим гранама индустрије, као и интензивна научна истраживања код МКЕ најбоља су илустрација претходне тврдње. Употреба програмског пакета ПАК, који је развијен и широко примењиван на Факултету инжењерских наука, омогућиће коришћење постојећих материјалних модела за анализу и оптимизацију делова пумпе.

Поред наведене експерименталне опреме и софтвера за МКЕ, користиће се и различити софтверски алати за потребе креирања геометрије и мреже тродимензионалних модела (SolidWorks, Autodesk Inventor, Ansys, FEMAP и др.).

Оквирни садржај докторске дисертације

Планирано је да докторска дисертација буде реализована кроз следећа поглавља:

1. Увод
2. Експериментално испитивање процеса у клипно аксијалној пумпи
3. Математичко моделирање динамике у клипно аксијалној пумпи

4. Примена МКЕ у анализи делова клипно аксијалне пумпе
5. Идентификација и оптимизација радних и конструктивних параметара клипно аксијалне пумпе
6. Закључна разматрања
7. Литература

У уводном поглављу изложиће се значај, циљ и основа савремених метода за пројектовање и развој клипно аксијалних пумпи водне хидраулике. Посебно се истиче значај експерименталног испитивања и математичких моделирања радних процеса пумпи, као и неопходности развоја и примене метода идентификације и оптимизације низа радних и конструктивних параметара. Навешће се основне хипотезе, као и предмет и циљ дисертације.

У другом поглављу описаће се инсталација за експериментално испитивање и извршиће се упоредна анализа резултата мерења и анализа параметара радног процеса клипно аксијалне пумпе.

Поглавље три дефинисаће оригинални математички модел динамике поменуте пумпе, на чијој бази ће бити развијен нумерички модел у MATLAB-у.

У поглављу четири приказаће се примена методе коначних елемената која ће бити коришћена кроз софтверски пакет ПАК за структурну анализу појединих делова клипно аксијалне пумпе.

У петом поглављу приказаће се резултати идентификације и оптимизације параметара клипно аксијалне пумпе водне хидраулике.

У поглављу шест биће изнета закључна разматрања и предочени коначни закључци о различитим аспектима представљене дисертације као и дискусија о правцима будућих истраживања.

Литература која је коришћена и цитирана у изради дисертације навешће се у поглављу седам.

3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема

Водна хидраулика, као посебна и релативно нова грана хидраулике представља, сама по себи, оригиналну тему истраживања. Кандидат је концептом свога рада дефинисао методологију која ће бити примењена у дисертацији. Комплетна методологија истраживања је приказана кроз неколико посебних поглавља која детаљно обрађују, како теоријски, тако и експериментални део а редоследно чине целину са приказаним резултатима.

Експериментални део истраживања је добро осмишљен, а лабораторија са пропратном опремом у којој ће се вршити испитивања гарантује квалитетне и прецизне резултате мерења. Оригиналност рада се огледа у методама избора најутицајнијих радних и конструктивних параметара клипно аксијалне пумпе, њиховој оптимизацији, корекцији за одређене вредности и на крају, симулирању на математичком моделу.

Применом резултата експерименталних истраживања, који ће се добити у оквиру докторске дисертације, на реалан производ какав је клипно аксијална пумпа водне хидраулике, оствариће се значајан допринос увођењу савремених метода истраживања у развој и производњу пумпи.

Комисија закључује да је предложена тема **„Идентификација и оптимизација радних и конструктивних параметара клипно аксијалних пумпи водне хидраулике“**, кандидата Ненада Тодића, са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим детаљном анализом доступних научних радова у научном и стручном смислу, оригинална идеја.

4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације

Кандидат Ненад Тодић ће у својој докторској дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког рада, поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

Кандидат ће детаљно проверити полазне хипотезе, теоријски - анализом обимне литературе и извора, у већини случајева новијег датума, као и експериментално.

У достављеној пријави теме, кандидат се служио одговарајућом терминологијом из области, која је предмет рада. Дефиниција предмета истраживања је усклађена са основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. Кандидат је показао изразиту способност за селекцију и анализу литературних извора.

Будући да су циљеви истраживања проистекли из запажених недостатака и недовољне изражености проблема, добијени резултати представљали би оригиналан допринос истраживачкој области.

5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

а. Лични подаци

Рођен је 16. августа 1978. године у Краљеву, Република Србија, од оца Стала и мајке Данке. Основно образовање завршио је 1993. године у основној школи „Чибуквачки партизани“ у Краљеву. Даље образовање наставио у Електро-саобраћајно техничкој школи „Никола Тесла“ у Краљеву, образовни смер „Електротехничар аутоматике“, где је 1997. године матурирао. Исте године је уписао Машински факултет у Краљеву који је завршио 2003. године са просечном оценом 8,08 и одбранио дипломски рад на смеру конструкције и машине, са оценом 10.

Докторске академске студије на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, научна област Примењена механика, уписао је 2016. године, под руководством проф. др Слободана Савића. Положио је све предмете предвиђене планом и програмом, са просечном оценом 9,17.

б. Научно-истраживачки рад

Као аутор или коаутор објавио је укупно **30** радова у научно-стручним часописима као и на међународним и домаћим научно-стручним скуповима.

• Списак објављених радова

МЗЗ Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. Radovan Petrovic, **Nenad Todic**, Mathematical modeling and experimental verification of operating parameters of vane pump with double effect, International Scientific-Technical Conference Hydraulics and Pneumatics 2007, Wroclaw, 2007, 10th-12th October, pp. 246-254, ISBN 978-83-87982-27-0.
2. Radovan Petrovic, **Nenad Todic**, Modeling and experimental research of characteristic parameters hydrodynamic processes of axial piston pumps with constant pressure and variable flow, The 20th International Conference on Hydraulics and Pneumatics, Prague, 2008, 29th September -1st October, pp. 278-285, ISBN 978-80-02-02074-5.
3. Wang Zheng, Radovan Petrovic, Milomir Gasic, **Nenad Todic**, The influence of fluid compressibility on discharge flow in high pressure vane within vane type pump, 9th International Conference “Research and Development in Mechanical Industry” RaDMI 2009, Vrnjacka Banja, 2009, 16th-19th September, pp. 426-431, ISBN 978-86-6075-007-7.
4. Radovan Petrovic, Jozef Pezdirnik, **Nenad Todic**, Mathematical modeling and simulation of slide contacts vane / profiled stator of vane pump with double effect, 6th International

Congress of Croatian Society of Mechanics ICCSM, Dubrovnik, 2009, 30th September-2nd October, pp. 108, ISBN 978-953-7539-10-8.

5. **Nenad Todic**, Nenad Filipovic, Radovan Petrovic, Modeling of torque with friction effect for water hydraulic axial piston pump/motor, 4th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vrnjacka Banja, 2013, 4th-7th June, pp. 843-849, ISBN 978-86-99973-5-0.
6. Radovan Petrovic, Miroslav Zivkovic, **Nenad Todic**, Investigations of flow rate ripple and pressure pulsation of radial piston pump, 4th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vrnjacka Banja, 2013, 4th-7th June, pp. 243-249, ISBN 978-86-99973-5-0.
7. Radovan Petrovic, Radovan Slavkovic, **Nenad Todic**, Influence of improved stator curve on the characteristic of vane pump, 4th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vrnjacka Banja, 2013, 4th-7th June, pp. 651-657, ISBN 978-86-99973-5-0.
8. Сергей Бочкарев, Радован Петрович, **Ненад Тодич**, Криогенная технология обеспечения природным газом способна конкурировать с традиционной трубопроводной технологией, 4th International Conference Application of new technologies in management ANTiM 2014, Belgrade, 2014, 24th -26th April, pp. 191-200, ISBN 978-86-87333-40-6.
9. Алексей Цаплин, Милан Радосавлевич, Радован Петрович, **Ненад Тодич**, Основные параметры и характеристики установки получения сжиженного природного газа (СПГ), 4th International Conference Application of new technologies in management ANTiM 2014, Belgrade, 2014, 24th -26th April, pp. 255-267, ISBN 978-86-87333-40-6.
10. Радован Петрович, Майа Анджелкович, Сергей Бочкарев, **Ненад Тодич**, Значение и применение криогенной технологии, 4th International Conference Application of new technologies in management ANTiM 2014, Belgrade, 2014, 24th -26th April, pp. 773-781, ISBN 978-86-87333-40-6.
11. Radovan Petrovic, **Nenad Todic**, Jelena Zivkovic, Zoran Glavcic, Mathematical modeling, identification and optimization of parameters of the valve plate of the water hydraulic piston axial pump/motor, VIII International Conference "Heavy Machinery - HM2014", Zlatibor, 2014, 25th-28th June, Session D, pp. 29-34, ISBN 978-86-82631-74-3.
12. Radovan Petrovic, Maja Andjelkovic, Milan Radosavljevic, **Nenad Todic**, Experimental research and optimization of characteristic parameters of the valve plate of the axial piston pump/motor, 55th International Conference of Machine Design Departments (ICMD2014), Beroun, 2014, 9th-12th September, pp. 161-170, ISBN 978-80-01-05542-7.
13. Radovan Petrovic, **Nenad Todic**, Miroslav Zivkovic, Nenad Filipovic, The results of measurements, FFT analysis and statistical parameters of the working process of axial

- piston pumps with combined-sharing working fluid, 9th International Symposium on Fluid Power JFPS, Matuse, 2014, 28th -31st October, pp. 1058-1064, ISBN 4-931070-08-6.
14. Radovan Petrovic, Jozef Nevrlj, Slobodan Savic, **Nenad Todić**, Optimization parameters on the valve plate of axial piston pump and their impact on pressure and pulsation noise in mobile machine, The 23rd International Conference on Hydraulics and Pneumatics, Prague, 2016, 1st - 3rd June, pp. 115-122, ISBN 978-80-248-3915-8.
 15. Radovan Petrovic, Jozef Nevrlj, Slobodan Savic, **Nenad Todić**, Optimization parameters of a piston radial pump and their impact on pressure and pulsation noise in mobile machine, 57th International Conference of Machine Design Departments (ICMD 2016), Železna Ruda, 2016, 7th - 9th September, pp. 373-378, ISBN 978-80-261-0609-8.
 16. **Nenad Todić**, Slobodan Savić, Dušan Gordić, Development and design of water hydraulics components, 2nd International Conference on Quality of Life, Kragujevac, 2017, 8th - 10th June, pp. 175-180, ISBN 978-86-6335-043-4.
 17. Vesna Ranković, Slobodan Savić, **Nenad Todić**, Analysis of layer recurrent network to estimate nondimensional velocity of the dissociated gas, 4th South-East European Conference on Computational Mechanics, Kragujevac, 2017, 03rd - 04th July, pp. 293-300, ISBN 978-86-921243-0-3.
 18. **Nenad Todić**, Snežana Vulović, Miroslav Živković, Slobodan Savić, Vesna Ranković, Analysis of loads and deformation of valve plate in contact with cylinder block at axial piston pump for water hydraulics, 4th South-East European Conference on Computational Mechanics, Kragujevac, 2017, 03rd - 04th July, pp. 35-41, ISBN 978-86-921243-0-3.
 19. **Nenad Todić**, Slobodan Savić, Dušan Gordić, Snežana Vulović, Vanja Šušteršič, Mathematical modeling and experimental verification parameters valve plate of axial piston pumps of water hydraulic, 3rd International Conference on Quality of Life, Kopaonik, 2018, 28th - 30th November, pp. 137-142, ISBN 978-86-6335-056-4.

M52 Рад у истакнутом националном часопису

20. **Nenad Todić**, Radovan Petrović, Pero Ivanović, Experimental verification of operating parameters of vane pump with double effect, Tractors and power machines, ISSN 0354-9496, Vol. 13, No. 1, pp. 43-51, 2008.
21. Radovan Petrović, Pero Ivanović, **Nenad Todić**, Experimental research of characteristic parameters of hydrodynamic processes in a piston axial pump, Tractors and power machines, ISSN 0354-9496, Vol. 13, No. 1, pp. 35-42, 2008.
22. Pero Ivanović, Radovan Petrović, **Nenad Todić**, Experimental research of characteristic parameters of hydrodynamic processes of axial piston pumps with constant pressure and variable flow, Tractors and power machines, ISSN 0354-9496, Vol. 13, No. 1, pp. 52-59, 2008.

23. **Nenad Todic**, Milos Kojic, Radovan Petrovic, Analitičke i numeričke metode analize čvrstoće rezervoara velikih zapremina za skladištenje fluida, IMK-14 ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ, ISSN 0354-6829, No. 32-33, pp. 13-19, 2009.
24. Radovan S. Petrovic, Milos Kojic, **Nenad Todic**, Teorijsko numerički metod proračuna cilindričnih i loptastih rezervoara za skladištenje fluida, IMK-14 ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ, ISSN 0354-6829, No. 32-33, pp. 7-13, 2009.
25. Radovan Petrović, Slobodan Savić, **Nenad Todić**, Optimization of parameters on the valve plate from axial piston pumps and their effect on the pressure pulsation and noise level, Traktori i pogonske mašine, ISSN 0354-9496, Vol. 21, No. 5, pp. 54-62, 2016.
26. **Nenad Todić**, Slobodan Savić, Dušan Gordić, New trends in the development, design and application of water hydraulic axial piston pumps, Traktori i pogonske mašine, ISSN 0354-9496, Vol. 22, No. 1/2, pp. 86-93, 2017.
27. Slobodan Savić, Branko Obrović, Saša Jovanović, Nebojša Hristov, **Nenad Todić**, The influence of the magnetic field and the porosity of the body contour on the ionised gas flow in the planar boundary layer, Traktori i pogonske mašine, ISSN 0354-9496, Vol. 23, No. 1/2, pp. 60-65, 2018.
28. **Nenad Todić**, Snežana Vulović, Radovan Petrović, Ivan Vujović, Slobodan Savić, Sustainable development of agriculture techniques using water hydraulic components, Traktori i pogonske mašine, ISSN 0354-9496, Vol. 23, No. 1/2, pp. 71-77, 2018.
29. **Nenad Todić**, Slobodan Savić, Dušan Gordić, Vanja Šušteršič, Saving energy and sustainable development with water hydraulic components and systems– opportunities, challenges and objectives, Energija, ekonomija, ekologija, ISSN 03540-8651, Vol. 20, No. 1-2, pp. 415-420, 2018.

M53 Рад у националном часопису

30. Radovan S. Petrovic, Jozef Pezdirnik, **Nenad Todic**, Optimization of oil-hydraulic cylinders of large measurements and high output power, VENTIL–Journal for Fluid Power, Automation and Mechatronics, ISSN 1318-7279, Vol. 15, No. 4, pp. 330-337, 2009.

На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Ненад Тодић, дипломирани инжењер машинства, испунио је све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације.

Предложена тема докторске дисертације је оригинална и има научну заснованост. Предложена методологија израде докторске дисертације је у складу са научним принципима. Очекивани резултати докторске дисертације требало би да представљају оригинални научни допринос у идентификацији и оптимизацији радних и конструктивних параметара клипно аксијалних пумпи водне хидраулике.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да наведену предложену тему за докторску дисертацију:


„Идентификација и оптимизација радних и конструктивних параметара клипно аксијалних пумпи водне хидраулике“

прихвати и одобри њену израду кандидату **Ненаду Тодићу**, дипломираном инжењеру машинства.

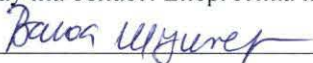
Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Слободан Савић, редовни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу и Нишу,
15. 08. 2019. год.


КОМИСИЈА



1. Др Душан Гордић, редовни професор - председник комисије
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Ужа научна област: Енергетика и процесна техника



2. Др Вања Шуштершич, редовни професор - члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Ужа научна област: Енергетика и процесна техника



3. Др Живојин Стаменковић, ванредни професор - члан
Машински факултет у Нишу, Универзитет у Нишу
Ужа научна област: Теоријска и примењена механика флуида



4. Др Снежана Вуловић, научни сарадник - члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Ужа научна област: Техничко-технолошке науке - информационе технологије



5. Др Слободан Савић, редовни професор - члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Ужа научна област: Примењена механика