

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертација кандидата Милоша Николића, мастер инжењера машинства

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-972/8 од 15.12.2021. године, а на предлог Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву (Одлука бр. 959 од 12.11.2021. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Милоша Николића, мастер инжењера машинства** (у наставку Комисија), под насловом

„Повећање енергетске ефикасности малих хидроелектрана“.

Након прегледа достављене докторске дисертације и извештаја Комисије за оцену подобности кандидата и теме докторске дисертације, одобрене за израду Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-892/8 од 14.11.2018. године и Одлуком наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву број 1249/6 од 23.10.2018. године и Одлуке о продужењу рока за њену израду број 849/8 од 13.10.2021. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

1.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Милоша Николића (у наставку Кандидат) под називом „**Повећање енергетске ефикасности малих хидроелектрана**“ (у наставку Дисертација) је написана на српском језику, ћиричним писмом и садржи: 196 страна, 97 слика, 33 табеле и 149 коришћених литературних извора.

Дисертација садржи следећа поглавља:

- 1 Увод
- 2 Потенцијали за коришћење МХЕ
- 3 Типови и карактеристике таложника
- 4 Повећање производње МХЕ при малим протоцима
- 5 Унапређење функције постојећег таложника

6 Закључак и правци даљих истраживања

Литература

Прилози

Поред претходно наведеног, Дисертација садржи и: резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора и библиографију аутора у научној области дисертације, изјаву аутора о оригиналности докторске дисертације и изјаву аутора о искоришћавању докторске дисертације.

1.2 Кратак приказ појединих поглавља

Кандидат је у Уводу дао кратак критички осврт на савремено стање мале хидроенергетике у Републици Србији уочавајући поједину проблематику и образлажући потребу за спроведеним истраживањем. Кандидат указује на проблеме неефикасне производње електричне енергије при малим протоцима и неефикасног рада таложника при експлоатацији деривационих малих хидроелектрана. Дати су примери две мале хидроелектране (МХЕ) које раде у низу и код којих су установљени предметни недостаци. Наведени објекти представљају и конкретне предмете истраживања, код којих су, у циљу унапређења њихове енергетске ефикасности, применом савремених метода прорачуна и оптимизације побољшана, примењена и проверена техничка решења. Уводно поглавље је конципирано као проширени апстракт Дисертације.

У другом поглављу Кандидат истиче све веће захтеве за коришћењем обновљивих извора енергије и актуелизовану примену МХЕ детаљно приказујући потенцијале мале хидроенергетике по континентима и дајући пресек тренутног коришћења МХЕ у свету и Републици Србији. Посебан осврт је дат при навођењу искоришћеног и преосталог хидропотенцијала малих водотока у појединачним европским државама, док су подаци о процењеним снагама и могућим производњама, као и о већ изграђеним инсталисаним капацитетима МХЕ у Републици Србији, систематизовани по територијалним јединицама.

Треће поглавље је посвећено значају таложника (таложница) у правилном функционисању МХЕ. Прво је дат приказ и принцип рада различитих таложница, а затим је кроз преглед релевантне литературе направљен пресек досадашњих истраживања који се односе на оптимизацију геометрије и унапређење система испирања постојећих конструктивних решења таложника. Наводећи референтне резултате других истраживача, истиче се све већа примена савремене нумеричке механике флуида (CFD анализа) и рачунарских алата за симулацију струјања у таложницама. Указујући на специфичности конструкције постојећих таложница и експлоатационе проблеме на конкретним планинским водотоцима, у трећем поглављу је дефинисан први могући узрок енергетски неефикасног рада МХЕ - неефикасност вишекоморне таложнице. Тиме је направљен основ и задатак Дисертације за унапређење предметне таложнице путем нумеричких и експерименталних истраживања и анализом вишеваријантних техничких решења, који је дат у петом поглављу.

Пре истраживања и разматрања у циљу унапређења таложница, уочен је и разматран други узрок неефикасности две МХЕ које раде у низу (каскадне МХЕ) што је предмет четвртог поглавља. Кандидат указује да строги еколошки захтеви и повећана учестаност дугих сушних дана последњих деценија условљава све дужи период експлоатације МХЕ са малим протоцима – протоци чије су вредности мање од 20% од номиналног протока, што уз неадекватан избор типа, броја и карактеристика хидрауличних турбина има за последицу смањену производњу електричне енергије. Имајући у виду постојеће изграђено стање и инсталисане капацитете предметне две МХЕ, приказан је и примењен математички оптимизациони модел за техно-економску анализу система нелинеарног карактера. Анализом добијених резултата за предложена могућа решења пре свега су издвојени најутицајнији параметри за одлучивање, а затим и предложени закључци који воде повећању ефикасности МХЕ. Поред разматрања увођења додатних турбина у обе електране и њихов независан рад, као и увођење додатних турбина само у низводној МХЕ уз престанак рада узводне електране, изнедрено је оптимално решење са спрегнутим радом обе МХЕ при различитим опсезима протока.

У фокусу петог поглавља је експериментално и нумеричко истраживање карактеристика трокоморне таложнице. Експериментална испитивања су обављена *in situ* на водозахвату МХЕ. Приказана је методологија за мерење брзине воде, одређивање протока у отвореним водотоцима и дефинисана мерна несигурност. Анализом експерименталних резултата потврђена је претпоставка о неравномерности дистрибуције воде кроз коморе трокоморне таложнице што је препознато као узрок пада производње електричне енергије од 8% у предметним МХЕ. Затим је моделиран целокупни тродимензионални (3Д) струјни простор бочног водозахвата обухватајући део струјног домена водотока, решетку, таложницу и део одводног цевовода у коме су вршена нумеричка истраживања. У циљу одређивања поузданости примењене CFD анализе, нумерички резултати су валидирани помоћу експерименталних података. Проучавање струјања у разматраном домену омогућило је препознавање проблема неравномерних протока кроз коморе трокоморне таложнице, али и разматрање вишеваријантних могућности побољшања карактеристике водозахвата. Предложено је и анализирано 25 техничких решења улазног дела водозахвата са аспекта изједначавања протока и пригушења турбулентних струјања (умирења водених струја). У овом поглављу приказан је и алгоритам оптимизације геометрије улазног дела водозахвата користећи садејство CFD анализе 3Д струјног домена и поједностављеног модела једнодимензијског струјања. У циљу успостављања равномерности протока по коморама, анализирана је манипулација постојећим табластим затварачима. У том контексту, пре свега је приказан начин одређивања коефицијената локалних отпора табластог затварача и заједничке улазне и излазне зоне применом нумеричких симулација и регресионе анализе. Дефинисан је и аналитички модела који на ефикасан начин одређује најбољу комбинацију положаја табластих затварача при различитим режимима рада МХЕ.

У шестом поглављу су дата закључна разматрања и могућа примена остварених резултата у инжењерској пракси. Истичући научне доприносе, Кандидат на крају поглавља наводи могуће будуће правце истраживања.

Након списка коришћених литературних извора Дисертација садржи 26 прилога, од којих је у првом дат програмски код оптимизационог модела у програму Матлаб, док су у осталим представљени резултати CFD симулација брзинског поља за 25 предложених техничких унапређења рада трокоморне таложнице.

2. ЗНАЧАЈ И ДОПРИНОС ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ СА СТАНОВИШТА АКТУЕЛНОГ СТАЊА У ОДРЕЂЕНОЈ НАУЧНОЈ ОБЛАСТИ

Након више од једног века техничко-технолошког развоја у области мале хидроенергетике и након вишедеценијске примене малих хидроелектрана није реално очекивати да ће савремена истраживања изнедрити епохалне резултате у домену њихове енергетске ефикасности. Разлози за то су више него очигледни имајући у виду чињеницу да од свих обновљивих извора енергије, мале хидроелектране имају највећи степен енергетског искоришћења. Међутим и поред дугогодишњих инжењерских искустава и великог броја истраживача које се баве МХЕ није могуће сагледати све потенцијалне проблеме и ризике при њиховој експлоатацији. Посебно се истиче чињеница да нити је литературно доступно, нити је уопште могуће публиковати специфичности сваке МХЕ. Стога се у данашње време при анализи могућег повећања енергетске ефикасности малог хидроенергетског објекта пажња посвећује разматрању појединих детаља уз уважавање посебности и ограничења сваке МХЕ.

Имајући у виду такво актуелно стање у мултидисциплинарним областима које проучавају МХЕ, пред Кандидата је стављен изазов да при изради Дисертације понуди новитете у приступу и да својим оригиналним резултатима допринесе уже стручној и научној области. Проучивши обимну литературу која датира још од половине XX века, па до објављених радова из предметне области, а који су новијег датума, Кандидат је, пре решавања задатка свог истраживања, имао увид у досадашње резултате и закључке различитих истраживачких тимова.

Идентификујући узроке смањене енергетске ефикасности за конкретне две МХЕ које раде у низу (каскади), у Дисертацији су дефинисане и примењене добро познате постојеће научне методе, али су поједине и унапређене. Комбинујући математичке алате и методе оптимизације, моделирања и нумеричке механике флуида, развијене су методологије и техно-економски анализирана бројна варијантна решења која ће довести до унапређења енергетске ефикасности постојећих МХЕ. Резултати који су добијени експерименталним испитивањима послужили су за валидацију нумеричких резултата из CFD анализа.

У Дисертацији је развијен метод итеративног изналажења оптималног техничког решења коришћењем CFD анализа и помоћног аналитичког модела. Представљени аналитички модел послужио је као смерница за ефикасније одређивање оптималне геометрије која је реализована применом комплекснијег и дуготрајнијег нумеричког решавања парцијалних диференцијалних једначина механике флуида. Поменута методологија је искоришћена за унапређење рада трокоморне таложнице. Примена нумеричке симулације струјања, регресионе анализе и посредне валидације допринело је одређивању коефицијената локалних отпора што представља један од

важних резултата приказаних у Дисертацији. Такође, спроведене анализе на вишеваријантним техничким решењима довеле су до унапређења брзинског поља у улазном делу бочног водозахвата.

Све претходно наведено указује да ће сврсисходност научних резултата који су добијени приликом израде Дисертације омогућити будућим инжењерима да допунски увиде још једну проблематику при усвајању и пројектовању концептуалног решења бочних водозахвата и последичног неравномерног расподељивања тока на коморе таложнице.

3. ОЦЕНА ДА ЈЕ УРАЂЕНА ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА РЕЗУЛТАТ ОРИГИНАЛНОГ НАУЧНОГ РАДА КАНДИДАТА У ОДГОВАРАЈУЋОЈ НАУЧНОЈ ОБЛАСТИ

Повећање енергетске ефикасности малих хидроенергетских постројења, после више од једног века њихове употребе, представља изазов савремених научног истраживања и инжењерске домишљатости. Имајући у виду чињенице да је:

- ▶ Кандидат применом савремених нумеричких и експерименталних метода након вишегодишњег научноистраживачког рада, приказао оригиналне резултате који су примењиви за техничко-технолошко унапређење експлоатације МХЕ,
- ▶ Дисертација позитивно оцењена у Оцени ментора о извештају о провери оригиналности докторске дисертације од 23.11.2021. године,
- ▶ публикавањем научних резултата из Дисертације у врхунским и истакнутим међународним часописима (два рада у часописима категорије М21 и један рад у категорији М22) и научним међународним и националним скуповима (3 рада у категорији М33 и 1 рад у категорији М61) шира научна заједнице упозната са добијеним резултатима и верификовала њихову оригиналност,

може се закључити да докторска дисертација „Повећање енергетске ефикасности малих хидроелектрана“ кандидата Милоша Николића маг. инж. маш. представља савремен и оригиналан допринос у области енергетске ефикасности малих хидроелектрана.

4. ПРЕГЛЕД ОСТВАРЕНИХ РЕЗУЛТАТА РАДА КАНДИДАТА У ОДРЕЂЕНОЈ НАУЧНОЈ ОБЛАСТИ

Кандидат је до сада као аутор и коаутор публиковао резултате у следећих 7 (седам) радова из области хидроенергетике (мале хидроелектране) и из Дисертације:

- ▶ 2 (два) рада у врхунским међународним часописима [М21]:
 1. Владан Карамарковић, **Милош Николић**, Раде Карамарковић, Миодраг Карамарковић, Миљан Марашевић, “Techno-economic optimization for two SHPPs that form a combined system”, Renewable Energy (2018), Vol. 122: 265-274, DOI: [10.1016/j.renene.2018.01.081](https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.081), ISSN: 0960-1481, IF (2018): 5.439.
 2. **Милош Николић**, Раде Карамарковић, Миодраг Карамарковић, Владан Карамарковић, “Retrofit of a settling basin of a small hydropower plant”,

Engineering Structures (2021), Vol. 236: 112118, DOI: [10.1016/j.engstruct.2021.112118](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112118), ISSN: 0141-0296, IF (2020): 4.471.

- ▶ 1 (један) рад у истакнутом међународном часопису [M22]:
 1. **Милош Николић**, Раде Карамарковић, “Flow control in a multichamber settling basin by sluice gates driven by a CFD and an ancillary analytical model”, Journal of Hydroinformatics (2021), Vol. 23.4: 689-708, DOI: [10.2166/hydro.2021.006](https://doi.org/10.2166/hydro.2021.006), ISSN: 1464-7141, IF (2020): 2.376.
- ▶ 3 (три) саопштења са међународних скупова штампаних у целини [M33]:
 1. Владан Карамарковић, **Милош Николић**, Раде Карамарковић, Ненад Стојић, “Optimization of the pipeline diameter for a small hydropower plant: case study”, XXXII international conference Energetika, Савез енергетичара, vol. 4, no. 3, pp. 152 - 158, ISSN: 0354-8651, udc: 621.22.004, Златибор, Србија, 22. - 25. Mar, 2016.
 2. Владан Карамарковић, Раде Карамарковић, **Милош Николић**, Ненад Стојић, “Improving power production of a small hydropower plant”, International Conference POWER PLANTS 2016, Друштво термичара Србије, vol. 1, no. 1, pp. 337 - 345, issn: ISBN 978-86-7877-027-2, Златибор, Србија, 23. - 26. Nov, 2016.
 3. **Милош Николић**, Владан Карамарковић, Раде Карамарковић, Миљан Марашевић, “Design improvement of a side water intake on a small hydropower plant”, IX Triennial international conference "Heavy Machinery-НМ 2017", Faculty of Mechanical and Civil Engineering, Kraljevo, pp. F.51 - F.56, ISBN: 978-86-82631-89-7, Златибор, Србија, 28. Jun - 1. Jul, 2017.
- ▶ 1 (једно) предавање по позиву са скупа националног значаја штампано у целини [M61]:
 1. Владан Карамарковић, Раде Карамарковић, **Милош Николић**, Ненад Стојић, “Утицај малих хидроелектрана на одрживи развој Републике Србије”, Утицај малих хидроелектрана на животну средину, САНУ – Одељење хемијских и биолошких наука 2020., pp. 43-66, ISBN 978-86-7025-854-9.

5. ОЦЕНА О ИСПУЊЕНОСТИ ОБИМА И КВАЛИТЕТА У ОДНОСУ НА ПРИЈАВЉЕНУ ТЕМУ

По обиму дисертација одговара оквирном садржају датом у Извештају комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације и испуњености услова кандидата Милоша Николића, маг. инж. маш. усвојеним Одлуком ННВ Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву бр. 1249/6 од 23.10.2018. год. и потврђеним Одлуком већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу бр. IV-04-892/8 од 14.11.2018. год. Апсолутна подударност се примећује упоређивањем стварног и оквирног садржаја. Проблеми дефинисани у Пријави докторске дисертације решени су и детаљно обрађени у Дисертацији. Са аспекта квалитета, проблем унапређења функционисања вишекоморног таложника је уместо једном, решаван двома оригиналним методама потврђеним од стране релевантне научне заједнице публиковањем у међународним часописима.

6. НАУЧНИ РЕЗУЛТАТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

У докторској дисертацији под називом „Повећање енергетске ефикасности малих хидроелектрана“ кандидата Милоша Николића остварен је оригиналан допринос у области мале хидроенергетике.

По оцени Комисије најважнији научни резултати и доприноси ове дисертације су:

- идентификација узрока смањене енергетске ефикасности МХЕ са аспекта рада и карактеристика хидрауличних турбина у области малих протока и рада водозавата услед неефикасног издвајања седимената вишекоморних таложница,
- развој методологије за оптимизацију геометрије струјног простора комбинованом применом савремених CFD анализа и аналитичког модела у циљу унапређења техничког решења улазног дела водозавата,
- развој методологије одређивања локалних отпора сложених геометријских облика са вишедимензионалном струјном сликом коришћењем нумеричке механике флуида, регресионе анализе и посредне валидације,
- поступак за истовремено изједначавање и умирење протока у улазној зони вишекоморних таложника.

Поред наведених истичу се још и следећи доприноси:

- развој математичког оптимизационог модела за техно-економску анализу вишекритеријумског нелинеарног проблема одређивања оптималног концепта две повезане МХЕ разматрајући могућа рационална техничка решења и уважавајући постојеће стање изграђености и ограничења МХЕ,
- анализе карактеристика великог броја предложених варијантних техничких решења за побољшање струјне слике на улазу у вишекоморну таложницу бочног водозавата,
- дефинисање зависности коефицијента локалног отпора правоугаоног табластог затварача од његовог положаја (отвора) на отвореним водотоцима.

Развој претходно наведених методологија је праћен развојем одговарајућих софтверских пакета.

У наставку овог извештаја је наведена практична примењивост научних резултата и техничких решења на конкретним МХЕ.

7. ПРИМЕЊИВОСТ РЕЗУЛТАТА У ТЕОРИЈИ И ПРАКСИ

Пошто су у оквиру Дисертације истраживања заснована на конкретним примерима из праксе (*case studies*) за МХЕ „Белци“ и МХЕ „Кашићи“ на реци Јошаници у Републици Србији, примењивост научних резултата у циљу унапређења енергетске ефикасности предметних МХЕ најбоље илуструје већ урађена имплементација предложених техничких решења.

На основу анализа резултата и закључака датих у четвртном поглављу Дисертације, техничко решење које је проистекло из оптимизационог модела, примењено је на наведеним каскадним МХЕ. Техничко решење, обрађено у

потпоглављу 5.4.2 Дисертације, примењено је на заједничком водозахвату поменутих МХЕ за изједначавање протока у вишекоморној таложници коришћењем табластих затварача.

Приказана метода итеративног изналажења оптималног техничког решења коришћењем комбинације нумеричке механике флуида и помоћног аналитичког модела, штеди рачунарске и временске ресурсе и применљива је у свим случајевима у којима се уз помоћ CFD анализа оптимизује геометрија. Такође, одређивања локалних отпора сложених геометријских облика удруженим коришћењем CFD анализа, регресионе анализе уз експерименталну верификацију резултата применљива је за одређивање коефицијената различитих локалних отпора.

Применљивост развијених и приказаних метода могућа је како за сличне МХЕ, тако и за друга водопривредна и процесна постројења.

8. НАЧИН ПРЕЗЕНТОВАЊА РЕЗУЛТАТА НАУЧНОЈ ЈАВНОСТИ

Део научних резултата који су проистекли при изради ове Дисертације представљен је адекватно научно стручној јавности публикавањем у врхунским и истакнутим међународним часописима (три рада) и међународним и националним научним скуповима (четири рада).

Узимајући у обзир обимност разматраних техничких решења и закључке спроведених истраживања, Комисија сматра да необјављени резултати из Дисертације представљају драгоцен материјал за:

- пријаву техничких решења надлежним матичним одборима при Министарству просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије,
- наставак публикавања у часописима и саопштења на научним и стручним конференцијама,
- презентовање резултата стручним удружењима, инжењерским академијама и коморама, пројектантским бироима, консултантским фирмама и специјализованим компанијама из области хидрограђевинарства и хидромашинске индустрије, као и досадашњим и будућим инвеститорима МХЕ.

9. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације под називом „Повећање енергетске ефикасности малих хидроелектрана“ кандидата Милоша В. Николића, маг. инж. маш., Комисија за преглед, оцену и одбрану констатује:

- да урађена докторска дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области техничких наука,
- до по обиму и квалитету у потпуности одговара одобреној теми дисертације, Одлуком бр. 1249/6 од 23.10.2018. године од стране Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву и потврђену Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу бр. IV-04-892/8 од 14.11.2018. године,
- да је написана јасно, детаљно, користећи уобичајену стручну терминологију у складу са свим стандардима за научно-истраживачке радове и

- да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Крагујевцу и Статутом Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву

С обзиром на обрађену проблематику и остварене резултате, а оцењујући писани део докторске дисертације, чланови Комисије сматрају да кандидат Милош Николић, мастер инжењер машинства влада методологијом научноистраживачког рада, и да је поред примене обимних литературних извора показао темељитост, систематичност, мултидисциплинарност и креативност. У прилог томе је и чињеница да су научни резултати верификовани у широј међународној научној заједници и да су конкретна техничка решења већ примењена у циљу повећања енергетске ефикасности малих хидроелектрана.

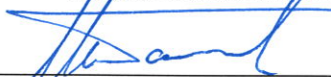
Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације предлаже Наставно-научном већу Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу да прихвати овај Извештај и упути га Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу на усвајање, а дисертацију

„Повећање енергетске ефикасности малих хидроелектрана“

кандидата **Милоша В. Николића**, маг. инж. маш. стави на увид јавности и да након тога Кандидата позове на јавну усмену одбрану Дисертације.

Београд и Крагујевац, 3.2.2022.год

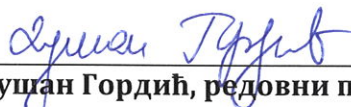
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:



др Иван Божић, ванредни професор – председник

Универзитет у Београду - Машински факултет

Ужа научна област: Хидрауличне машине и енергетски системи



др Душан Гордић, редовни професор - члан

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Ужа научна област: Енергетика и процесна техника



др Александар Јововић, редовни професор - члан

Универзитет у Београду - Машински факултет

Ужа научна област: Процесна техника