

Наставно-научном већу Факултета

Предмет: Извештај-Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Здравка П. Гиљена**,
мастер инжењера машинства, студента докторских студија

Одлуком бр.570/2 од 4.4.2024.год. Наставно-научног већа Факултета, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Здравка П. Гиљена, маг.инж.маш, под називом „Математички модел универзалне четвороквадрантне радне криве хидрауличних машина зависан од специфичне брзине обртања и примењен у прорачунима прелазних режима” и подношење овог Извештаја-Реферата.

После прегледа достављене дисертације и пратећих прилога и докумената, као и кореспонденције са кандидатом, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ - РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Здравко П. Гиљен уписао је на Факултету прву годину докторских студија школске 2012/2013. године, и положио је све предмете прописане планом и програмом студија (детаљно приказане у делу овог извештаја са биографским подацима кандидата), чиме је стекао услов за пријаву докторске дисертације.

Кандидат је 3.12.2021. год. поднео захтев Наставно-научном већу Факултета (и Већу докторских студија) за пријаву теме докторске дисертације и одређивање ментора. На основу мишљења Већа наставника Катедре за хидрауличне машине и енергетске системе, за ментора је предложен проф. др Милош Недељковић (тада у радном статусу), и формирана Комисија у саставу: проф. др Милош Недељковић, проф. др Ђорђе Чантрак и в. проф. др Ненад Јаћимовић (Грађевински факултет), коју је потврдило Наставно-научно веће Факултета. Комисија је утврдила подобност теме и кандидата, и потврдила утврђен наслов дисертације: „Математички модел универзалне четвороквадрантне радне криве хидрауличних машина зависан од специфичне брзине обртања и примењен у прорачунима прелазних режима”. Наставно-научно веће Факултета прихватило је предлог на седници бр.12/2122 одржаној 1.9.2022.год. и своју одлуку проследило Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, које је на својој седници 12.9.2022. дало сагласност за ментора и тему.

1.2. Научна област дисертације

Предметна докторска дисертација припада научној области техничких наука, и то машинства, у оквиру које се посебно истражује подобласт хидроенергетике и примењене механике флуида, при чему је нагласак на хидрауличним машинама које се примењују у енергетици. Анализира се понашање пумпних турбина у енергетским системима и даје закључак са научним и стручним доприносом у том најужем пољу истраживања.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Здравко (Павић) Гиљен, маг.инж.маш. рођен је 15. септембра 1974. године у Никшићу, Република Црна Гора. Након завршене основне школе уписао је Средњу машинску школу у Никшићу, коју је завршио као ученик генерације, са дипломским радом „Прорачун пресе за пробијање и сечење”.

На Машинском факултету у Подгорици Универзитета Црне Горе 2002. године завршио је Основне студије у трајању од пет година (10 семестара) на одсеку Примењена механика и дизајн. Дипломски рад под називом „Прорачун конструкције дизалице за транспорт јахти” одбранио је код проф.др Зорана Ђулафића са оценом 9 (девет). Двогодишње мастер студије уписао је 2009. године на Машинском факултету у Подгорици Универзитета Црне Горе на Одсеку за енергетику и завршио их 2011. године са оценом 10 (десет). Магистарски рад под називом „Моделирање хидромеханичких прелазних режима ХЕ Пива” одбранио је са оценом 10 (десет).

Докторске академске студије уписао је октобра 2012. године на Универзитету у Београду - Машинском факултету, на Катедри за хидрауличне машине и енергетске системе, индекс број Д-10/10. Положио је све испите на докторским студијама, и то: • сем.1, ЕСПБ 5 - Виши курс математике (проф. др Слободан Радојевић), обавезни,

оцена 10, • сем.1, ЕСПБ 5 - Нумеричке методе (проф. др Миодраг Спалевић), обавезни, оцена 10, • сем.1, ЕПСБ 5 - ОМНИРиК (проф. др Милош Недељковић), обавезни, оцена 10, • сем.1, ЕПСБ 10 – Истраживање и публикавање 1 (проф. др Милош Недељковић). обав./изб., оцена 10, • сем.2, ЕСПБ 5 - Одабрана поглавља из механике флуида (проф. др Светислав Чантрак, обавезни, оцена 9, • сем.2, ЕСПБ 5 - Феномени струјања у турбомашинама – пројектовање решетки и лопатица радних кола (проф. др Милош Недељковић), изборни, оцена 9, • сем.2, ЕСПБ 5 - Струјно-техничка мерења (в.проф. Дејан Илић), изборни, оцена 10, • сем.2, ЕПСБ 15 – Истраживање и публикавање 2 (проф. др Милош Недељковић), обав./изб., оцена 10, • сем.3, ЕПСБ 5 – Нумеричка механика вишефазних струјања (проф. др Владимир Стевановић), изборни, оцена 10, • сем.3, ЕСПБ 5 - Моделска и прототипска испитивања хидрауличних машина (проф. др Мирослав Бенишек), • сем.3, ЕСПБ 5 - Феномени струјања у турбомашинама – нумеричка механика флуида (проф. др Милош Недељковић), изборни, оцена 9, • сем.3, ЕПСБ 20 – Истраживање и публикавање 3 (проф. др Милош Недељковић), обав./изб., оцена 10, • сем.4, ЕПСБ 8 – Истраживање и публикавање 4 (проф. др Милош Недељковић), обав./изб., оцена 10, • сем.4, ЕПСБ 22 – Пројекат идеје докторске дисертације (проф. др Милош Недељковић, проф. др Мирослав Бенишек, проф. др Александар Гајић и други чланови Катедре), обав./изб., оцена 10.

Кандидат Здравко Гиљен је на докторским студијама положио 4 (четири) обавезна и 5 (пет) изборних предмета (сваки вредан по 5 ЕСПБ) чиме је остварио укупно 45 ЕСПБ, кроз Истраживања и публикавања 1-4 остварио је још 53 ЕСПБ, а такође је успешно написао Пројекат идеје докторске дисертације, и одбранио га пред Комисијом Катедре и тиме стекао још 22 ЕСПБ. Дакле, у складу са Правилником о докторским студијама Факултета, кандидат је остварио укупно 120 ЕСПБ, чиме је испунио основни услов да пријави докторску дисертацију.

Стечено научно-истраживачко искуство

Запослен у Електропривреди Црне Горе од 2004. до 2019. године. У периоду јул 2004 – март 2010. радио је на реконструкцији и модернизацији ХЕ Пива, где постоје три Франсис генератора снаге 3x117 MW. У 2009. години учествовао је и радио на комплексним испитивањима и мерењима која су вршена на комплетној машинској, хидромеханичкој и електромеханичкој опреми ХЕ Пива свих агрегата у трајању од 3 месеца. Такође, радио је на пројектовању и ревизији следећих пројеката за ХЕ Пива: Inspection report – Rehabilitation of Hydro Power Plant Piva; Final report Piva HPP Turbine Site Testing Unit 1; Final test reports of the equipment Hydro Power Plant Piva Unit 1; Final test reports of the equipment Hydro Power Plant Piva Unit 2, Unit 3; Consultant's report on testing of mechanical, hydromechanical and electrical equipment Piva HPP; Final report on the preparatory phase Piva HPP; Final Study on Possible Operation of Machines Hydro Power Plant Piva; Final Study of Possible Capacity Increasing Hydro Power Plant Piva; Final Study on Remaining Life of Equipment Hydro Power Plant Piva; Preliminary Design and Feasibility Study, Rehabilitation and Modernization of HPP Piva; Procurement of Selected Equipment – Turbine Governor HPP Piva; Tender Documents for Electromechanical Equipment.

У периоду од марта 2010. до јуна 2014. године радио је на реконструкцији ХЕ Пива и ХЕ Перућица. У ХЕ Перућица уграђено је седам Пелтонових турбина, првих пет агрегата су 5x40MW, шести и седми агрегати су по 60MW. У 2010. години учествовао је и радио на комплексним мерењима и испитивањима система отворених доводних канала, комплетне механичке, хидромеханичке и електромеханичке опреме у трајању од два месеца. У априлу 2012. учествовао је у мерењу степена ефикасности Пелтон турбинског агрегата А3 ХЕ Перућица, мерења су обављена у складу са стандардом ИЕС-60041. Такође у јулу 2012. године учествовао је у мерењу степена ефикасности агрегата. Пелтонова турбина А3 ХЕ Перућица, мерења су извршена термодинамичком методом. Такође је радио на пројектовању и ревизији следећих пројеката за ХЕ Перућица: Final Report on In-Site Measuring Campaign (pressurized system – Units 1-7) at Hydro Power Plant Perucica; Final Report on In-Situ Measuring Campaign (open channel system) at Hydro Power Plant Perucica; Study on non – steady flow phenomena in the upstream system, Hydro Plant Perucica; Study on the capacity of the tailrace system, Hydro Power Plant Perucica; Study on the phenomena observed during the operation, Hydro Power Plant Perucica; Studies on Removal and Disposal of Floating Debris Hydro Power Plant – Perucica; Appraisal of environmental and socio-economic impacts and risks Hydro Power Plant Perucica; Draft Final Report on the Study of Phase II Measures and Works Hydro Power Plant Perucica; Report efficiency test Pelton turbine performed according to standard IEC 60041 - Hydro Power Plant Perucica Unit 3; Report efficiency test Pelton turbine performed by thermodynamic method at Hydro Power Plant Perucica Unit 3 and Unit 5.

У периоду јул 2004. - јун 2014. године анализирана је комплетна документација ХЕ Пива и ХЕ Перућица, која је настала током изградње и пуштања у рад хидроелектране Пива и Перућица, као и комплетна документација која је настала током рада хидроелектране до данас. На основу свега наведеног, стекао је завидна знања и искуства из области хидроелектрана, прелазних процеса, кавитације, вибрација и других хидрауличких појава које се јављају у хидротурбинама, цевоводима, водостајима, одводних тунелима, деривационим каналима, која је приказана у магистарском раду где је моделирао. хидромеханичке прелазне процесе на Франсис турбини ХЕ Пива.

У периоду јун 2014. - април 2019. године ради на новим пројектима: ХЕ Рисан (инсталисана снага 292 MW, 2 агрегата Франсис по 146 MW); ХЕ Комарница (инсталисана снага 96 MW, 2 агрегата Франсис по 48 MW); МХЕ Отиловићи (инсталисана снага 3 MW, 2 агрегата Франсис по 1,5 MW). Радио на пројектовању и ревизији следећих пројеката: Генерални пројекат Хидроелектране Рисан; Пројектни задатак за израду Студије изводљивости са идејним пројектом изградње хидроелектрана Комарница; Консултације за тендерску документацију за МХЕ Отиловићи.

У периоду април 2019. - август 2020. године, ради у иностранству на монтажи нове опреме у ХЕ-Карума 612 MW – Уганда, Африка (шест Франсис агрегата по 102 MW). На овом пројекту ради у Консултантској кући – AF Consultant, Баден, Швајцарска, (уз Енергопројект–Београд, Србија), на позицији главног машинског инжењера за контролу и надзор уградње турбинске и генераторске опреме ХЕ–Карума. Ради на одговорним и сложеним пословима монтаже, испитивања и мерења на комплетној механичкој, хидромеханичкој и електромеханичкој опреми ХЕ-Карума (Франсисове турбине, генератори, улазни вентили, доводни цевоводи, предтурбински вентили, сифонски вентили, и друга опрема) агрегата А1, А2, А3, А4, А5, А6 – на 16 месеци.

У периоду август 2020. - мај 2021. године ради у иностранству на замени старе и уградњи нове опреме у ХЕ-Нурек 3000 MW – Таџикистан, Централна Азија (9 Франсис агрегата – 8 по 335 MW, и 1 од 320 MW). На овом пројекту ради за консултантску компанију Stuke Consultants – Рененс (Лозана), Швајцарска, на позицији главног машинског инжењера за контролу и надзор демонтаже старе електро-машинске опреме и уградње нове електро и машинске опреме. опрема турбина и генератора ХЕ–Нурек и сложени радови монтаже, испитивања и мерења на комплетној механичкој, хидромеханичкој и електромеханичкој опреми ХЕ-Нурек агрегата А1-А9 – на 10 месеци.

У периоду мај 2021. - мај 2024. године ради у иностранству на монтажи нове опреме у ХЕ-ГЕРД 5200 MW – Етиопија, Африка (тринаест Франсис агрегата по 400 MW). На овом пројекту ради у Консултантској кући - ELC-ElectroConsultants SpA, Милано, Италија, на позицији главног електро-машинског инжењера за контролу и надзор монтаже турбинске и генераторске опреме за ХЕ-ГЕРД. Ради на одговорним и сложеним пословима монтаже, испитивања и мерења на комплетној механичкој, хидромеханичкој и електромеханичкој опреми ХЕ–ГЕРД постројења (Франсисове турбине, генератори, улазни плочасти затварачи за брзо затварање имају улогу предтурбинских затварача, снабдевање цевоводе, сифонске плоче и другу опрему) агрегати А1-А13 – на 36 месеци.

У Државној кључној лабораторији за науку о водним ресурсима и хидроенергетици – Универзитету Вухан, Кина – боравио је у званичној посети од 29.02.2016. до 29.03.2016.године на позив проф. др. Јонгтуанг Ченг-а директора, Секција за истраживање безбедности хидроенергетског система. Посета Државној кључној лабораторији је од непроцењиве важности за израду предметне докторске дисертације, пошто је представљала јединствену прилику за анализу резултата мерених током стационарног стања и прелазних процеса на два модела пумпних турбина инсталираних у овој лабораторији, као и процедуру трансформације података са четвороквадрантних карактеристичних кривих пумпних турбина на Сутерове криве. Посебно се истиче анализа коју је кандидат урадио на проблему динамичких карактеристика у S-регији током прелазног стања – побега пумпне турбине.

Октобра 2012. године боравио је у званичној петодневној посети Институту за енергетске системе и термодинамику – Технички универзитет у Бечу, на позив проф. др-инж. Кристијана Бауера, Катедра за струјне машине. Током посете Институту учествовао је у веома сложеним пумпно-турбинским испитивањима у лабораторији за хидрауличне турбине, где је стекао драгоцену знања и искуства из области хидрауличних турбина и прелазних процеса.

Током 2012. године имао је званичну посету фабрици хидрауличних турбина VOITH-Hydro у Сент Пелтену, Аустрија, три дана, на позив др-инж. Леополда Хенингера, главни извршни директор компаније VOITH-Hydro. Током посете упознао се са комплетним погоном фабрике у коме се производи опрема за хидрауличне турбине (турбинска и хидромеханичка опрема) и стекао значајно искуство и знање из области хидрауличних турбина и прелазних процеса.

Такође, током 2011. године био је у званичној посети Лабораторији за испитивање хидрауличних турбина ALSTOM, Гренобл, Француска у трајању од 4 дана. Присутствовао је испитивањима модела Капланове турбине, где је стекао веома важно професионално искуство. Током ове посете имало је запажено учешће у анализи кавитације и доњег водостаја Франсисове турбине ХЕ Пива са ALSTOM инжењерима.

На основу стечених знања из области хидротурбина и транзиционих процеса, кроз рад на домаћим (реконструкција и модернизација ХЕ-Пива и ХЕ-Перућица) и иностраним пројектима (изградња нових хидроелектрана ХЕ–Карума, Уганда, Африка, ХЕ–ГЕРД Етиопија, Африка; реконструкције и модернизација ХЕ–Нурек Таџикистан, Централна Азија), и учешће у сложеним лабораторијским испитивањима хидротурбина, аутор је и коаутор одређеног броја радова, на домаћим и међународним конференцијама и симпозијумима.

Члан Инжењерске коморе Црне Горе, лиценца за израду пројеката машинских инсталација и дозвола за надзор у току извођења радова на машинским инсталацијама. Војни рок служио је у периоду од децембра 2001. до септембра 2002. године, као морнарички официр за везу Војске СЦГ. Ожењен и отац троје деце, два сина и једне ћерке. Поседује возачку дозволу Б категорије. Познавање страних језика: Енглески језик – чита и говори. Познавање рада на рачунару: Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), Matlab, FORTRAN.

Истраживачке области: Нестационарни и стационарни процеси у хидроелектранама, пумпним турбинама, турбинама, хидромеханичкој опреми, енергетске, кавитацијске и експлоатационе карактеристике хидроенергетских постројења

Списак објављених радова кандидата

На основу претходно наведених стручних знања које је кандидат стекао из области хидротурбине и прелазних процеса кроз рад на пројектима реконструкције и модернизације ХЕ–Пива, ХЕ–Перућица, ХЕ–Нурек, и изградње нових хидроелектрана ХЕ–Карума, ХЕ–ГЕРД и учествовања на сложеним лабораторијским испитивањима хидротурбина, кандидат је аутор и коаутор неколико научних радова из области прелазних режима на Францисовој

турбини, пумпној-турбини, пумпи, и из области кавитације, пулзације притиска у сифону Францис турбине, развијања Универзалне Једначине за W_h и W_m карактеристике, на домаћим и међународним саветовањима, симпозијумима и часописима. Као резултат истраживања кандидат је објавио 15 радова у часописима и на скуповима међународног и националног значаја, овде приказани обрнуто хронолошки и по уобичајеним категоријама:

M23

1. Giljen Z, Nedeljkovic M, Cheng YG (2024). The Influence of Pump-Turbine Specific Speed on Hydraulic Transient Processes. *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*. (Accepted for publication).
2. Giljen Z, Nedeljkovic M (2023). Universal Form of Radial Hydraulic Machinery Four-Quadrant Equations for Calculation of Transient Processes. *Energies* **2023**, 16, 7736. <https://doi.org/10.3390/en16237736>

M33

3. Giljen Z, Nedeljkovic M (2018). Radial hydraulic machinery four-quadrant performance curves dependent on specific speed and applied in transient calculations. *Proc. 29th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems*, Kyoto, Japan. Paper No.224, pp.1-10. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/240/4/042002>
4. Giljen Z, Nedeljkovic M, Cheng YG (2018). Analysis of four-quadrant performance curves for hydraulic machinery transient regimes. *Proc. 17th International Conference on Fluid Flow Technologies*, Budapest, Hungary. Paper No.98, pp.1-8.
5. Giljen Z, Nedeljkovic M, Heninger L, Bauer C (2018). Complex testing on the installation of the radial pump-turbine model determination of four-quadrant characteristics. *Proc. International Conference Energy and Ecology Industry*, Belgrade, Serbia. ISBN978-86-7466-751-4. Paper No.1.3, pp.1-8.
6. Giljen Z (2017). Pressure oscillations in Piva Hydro Power Plant draft tube – case studies. *Proc. 29th Symposium on Fluid Machinery ASME-2017 Fluids Engineering Division Summer Meeting*. Waikoloa, Hawaii, USA, Paper No.FEDSM2017-69218, pp.1-8.
7. Giljen Z (2014). Numerical and field tests of hydraulic transients at Piva powerplant. *Proc. 27th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems*, Montreal, Canada. Paper No.2.3.5, pp.1-9. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 22(2013) 042010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/22/4/042010>
8. Starinac, D. Žugić, D. Vojt, P. Dimitrijević, M. Giljen, Z. Gajić, A. (2014). On-site measurements in pressurized system of high head hydropower plant, *Proc. 27th IAHR symposium on Hydraulic Machinery and Systems*, Montreal, Canada. pp. 76, Print ISSN: 1755-1307, <http://iopscience.iop.org/1755-1315/22/>

M34

9. Giljen Z (2017). Cavitation of Francis Turbine HPP Piva and applied methods for reducing negative impact. Book of abstracts. *AFM/SHF Conference on Hydraulic Machines and Cavitation, November 8 -9th ENSAM Paris, France*.
10. Giljen Z, Nedeljkovic M, Cheng GY (2016). Pump-turbine characteristics for analysis of unsteady flows. Book of abstracts. *28th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems*, Grenoble, France. AbstractNo195, pp.51.

M63

11. Giljen Z (2015). Analiza oscilacija pritiska u sifonu francis turbine HE-Piva uslijed prelaznih procesa, *Zbornik radova IV Savjetovanje CIGRE*, Igalo, Crna Gora. pp. 42, <http://cigre.me/page.php?id=189>
12. Giljen, Z. Karadžić, U. (2013). Analiza hidromehaničkih prelaznih režima na HE-Piva za slučaj brzog zaustavljanja francisovog agregata, *Zbornik radova III Savjetovanje CIGRE*, Pržno, Crna Gora. pp. 33, <http://cigre.me/page.php?id=121>
13. Giljen, Z. Karadžić, U. (2011). Analiza hidromehaničkih prelaznih režima na HE-Piva, *Zbornik radova II Savjetovanje CIGRE*, Pržno, Crna Gora. pp. 28, <http://cigre.me/page.php?id=120>
14. Pješčić, S. Giljen, Z. (2010). Kavitacija turbina i metode za smanjenje njenog negativnog uticaja, *Zbornik radova konferencije održavanja KOD - 2010*, Ulcinj, Crna Gora. pp. 425 – 430.
15. Pješčić, S. Giljen, Z. (2009). Rekonstrukcija i modernizacija HE-Piva u funkciji energetske efikasnosti, *Zbornik radova konferencije održavanja KOD - 2009*, Bar, Crna Gora. pp. 309 - 314.

Магистарски рад

Giljen, Zdravko (2011). Modeliranje hidromehaničkih prelaznih režima na HE „Piva”. Karadžić, Uroš (mentor); Ivanović, Dečan (član komisije); Vukoslavčević, Petar (član komisije, akademik CANU), Univerzitet Crne Gore u Podgorici, Mašinski fakultet, COBISS.CG-ID 5459981

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Рад је одштампан латинично, двострано, у формату А4. Написан је преопширно - на 600 страна текста и још око 300 страна прилога, а организован је у 13 поглавља текста и 30 прилога. Богато је илустрован дијаграмима и сликама у боји, као и листинзима развијених програма за прорачун.

Основна поглавља су: **1.** Увод, **2.** Тема дисертације, **3.** Претходно обаљена лична истраживања, **4.** Припремни део анализе података, **5.** Истраживање аналитичке везе у подацима за радне криве дате у једном квадранту (пумпе), **6.** Истраживање аналитичке везе (универзалне законитости) у подацима за радне криве дате у четири квадранта за осам модела (пумпи), **7.** Налажење аналитичке везе (универзалне законитости) поступком регресије за криве Wh и Wm карактеристике у четири квадранта за 1 модел радијалне пумпе и 7 модела радијалних пумпних турбина, **8.** Налажење аналитичке везе (универзалне законитости) поступком регресије за криве Wh и Wm карактеристике у четири квадранта за 6 модела радијалних пумпи и 13 модела радијалних пумпних турбина, **9.** Примена универзалних једначина за Wh и Wm карактеристике (универзалне законитости) у прорачунима прелазних процеса са радијалним хидрауличним машинама (на примерима из праксе) и анализа резултата, **10.** Утицај специфичне брзине обртања пумпе-турбине на хидрауличне прелазне процесе, **11.** Закључци из истраживања, **12.** Општи закључци докторске дисертације, **13.** Литература. Прилози 1-30.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **првом поглављу** дата је врло детаљна анализа расположиве литературе, најављена су истраживања у широј области, утврђени се домети претходних истраживања и препоруке за даље наставке истраживања у појединим тематским областима. Дефинисањем теме истраживања у овој дисертацији, у **другом поглављу** сужава се истраживачка ниша и усмерује на конкретно истраживање у области дисертације. Поново се још детаљније наводи и анализира литература директно повезана са идејом истраживања у дисертацији. Проучавају се и класичне старије референце, као и новија модерна литература.

У **трећем поглављу** кандидат приказује сва припремна лична истраживања, теоријска, експериментална и нумеричка, која је морао да савлада и стекне искуство. Сагледава се значајан рад кандидата и успостављање међународних контаката ради прикупљања важних података који ће послужити за основни циљ дисертације – развој математичког модела.

У **четвртном поглављу** се приказује припремни део анализе података у смислу припреме за математичко моделирање. Наиме, радне криве машина се експериментално одређују кроз основне енергијске параметре – проток, напор, момент, број обртаја. Ради општости, потребно их је најпре приказати бездимензијски, а затим прерачунати у тзв. Сутеров облик везе бездимензијских параметара кроз кружни дијаграм зависности од положајног угла. Кандидат приказује врло детаљно цео поступак са општим и конкретним примерима, и свим потребним корацима и међу-дијаграмима. Класични дијаграми из литературе се пребацују у дигиталну форму и даље прерачунавају и цртају.

У **петом поглављу** наступа се са применом регресионе анализе на одређеном броју расположивих кривих за пумпе и пумпе-турбине. Описује се детаљно поступак регресионе анализе („фитовања“) података јединственом кривом аналитичког облика, при чему се показује да је поступак анализе потребно урадити у више корака. Затим се дају вредности коефицијената за предложени математички модел зависних од специфичне брзине обртања (типова) машина, као и дијаграмско поређење експерименталних радних крива у Сутер облику, са аналитички добијеним кривама из уопштеног математичког модела. Приказују се и кодови програма који су коришћени за анализу.

У **шестом поглављу** се додатно спроводи анализа на још већем броју референтних радних крива радијалних и пумпи и пумпи-турбина са нешто другачијим аналитичким прилазом, али уз одређивање генералисаног (оптег) математичког модела који се са сигурношћу може применити за одређивање четвороквадрантних радних кривих пумпи и пумпи-турбина.

У **седмом и осмом поглављу** коначно се постављају аналитичке везе за податке које је кандидат прикупио и финално дефинише математички модел уз детаљно дијаграмско поређење са експерименталним подацима. Доказује се квалитет моделирања, тачност и применљивост.

Девето и десето поглавље посвећено је примени (и тиме провери) модела у конкретним хидроенергетским постројењима где постоје експериментални четвороквадрантни дијаграми за пумпе-турбине, и где се врши како директно поређење радних кривих, тако и осетљивост резултата прорачуна нестационарних (транзијентних) режима рада у односу на разлике у кривама машине. Кандидат детаљно приказује и доказује да су разлике мале и да је модел робустан и инжењерски тачан за те конкретне случајеве. Истичу се дијаграми кретања радне тачке машине у квадрантима током прелазног процеса наглог испада агрегата из рада.

Једанаесто поглавље аутор посвећује закључцима и прегледу свих спроведених истраживања, док у **дванаестом поглављу** јасно заокружује доприносе које је дисертација постигла.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Област четвороквадрантних радних кривих хидрауличних машина представља област у којој су истраживања увек изазовна. Добијање оваквих кривих је мукоотрпан експериментални посао, захтеван и инвестиционо, и временски, и у погледу мерне и рачунарске опреме, и подаци зато нису лако доступни у светској и класичној и савременој литератури. Током прелазних процеса хидраулична машина пролази кроз радне режиме од којих неки нису стабилни, што се може одразити на њихов жељени рад и параметре. Због тога се у литератури све више јављају покушаји моделирања радних кривих пумпи-турбина чиме би се постигла већа доступност података који су потребни за пројектовање хидроенергетских система.

У Извештају приликом пријаве теме овог доктората, детаљно је дат приказ и савремене и класичне литературе, са експерименталним подацима и постигнутим резултатима. У овој дисертацији, у претходно описаним поглављима, кандидат је користио и податке које је сам сакупио и делимично мерио, а и податке који су у међувремену објављени. Тиме су истраживања у овој дисертацији и савремена и оригинална. И аналитички тазвој математичког модела је врло актуелан с обзиром да постоји неколико сличних покушаја, али не на овај начин.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У Извештају приликом пријаве теме овог доктората, детаљно је дат приказ и савремене и класичне литературе, са експерименталним подацима и постигнутим резултатима. У овој дисертацији, у претходно описаним поглављима овог Извештаја, кандидат је још детаљније дао анализу литературе. Похвално је да је, у односу на анализирани, направљен сужени број референци у последњем поглављу овог рада, директно оних које су имале важан утицај на истраживања у дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Као што је било предвиђено у Извештају исте комисије приликом пријаве кандидата за израду дисертације, следеће методе су корисно искоришћене: 1. Организовање података и њихова анализа, прерачунавање и цртање различитих дијаграма ради поређења и припреме за анализу – **рачунарске методе**. Притом део података је из сопствених мерења, што значи да би се користиле и – **експерименталне методе**, као и методе **статистичке обраде** тих података; 2. Рачунарска и аналитичка обрада података и дијаграма, како уопште, тако и по појединим параметрима – **статистичка и математичка анализа**; 3. Формирање алгоритма за генерализацију једначина којима би се вршило моделирање – **рачунарске методе и математичка анализа**; 4. Примена методе и добијање универзалне законитости - методе за програмску имплементацију алгоритма – **рачунарске методе**. 5. Примена универзалне законитости – њено тестирање на примерима из праксе – **рачунарске методе**. Показало се да је кандидат савладао све методе и квалитетно их употребио за постизање циља дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Развијени математички модел директно се може применити у решавању конкретних случајева прорачуна транзијентних процеса у хидроенергетским системима. То и јесте био основни циљ теоријског, нумеричког и експерименталног истраживања спроведеног у овој дисертацији. Последња два поглавља детаљно приказују начин примене и стручну корист модела развијеног у дисертацији.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде дисертације, кандидат је све више приказивао способности за самостални рад, што и јесте постигнуто завршетком ове дисертације. Постоје доказане вредности кандидата да се самосталније ангажује у решавању и будућих научних и стручних изазова.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС ДИСЕРТАЦИЈЕ

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос кандидата је развој јединственог универзалног (опште важећег) математичког модела за опис четвороквадрантних радних кривих пумпи-турбина за различите брзоходности (специфичне бројеве обртаја, типове хидрауличних машина).

До остварења тог доприноса кандидат је дошао најпре прикупљањем података о радним кривама пумпних турбина који постоје у литератури, затим стручним посетама институтима и лабораторијама које се баве овим комплексним експерименталним испитивањима, а не објављују податке јавно, и добијањем сагласности да податке може користити за свој научноистраживачки рад, анализом података и њиховим прерачунавањем на Сутерове криве, посматрањем и анализом односа који постоје међу кривама а везани су за типове машине (специфични број обртаја поједних пумпних турбина), покушајима на више начина да се криве генерализују и уопште у универзалну, избором коначног начина за уопштавање и формирање коначног математичког модела. Модел је затим тестиран и верификован како поређењем са појединачним радним кривама, тако и применом на конкретне студије случаја на појединим хидроелектранама прорачуном прелазних режима и поређењем тих резултата са измереним.

Поред описаног научног доприноса, развијени математички модел представља и директан стручни допринос с обзиром да је потреба за његовом имплементацијом стална приликом пројектовања нових хидроенергетских постројења када се прорачунавају прелани режими за пумпу-турбину за коју не постоји и/или није позната четворо квадрантна радна крива. Преко пројектног протока и напора могуће је утврдити оптимални тип агрегата (специфични број обртаја) и затим применити моделску универзалну једначину која ће доста верно приказати четвороквадрантне радне криве за такву пумпу-турбину.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У дисертацији се даје врло детаљан приказ свих корака у истраживању. Најпре се даје врло критичка анализа литературе, затим се критички анализирају експериментална мерења којима је кандидат присуствовао и у неким у којима је директно учествовао, затим облици радних кривих и зоне могућег рада, а посебно се критички прилази математичком моделирању и добијеним резултатима.

Посебно се истиче критичка анализа коефицијената који се промењују у математичком моделу, као и анализа нетачности која настаје фитовањем експерименталних података једначинама модела. У том смислу се анализира како регресиони фактор примене математичких једначина на коефицијенте кривих, тако и даље произведено одступање самих хидрауличких енергијских радних параметара машина.

Коначан резултат и научни допринос дисертације је математички модел универзалне четвороквадрантне радне криве зависан од специфичног броја обртаја пумпе-турбине. Модел се анализира како у погледу форме регресионе криве којом се фитију експериментални подаци, у смислу што боље апроксимације (тј. што већег фактора регресије) са једне стране, а истовремено, са друге стране, што једноставније формуле за инжењерску примену и програмирање. Варирајући различите форме регресионих кривих, као и узимајући у обзир веће или мање вредности регресионих фактора који се постижу, изабрана је компромисна средина броја коефицијената и степенованих полинома, која је са довољно високом инжењерском тачношћу апроксимирала („фитовала“) експерименталне податке и дала задовољавајућа мања одступања која дозвољавају поуздану инжењерску примену математичког модела.

4.3. Верификација научних доприноса

Обавезан услов верификације

Научни допринос кандидата је развој јединственог универзалног (опште важећег) математичког модела за опис четвороквадрантних радних кривих пумпи-турбина за различите брзоходности (специфичне бројеве обртаја, типове хидрауличних машина).

Развој модела, као и његово подешавање и тестирање према расположивим подацима у светској литератури, приказани су у поглављу 8. дисертације, на странама 161-537 и објављени су у раду категорије **M23**:

Giljen Z, Nedeljkovic M (2023). Universal Form of Radial Hydraulic Machinery Four-Quadrant Equations for Calculation of Transient Processes. *Energies* 2023, 16(23), 7736, pag. 1-27. <https://doi.org/10.3390/en16237736>
Field: Energy and Fuels, IF2=3.2, R=80/121, IF5=3.3 R=78/121. <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/23/7736>

(у списку радова кандидата, овај рад је означен бројем 2).

Кандидат је први аутор у раду и једини докторант.

Остали начини верификације

Овај допринос кандидата приказан је и у радовима означеним са 1 (рад прихваћен за штампу у још једном међународном часопису), 3, 4 и 5 (радови на међународним конференцијама од којих је први штампан и у отвореном приступу) у списку објављених радова кандидата.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације кандидата Здравка П. Гиљена под насловом „Математички модел универзалне четвороквадрантне радне криве хидрауличних машина зависан од специфичне брзине обртања и примењен у прорачунима прелазних режима”, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације констатује да урађена дисертација представља оригинални научни допринос кандидата у проучавању четвороквадрантних радних крива хидрауличних машина, да је написана према свим стандардима научно-истраживачког рада, и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, као и да је у складу са Статутом и Правилницима о докторским студијама Факултета и Универзитета.

У закључку, Комисија констатује да је кандидат Здравко Гиљен успешно завршио израду своје докторске дисертације у складу са задатим циљевима истраживања.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета да прихвати докторску дисертацију под насловом „Математички модел универзалне четвороквадрантне радне криве хидрауличних машина зависан од специфичне брзине обртања и примењен у прорачунима прелазних режима” кандидата Здравка П. Гиљена, маг.инж.маш, и заједно са овим Извештајем изложи је на увид јавности, и да је потом проследи Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, на коначно усвајање и одобрење јавне одбране.

Београд, 7.6.2024.год.

Комисија за оцену и одбрану

др Милош Недељковић, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду – Машински факултет, ментор

проф. др Ђорђе Чантрак
Универзитет у Београду – Машински факултет

в. проф. др Ненад Јаћимовић
Универзитет у Београду – Грађевински факултет