



**КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ  
ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ**

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 08.06.2021. године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Давида Ристовића под насловом „Примена лабораторијског симулатора оптерећења у анализи електромоторног погона центрифугалне пумпе у различитим режимима рада“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

**ИЗВЕШТАЈ**

**1. Биографски подаци кандидата**

Давид Ристовић је рођен 21.08.1996. године у Лазаревцу. Завршио је основну школу "Кнез Лазар" у Лазаревцу. Уписао је Техничку школу "Колубара" у Лазаревцу, коју је завршио са одличним успехом. Електротехнички факултет је уписао 2015. године. Дипломирао је на одсеку за Енергетику 2019. године са просечном оценом 8,9. Дипломски рад је одбранио у септембру 2019. године са оценом 10. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за енергетску ефикасност уписао је у октобру 2019. године.

**2. Опис мастер рада са извештајем о урађеном студијском истраживачком раду**

Кандидат Давид Ристовић (2019/3135) је као припрему за израду мастер рада „Примена лабораторијског симулатора оптерећења у анализи електромоторног погона центрифугалне пумпе у различитим режимима рада“ урадио истраживање релевантне литературе која се односи на област којој припада пријављена тема мастер рада. Конкретно, анализирано је актуелно стање у области регулисаних електромоторних погона пумпе и примена пумпе у турбинском режиму рада са аспекта повећања енергетске ефикасности. Такође је анализирана примена HIL (енгл. engl. Hardware-In-the-Loop) симулација за тестирање алгоритама управљања погоном, која се користи у случају непосредовања експерименталне поставке за ту намену, или пре стварне имплементације погона у процес. У оквиру истраживања коришћено је следећих 9 референци:

[1] I. Mihailović, S. Mirić, M. Bebić, B. Jeftenić, "Drive in the Loop Simulation of Electrical Drives" 17<sup>th</sup> INTERNATIONAL SYMPOSIUM on POWER ELECTRONICS - Ee 2013

[2] M. Nikolić, D. Mršević, L. Ristić, Đ. Čantrak, N. Janković, "Induction machine driven pump applied as turbine in micro-hydro power plants", 6th International Symposium on Environment-Friendly Energies and Applications (EFEA), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/EFEA49713.2021.9406236.

[3] S. Lentijo, et al., "Comparing the Dynamic Performances of Power Hardware-in-the-Loop Interfaces" Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 57, pp. 1195-1207, 2010.

[4] I. Mihailović, S. Mirić, L. Ristić, M. Bebić, B. Jeftenić, "Ispitivanje elektromotornih pogona pomoću laboratorijskog simulatora opterećenja", laboratorijska vežba, <http://www.pogoni.etf.bg.ac.rs/index1.htm>

[5] <https://empoweringpumps.com/centrifugal-pumps/>

[6] M. D. Mijajlović, "Образовна инсталација за испитивање комплетних карактеристика центрифугалне in-line пумпе", master rad na modulu za hidroenergetiku, Katedra za hidraulične mašine i energetske sisteme, mašinski fakultet u Beogradu, januar 2020.god.

[7] Ž. Stamenković, J. Bogdanović-Jovanović, D. Svrkota, J. Petrović, M. Kocić, "Predikcija karakteristika centrifugalnih normiranih pumpi u režimima rada turbina", VII Regional Conference: "Industrial Energy and Environmental Protection in South Eastern Europe", June 2019, Zlatibor, Serbia.

[8] <https://www.ksb.com/centrifugal-pump-lexicon/turbine-mode/328156/>

[9] Ž. Stamenković, M. Kocić, J. Bogdanović-Jovanović, "ENERGY EFFICIENCY - PUMPS AS TURBINES IN WATER DISTRIBUTION SYSTEMS", VI Regional Conference: "Industrial Energy and Environmental Protection in South Eastern Europe" June 21 – 24, 2017, Zlatibor, Serbia.

Проучавањем референце [1] може се стећи увид у значај примене НИЛ симулација за тестирање алгоритама управљања погоном, размотрити теоријска основа за њихов развој, као и начин за њихову реализацију у зависности од конкретне намена погона. Анализа литературе [2] има за циљ упознавање са конкретном применом регулисаног погона, док литература [3, 4] треба да омогући детаљно упућивање у реализацију лабораторијског симулатора оптерећења, којим треба да се обезбеди анализа електромоторног погона центрифугалне пумпе у различитим режимима рада. Литература [5, 6] намењена је упознавању са центрифугалним пумпама, њиховим карактеристикама, моделовањем и начинима за њихово испитивање у различитим режимима рада, док је литература [7-9] намењена упознавању са турбинама, њиховим карактеристикама, моделовањем и режимима рада. Такође, литература [9] треба да омогући разумевање функционисања пумпе у турбинском режиму рада, као и синтезу одговарајућег модела, чијом ће се имплементацијом у управљачки део погона симулирати радна машина, која у посматраном регулисаном погону са асинхроним мотором може да буде центрифугална пумпа или турбина. Потребно је омогућити рад овог погона у различитим радним тачкама и у истим испитати његове перформансе.

На основу претходно описаног студијског истраживачког рада кандидат је урадио мастер рад који обухвата 48 страна са укупно 45 слика, 6 табела и са горе наведених 9 референци. Рад садржи увод, закључак, 4 поглавља, списак коришћене литературе и један прилог са објашњењем управљачког кода. После увода у тему мастер рада, у првом поглављу су представљене НИЛ симулације: дато је њихово објашњење, подела, као и могућности које се остварују њиховом применом. У другом поглављу је дата теоријска поставка и разрада алгорита за симулацију пумпе у два режима рада, пумпном и турбинском. У трећем поглављу је тестиран алгоритам који је развијен у циљу управљања пумпом у турбинском режиму рада, помоћу симулације у *MatLab*-у, као провера пре саме имплементације у склопу лабораторијског симулатора оптерећења. Четврто поглавље се односи на реализовану експерименталну поставку, као и на резултате добијене коришћењем описаног лабораторијског симулатора оптерећења. На основу приказаних резултата, изведени су закључци на крају рада.

### 3. Анализа рада са кључним резултатима

Чињеница да пумпна постројења учествују са 22% у укупној потрошњи електричне енергије у свету чини анализу рада електромоторних погона пумпи веома битном темом данашњице. За регулацију протока или притиска у хидрауличким системима се уместо регулационих вентила све чешће користи енергетски ефикаснији регулисани погон са пумпом. Због све веће потребе за обновљивим изворима енергије, макар такви извори били и малих снага, све је популарнија идеја о коришћењу пумпи у турбинском режиму рада како би се у неким системима искористио вишак хидрауличке енергије конверзијом у електричну. Дакле, у том случају пумпа ради у турбинском режиму (енгл. Pump as Turbine, скраћено PaT), а асинхрона машина у генераторском режиму. Генерисана електрична енергија се може слати у дистрибутивну мрежу или искористити за напајање локалних потрошача. Предност употребе пумпи у турбинским режимима уместо турбина које су пројектоване за такве режиме, јесте нижа цена и већа доступност.

Поред детаљне теоријске анализе, одговарајућа пажња у мастер раду је посвећена развоју алгоритма за симулацију погона са центрифугалном пумпом, која може радити у пумпном и турбинском режиму рада. Приказан је детаљан *MatLab* SIMULINK модел описаног система, на основу кога је развијен комплетан симулатор оптерећења са коришћеном опремом у лабораторији. На основу снимљених карактеристика погона са имплементираним симулатором оптерећења изведени су одговарајући закључци. Успешна реализација алгоритма за симулацију на експерименталној поставци у лабораторији, која верно представља реалне услове рада и помоћу које се могу испитивати различити начини управљања електромоторним погонима у пумпним системима, представља главни резултат овог мастер рада.

#### 4. Закључак и предлог

Кандидат Давид Ристовић је у свом мастер раду на основу детаљно приказане теоријске анализе, развио и реализовао НИЛ симулатор на експерименталној поставци у лабораторији, чија је намена тестирање алгоритама управљања погоном у пумпном и турбинском режиму рада.

Кандидат Давид Ристовић је исказао високи степен самосталности, систематичности и креативности у решавању проблематике изложене у свом раду, као и аналитичност и инжењерску зрелост. На основу горе наведеног, Комисија за преглед и оцену мастер рада Давида Ристовића предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да прихвати рад „Примена лабораторијског симулатора оптерећења у анализи електромоторног погона центрифугалне пумпе у различитим режимима рада“ дипл. инж. Давида Ристовића као мастер рад и одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 20.08.2021. год.

Чланови комисије:



др Лепосава Ристић, доцент  
Електротехничког факултета у Београду



др Милан Бебић, ванредни професор  
Електротехничког факултета у Београду



др Борђе Чантрак, ванредни професор  
Машинског факултета у Београду