

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Сање Вујновић, дипл. инж. електротехнике - мастер за израду докторске дисертације „Детекција стања ротационих актуатора заснована на анализи акустичких сигнала“.

Одлуком 5023/11-1 бр. од 24.02.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Сање Вујновић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Детекција стања ротационих актуатора заснована на анализи акустичких сигнала“. На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Сања М. Вујновић рођена је 30. априла 1987. године у Београду. Од 1994. до 2002. године је похађала основну школу 20. октобар на Новом Београду, а 2002. године је уписала Математичку гимназију у Београду коју завршава 2006. године са одличним успехом. 2006. године уписује Електротехнички факултет са максималним бројем освојених поена на пријемном испиту. Факултет завршава у јуну 2010. године са просеком 9.58. на Одсеку за сигнале и системе. Дипломски рад, под руководством проф. Жељка Ђуровића, био је практичног карактера и звао се „Једна реализација управљања позиционим сервосистемом на платформи Siemens SIMATIC PCS7“. Мастер студије из Управљања процесима уписује 2010. године на Империл Колеџу у Лондону, у трајању од годину дана. Завршава мастер студије у року са највећом оценом *Distinction* што значи да је имала максималне поене на свим предметима и мастер тези. Мастер рад јој се звао „Семидефинитна релаксација проблема глобалне оптимизације“ и рађен је под супервизијом професора Имада Јаимоукхе. Докторске студије на Електротехничком факултету уписала је 2011. године на модулу Управљање системима и обрада сигнала.

У току студија била је стипендиста Министарства омладине и спорта 2009-2011. године. У трећој и четвртој години основних студија је била ангажована на лабораторијским вежбама из предмета Системи аутоматског управљања и Сигнали и системи. Осим тога, 2009. године је урадила и стручну праксу у компанију Пројектомонтажа, радећи на интеграцији система за паметне зграде у Београду. Такође, била је учесник неколико студентских радионица у земљи и иностранству, а 2009. године је добила Cisco CCNA (Cisco Certified Network Associate) сертификат.

Сања Вујновић је изабрана у звање асистента у априлу 2012. године на Одсеку за сигнале и системе. Тренутно је активно ангажована у држању наставе на неколико предмета. У јесењем

семестру њена ангажовања укључују држање рачунских вежби из предмета Основи система управљања, Управљање у реалном времену, Стохастички системи и естимација, Дигитална обрада сигнала, Аутоматско вођење објеката у простору и аутоматско управљање кретањем, Робусна мултиваријабилна регулација и Сигнали и системи. У пролећном семестру њена ангажовања се односе на држање рачунских вежби из предмета Дигитална обрада сигнала, Управљање индустријским процесима, Мултиваријабилни системи управљања, Практикум из софтверских алата и Сигнали и системи.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Област истраживања Сање Вујновић укључује обраду сигнала, моделирање и идентификацију система, препознавање облика, детекцију и изолацију отказа напредним техникама за обраду сигнала. Међу важним истраживањима може се сврстати детекција стања ударних плоча млинова у термоелектранама на основу акустичких сигнала. У оквиру својих докторских студија бави се овим и сличним истраживањима под руководством проф. Жељка Ђуровића. Током лета 2013. године била је у студијској посети на Универзитету у Калифорнији, Сан Дијего (UCSD, Cymer Center for Control Systems and Dynamics) под надзором професора Мирослава Крстића, а 2013. и 2014. године је похађала курсеве Европског института за управљање (EECI – European Embedded Control Institute).

У току рада на факултету Сања Вујновић је учествовала на неколико пројеката, међу којима су: TEMPIYC пројекат NeReLa (Building network of remote labs for strengthening university-secondary vocational schools collaboration), пројекат билатералне сарадње између Италије и Србије RODEO (Robust decentralized estimation for large-scale system), пројекат Министарства за науку и технолошки развој „Повећање енергетске ефикасности и расположивости у системима за производњу и пренос електричне енергије развојем нових метода за дијагностику и рану детекцију отказа“, ALAS симулатор лета, итд.

Сања Вујновић је докторске студије уписала на Електротехничком факултету Универзитета у Београду школске 2011/2012 године на модулу Управљање системима и обрада сигнала. Током докторских студија положила је све испите са просечном оценом 10.00 и то: Праћење покретних циљева, Класификација и естимација сигнала, Неуралне мреже, Оптимални и адаптивни стохастички системи, Увод у научни рад, Аутоматско резоновање, Сложени мулти-агент системи, Вештачка интелигенција, Управљање сложеним системима и Технике обраде и препознавања говорног сигнала. Она је испунила и све обавезе предвиђене наставним планом и програмом (Студијски истраживачки рад I, Студијски истраживачки рад II, Научно стручни рад). Одређен јој је ментор дисертације, проф. Жељко Ђуровић и период од 2011. до 2017. године провела је у истраживању и припреми докторске дисертације. Тема која је предложена за докторску дисертацију овог кандидата има мултидисциплинарни карактер и домен интересовања се налази у областима естимације стања, обраде акустичких сигнала, статистичке анализе сигнала и предиктивног одржавања у термоенергетским постројењима.

Досадашњи резултати кандидата су приказани кроз неколико публикација и то 1 рад у међународном часопису, 2 рада у домаћим часописима, 6 радова на домаћим конференцијама и 10 радова на међународним конференцијама. У даљем тексту је наведен списак публикација на којима је Сања Вујновић коаутор.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **S. Vujnović**, Ž. Đurović, G. Kvašček, Fan mill state estimation based on acoustic signature analysis, Control engineering practice, Vol. 57, pp. 29-38, 2016, IF=2.218, ISSN: 0967-0661, DOI: 10.1016/j.conengprac.2016.08.013

Радови у научним часописима (M53)

1. **S. Vujnović**, P. Todorov, Ž. Đurović, A. Marjanović, The use of Bayesian Networks in Detecting the States of Ventilation Mills in Power Plants, Electronics, Vol. 18, No. 1, pp. 16-22, 2014, ISSN: 1450-5843, DOI: 10.7251/ELS1418016V
2. E. Kisić, V. Petrović, **S. Vujnović**, Ž. Đurović, M. Ivezić, Analysis of the condition of coal grinding mills in thermal power plants based on the T2 multivariate control chart applied on acoustic measurements, Facta Universitatis - Series: Automatic Control and Robotics, Vol. 11, No. 2, pp. 141-151, 2012, ISSN: 1820-6417, UDC: 621.311.22

Саопштења са међународног скупа штампана у целини (M33)

1. P. Tadić, A. Marjanović, **S. Vujnović**, G. Kvašček, Fault Diagnosis in Redundant-Sensors Schemes: A Combined Parity Relations and Dedicated Observer Approach, XIII International Conference on Systems, Automatic Control and Measurements (SAUM2016), Nis, Srbija, Nov, 2016.
2. **S. Vujnović**, A. Al-Hasaeri, P. Tadić, G. Kvašček, Acoustic noise detection for state estimation, IcETRAN 2016, Zlatibor, Serbia, 2016, ISBN 978-86-7466-618-0 Best Section Paper Award
3. Marjanović, D. Hercog, **S. Vujnović**, P. Todorov, Evaluation of remote experiments in teaching of control theory, IcETRAN 2016, Zlatibor, Serbia, 2016, ISBN 978-86-7466-618-0
4. G. Fadda, A. Pilloni, A. Pisano, E. Usai, A. Marjanovic, **S. Vujnovic**, Multiple fault diagnosis by signature recognition of time-varying residuals, accepted for presentation at 3rd International Conference on Control and Fault-Tolerant Systems, SysTol'16, Barcelona, Spain, 2016
5. P. Tadić, **S. Vujnović**, Ž. Đurović, Improved matrix CUSUM test for recursive sequential testing of multiple hypotheses, IcETRAN 2015, Srebrno jezero, Serbia, Jun, 2015, ISBN 978-86-80509-71-6
6. P. Tadić, Ž. Đurović, A. Marjanović, **S. Vujnović**, Fault diagnosis in nonlinear stochastic systems via particle filtering, 23rd Telecommunications forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2015, ISBN: 978-1-5090-0054-8
7. G. Fadda, A. Pilloni, A. Pisano, E. Usai, A. Marjanovic, **S. Vujnovic**, A combined model-based data-driven approach for FDI in a water-steam power plant, Automatica.it 2015, Bari, Italy, 2015
8. G. Fadda, A. Pilloni, A. Pisano, E. Usai, A. Marjanovic, **S. Vujnovic**, Sensor fault diagnosis in water-steam power plant: A combined observer-based/pattern-recognition approach, International Workshop on Recent Advances in Sliding Modes (RASM), Istanbul, Turkey, 2015, doi: 10.1109/RASM.2015.7154643
9. Marjanović, **S. Vujnović**, V. Papić, P. Todorov, Robust adaptive parameter estimation of the thermal power plant combustion process, IcETRAN 2014, Vrnjačka Banja, Serbia, 2014, ISBN 978-86-80509-70-9
10. G. Kvascev, Z. Djurovic, B. Kovacevic, **S. Vujnovic**, eLab as a tool for remote laboratory in process control, CD Proceedings on 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), Pp 393 - 394, Polytechnic of Porto (ISEP), Porto, Portugal, 2014.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. **S. Vujnović**, A. Marjanović, L. Cokić, G. Kvašček, Z. Đurović, Modelovanje laboratorijskog modela sušare, 6th International conference on technics and informatics in education TIO 2016, Čačak, Serbia, 2016.
2. Marjanović, **S. Vujnović**, L. Cokić, G. Kvašček, Z. Đurović, Upravljanje vazdušnom levitacijom, 6th International conference on technics and informatics in education TIO 2016, Čačak, Serbia, 2016.
3. **S. Vujnović**, G. Kvašček, P. Todorov, Udaljeno upravljanje vazdušnom levitacijom: laboratorijska postavka, ETRAN 2015, Srebrno jezero, Srbija, 2015, ISBN: 978-86-80509-71-6
4. **S. Vujnović**, P. Todorov, B. Kovačević, Korišćenje Bajesovih mreža za detekciju stanja mlinova u termoelektranama, ETRAN 2013, Zlatibor, Srbija, 2013, ISBN 978-86-80509-68-6
5. J. Krmar, **S. Vujnović**, V. Papić, Analiza uticaja parametara Daugmanovog integralno-diferencijalnog operatora u segmentaciji dužice oka, ETRAN 2013, Zlatibor, Srbija, 2013, ISBN 978-86-80509-68-6
6. **S. Vujnović**, V. Papić, P. Todorov, Ispitivanje stanja mlinova u termoelektranama na osnovu akustičkih merenja, ETRAN 2012, Zlatibor, Srbija, 2012, ISBN 978-86-80509-67-9

Поглавље у књизи M42 или рад у тематском зборнику националног значаја (M14)

1. **S. Vujnović**, A. Marjanović, G. Kvašček, Ž. Đurović, Remote experiments in automatics: user manual (Priručnik za korišćenje udaljenih eksperimenata u automatici), Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Septembar 2016.
2. **S. Vujnović**, A. Marjanović, G. Kvašček, Ž. Đurović, Remote experiment system in education of electrical engineering (Daljinski sistem eksperimenata u obrazovanju elektroinženjera: Primer upravljanja procesima), Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Maj 2015.
3. G. Fadda, M. Franceschelli, A. Pilloni, A. Pisano, E. Usai, Ž. Đurovic, A. Marjanović, V. Papić, P. Tadić, **S. Vujnović**, RObust Decentralised Estimation fOr large-scale systems (RODEO), chapter in e-book Italian - Serbian Cooperation on Science, Technology and Humanities, SIGRa star, Belgrade, Serbia, 2015, ISBN 978-86-7522-048-0

Дана 09.03.2017. године Сања Вујновић је полагала испит о подобности теме и кандидата (докторски испит) пред комисијом у саставу: професор Бранко Ковачевић, професор Зоран Перић, професор Драгана Шумарац, доцент Милан Бебић и доцент Горан Квашчев. Оцена Комисије је да је кандидат Сања Вујновић на том испиту добила оцену: задовољила.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Током писања овог Извештаја, Комисија је узела у обзир све претходно наведене чињенице и резултате досадашњег рада кандидата Сање Вујновић. Такође су са посебном пажњом размотрена искуства која је кандидат стекао, како кроз образовни, тако и истраживачки процес. Узимајући у обзир све наведене компоненте које чине истраживачки профил кандидата за докторску дисертацију, Комисија је стекла увид у способности кандидата за научно-истраживачки рад, као и његове могућности, да током израде предложене докторске дисертације, оствари резултате који могу бити приказани и валоризовани од стране међународне научне заједнице. Став Комисије је позитиван и након детаљног образложења саме теме предложиће да она буде усвојена, а кандидату дата могућност да настави са израдом докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Данас се у индустрији све већи акценат ставља на развијање економичних начина одржавања машина и благовремене детекције отказа. Ово није толико изненађујуће ако се узме у обзир процена да је чак једна трећина трошкова одржавања просечног индустријског постројења последица сувишног или неефикасног одржавања [1]. Модерне технике предиктивног одржавања су се развиле управо са циљем продужења животног века машина, благовремене детекције истрошености компоненти и, самим тим, рационалног управљања финансијским ресурсима. Ове методе се заснивају на аквизицији одговарајућих сигнала (мерење вибрације, термографских снимака и сл.), њиховој обради и анализи и, на крају, доношењу одлуке о стању машине и процени неопходности ремонта [2].

Ротационе машине су посебно заступљене у индустрији и веома присутне у модерној литератури која се бави предиктивним одржавањем [3], а за њихову дијагностику као најинформативнији су се показали сигнали вибрације [4]. Коришћење сигнала вибрације за издвајање обележја и каснију дијагностику стања уређаја је добро утемељено у литератури [5] и тестирано је на различитим типовима машина укључујући и индустријске млинове [6]. Међутим, у последњих десет година се све више акцента ставља на коришћење акустичких сигнала за детекцију отказа. Показано је да могу да буду подједнако информативни као сигнали вибрације [7, 8], а да због њихове осетљивости на промене у окружњу могу раније да детектују одређене отказе. Такође, сензори за детекцију звука су јефтинији, безконтактни и могу снимати сигнале у непосредном окружењу машине док је она у функцији.

Много успеха је постигнуто коришћењем акустичних сензора за предиктивно одржавање [9], међутим, готово сви ови успеси су забележени у стриктно контролисаним лабораторијским условима. Наиме, велики проблем код коришћења звучних сигнала у индустријским окружењима је у томе што су изузетно подложни околном шуму који је увек присутан у реалним условима. Филтрирање тог шума традиционалним техникама често није могуће без губитака корисних информација, па сви бенефити коришћења звука за детекцију отказа често бивају засењени овим једним недостатком.

Циљ истраживања у оквиру докторске дисертације јесте реализација нове методологије која на основу акустичких сигнала у контаминираној средини тражи информативна обележја у временском и фреквенцијском подручју, при чему се посебна пажња посвећује предобради сигнала у циљу детекције постојања контаминирајуће компоненте. Истраживање ће се концентрисати на проблеме у термоенергетским постројењима (детекција стања радних кола млинова), али верујемо да се резултати могу генерализовати и проширити на ширу фамилију ротационих актуатора као што су напојне пумпе, компресори, вентилатори и сл.

Један део истраживања био би оријентисан на развијање нових алгоритама за саму детекцију стања ударних плоча коришћењем акустичких сигнала, употребом техника базираним на подацима (енг. *data driven*). Ово би се остварило обрадом снимљених сигнала и издвајањем релевантних обележја звука у временском и фреквенцијском подручју. Добијена обележја ће се анализирати неким од алгоритама препознавања облика [10] (класификација на бази матрица расејања или субстрактивна кластеризација) са циљем развијања метрике која говори о нивоу истрошености радних кола унутар млина. Та метрика може да буде у функцији еуклидског растојања у вишедимензионом простору или статистичког растојања у дводимензионалном простору.

Други део истраживања базираће се на робусној предобradi звучног сигнала у циљу детекције контаминације. Овај корак је изузетно важан с обзиром да је установљено да су постојеће методе за детекцију стања склоне доношењу погрешних закључака када се користе зашумљена мерења. За детекцију контаминације обавиће се анализа буке ротационих актуатора посматрањем промене статистичких карактеристика сигнала у времену. Ова промена може најочигледније да се детектује употребом графичких статистичких алата као што је QQ крива [11].

Осим доприноса у виду естимације стања радних кола млинова и робусне детекције контаминације звучног сигнала, коначни циљ је развијање нових метода које је могуће генерализовати за примену на широком спектру ротационих актуатора, као и отварање простора за коришћење акустичких сензора за потребе одржавања и детекције отказа у индустријским постројењима. Додатно, имплементацијом ових алгоритама на једноставном микроконтролерском уређају омогућило би се увођење предиктивног одржавања за разне индустријске елементе уз минималне измене у начину функционисања индустријских постројења. Тиме би се, уз минимална улагања, уштедело на трошковима одржавања и продужио би се животни век ротационих елемената. Сигнали који ће се користити за развој и тестирање алгоритама у оквиру ове дисертације добиће се експерименталним снимањима звука вентилаторских млинова у термоелектрани ТЕКО Костолац, на блоку А1.

У даљем тексту су наведени релевантни радови из светске литературе који документују образложену сложеност и актуелност предложене теме.

Релевантни радови из области истраживања:

Истраживачки рад у оквиру израде дисертације биће базиран на следећој литератури:

- [1] R. K. Mobley, "An introduction to predictive maintenance," Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2002.
- [2] G. Vachtsevanos, F. Lewis, M. Roemer, A. Hess, B. Wu, "Intelligent fault diagnosis and prognosis for engineering systems," Hoboken, NJ, USA: Wiley. 2006.
- [3] K. A. Loparo, M. L. Adams, W. Lin, M. F. Abdel-Magied, N. Afshari, Fault detection and diagnosis of rotating machinery. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 47, No. 5, pp. 1005-14, 2000.
- [4] J. H. Shin, H. B. Jun, On condition based maintenance policy, Journal of Computational Design and Engineering, Vol. 2, No. 2, pp. 119-127, 2015.
- [5] J. T. Renwick, P. E. Babson, Vibration analysis - a proven technique as a predictive maintenance tool, IEEE Transactions on Industry Applications, 1985.
- [6] Z. Su, P. Wang, X. Yu, Z. Lv, Experimental investigation of vibration signal of an industrial tubular ball mill: monitoring and diagnosing, Minerals Engineering, Vol. 21, No. 10, pp. 699-710, 2008.
- [7] N. Baydar, A. Ball, A comparative study of acoustic and vibration signals in detection of gear failures using Wigner-Ville distribution, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 15, No. 6, pp. 1091-1107, 2001.
- [8] P. Henriquez, J. B. Alonso, M. A. Ferrer, C. M. Travieso, Review of automatic fault diagnosis systems using audio and vibration signals, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, Vol. 44, No. 5, pp. 642-652, 2014.

[9] Y. Wang, Q. Ma, Q. Zhu, X. Liu, L. Zhao, An intelligent approach for engine fault diagnosis based on Hilbert Huang transform and support vector machine, *Applied Acoustics*, Vol. 75, pp. 1-9, 2014.

[10] K. Fukunaga, "Introduction to statistical pattern recognition," San Diego, CA, USA: Academic Press Professional Inc., 1990.

[11] J. J. Filliben, "The Probability Plot Correlation Coefficient Test for Normality," *Technometrics*, Vol. 17, No. 1, pp. 111-117, 1975.

3. Полазне хипотезе

Истраживање се заснива на следећим хипотезама:

- Номинални акистички сигнал ротационог актуатора се може сматрати циклостационарним у периоду једне сесије снимања, када му је стање непромењено. Са променом стања актуатора мењају се и карактеристике сигнала.
- Промене у звучном сигналу, настале као последица механичког трошења радних кола у млиновима или променом радних карактеристика других ротационих актуатора, утичу на издвојена обележја у временском и фреквенцијском домену.
- Могуће је развити алгоритам базиран на подацима који процењује стање ротационе машине и могуће је одредити метрику која одговара стању ротационих актуатора.
- Могуће је применом техника робусне статистике извршити филтрирање снимљених звучних сигнала, а у циљу одстрањивања контаминационих компоненти које не носе информацију о стању ротационих елемената.
- Структура промене статичких карактеристика зависи од типа контаминације и могуће је детектовати тренутак када се контаминација јавила, као и тип контаминације.

4. Научне методе истраживања

Први део истраживања ће се односити на преглед постојећих техника за предиктивно одржавање, коришћење акустичких сигнала, детекцију стања машина и робусну предобраду сигнала. С обзиром на карактеристике проблема који ће се решавати у оквиру ове докторске дисертације, од познатих научних метода истраживања доминантно ће бити коришћене анализа, синтеза, апстракција, конкретизација, спецификација и генерализација. Нови алгоритам за детекцију стања ротационих актуатора на бази акустичких мерења биће пројектован коришћењем ових техника, и то реализацијом следећих активности:

- Спровођење великог броја експеримената који би обухватили рад система у различитим условима као што су различита стања ротационих машина, ситуације када има и када нема контаминације, присуство различитих контаминација и различитог положаја акустичког сензора (анализа, генерализација).
- Детаљна анализа снимљених података са циљем детекције релевантних обележја код естимације стања и информативних статистичких параметара при детекцији контаминације (анализа, апстракција).

- Развијање, обучавање и тестирање алгоритма који у номиналним условима (када нема контаминације) успева да детектује стање ротационог актуатора применом техника за препознавање облика као што су класификација на бази матрица расејања или субстрактивна кластеризација (синтеза, конкретизација, спецификација).
- Развијање, обучавање и тестирање алгоритма који из дугачке секвенце акустичког снимка, статистичком анализом, успева да детектује и класификује тип контаминације (синтеза, конкретизација, спецификација).
- Комбиновање ове две методе у једну целину која, у делу предобраде, од дугачке секвенце акустичног снимка прави више краћих секвенци у којима се не налази контаминација, а у делу детекције естимира стање машине користећи обележја издвојена из ових краћих секвенци (синтеза, апстракција, спецификација).
- Предлагање начина генерализације добијеног алгоритма на широк спектар ротационих актуатора и његове имплементације на једноставан микроконтролерски уређај. (синтеза, апстракција, генерализација).

Нови алгоритам биће пројектован у софтверском пакету MATLAB и тестиран на сигнаlima снимљеним у термоелектрани Костолац А1.

5. Очекивани научни допринос

У овом истраживању очекују се следећи научни доприноси:

- Прегледом постојеће литературе биће извршена анализа постојећих алгоритама који се баве предиктивним одржавањем, коришћењем акустичких сигнала у индустријском окружењу, детекцијом стања ротационих актуатора и робусном предобројом сигнала.
- Биће извршена детаљна анализа података снимљених у околини вентилаторског млина у условима различитог нивоа истрошености радних плоча и у присуству различитих врста и интензитета контаминација. Ова анализа ће се искористити за одлуку о томе која релевантна обележја у временском и фреквенцијском домену су довољно информативна за потребе детекције стања и који статистички параметри су значајни за детекцију контаминације.
- Биће предложени нови приступи естимације стања ударних плоча који ће, уместо класификације стања у неколико дискретних класа, да користи континуалну метрику која ће осликавати ниво истрошеност ударних плоча млинова, односно радних кола ротационих актуатора.
- Биће предложен нови алгоритам за робусну предоброј акустичних сигнала који ће, користећи статистичке параметре снимака, да детектује присуство контаминације и класификује која врста контаминације је присутна.
- Развијањем функционалног алгоритма за детекцију контаминације и естимацију стања коришћењем неконтаминираних акустичких снимака елиминисе се главна препрека за коришћење сигнала звука у предиктивном одржавању индустријских машина.
- Коначно, биће дата експериментална анализа ефикасности предложених алгоритама на расположивим подацима из термоелектране ТЕКО Костолац, блок А1, уз јасан предлог генерализације предложених метода за широк спектар ротационих актуатора и предлог имплементације алгоритма на једноставном хардверском уређају, ради повећања економичности.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања у оквиру дисертације се састоји из следећих корака:

- Почетна фаза истраживања односиће се на преглед литературе која се бави предиктивним одржавањем, коришћењем акустичких сигнала у индустријском окружењу, детекцијом стања ротационих актуатора, робусном предобработом сигнала, систематизацију постојећих решења, издвајање предности и мана различитих метода и анализу очекиваних доприноса увођењем нових алгоритама за естимацију стања коришћењем акустичких сигнала.
- Детаљна анализа експерименталних акустичких снимака у циљу издвајања информативних обележја за детекцију стања ротационих актуатора, као и издвајања релевантних статистичких параметара за детекцију и класификацију контаминације.
- Дефинисање одговарајуће метрике која на основу издвојених обележја естимира стање ротационих актуатора. Овај алгоритам ће се обучавати и тестирати на сигнаlima снимљеним у околини вентилаторског млина, са циљем детекције нивоа истрошености ударних плоча.
- Предлог алгоритма за предобработку акустичких сигнала са циљем детекције, идентификације и изолације контаминираних дела снимака, користећи статистичке параметре мерења. Овај алгоритам ће се обучавати и тестирати на сигнаlima снимљеним у околини вентилаторског млина, са циљем детекције контаминација насталих услед ремонта околних машина или разговора у близини акустичког сензора.
- Успостављање јединственог алгоритма за предобработку и детекцију стања уз анализу могућности његове генерализације на широк спектар ротационих актуатора и могућности имплементације на уређај типа микроконтролера ради једноставније примене, са циљем смањења материјалних губитака насталих неадекватним одржавањем.
- Детаљна анализа добијених резултата, истицање предности предложених метода и издвајање ограничења.

Структура саме тезе ће у великој мери пратити предложене фазе истраживања. Осим уводног поглавља предвиђена су три поглавља прегледног типа од којих ће прво бити посвећено предиктивном одржавању са посебним освртом на технике базиране на подацима примењене на ротационим актуаторима и на употребу акустичких сигнала у те сврхе. Друго поглавље биће посвећено најчешће коришћеним алгоритмима за детекцију отказа и естимацију стања, стављајући посебан акценат на проблематику издвајања обележја из снимљених сигнала. Треће поглавље ће обухватати преглед робусних стратегија за предобработку сигнала у циљу детекције контаминација. Четврто поглавље ће садржати структуру и опис предложених алгоритама за естимацију стања на примеру вентилаторског млина у термоелектрани Костолац А1. Пето поглавље ће се односити на структуру и опис предложеног алгоритма за предобработку сигнала анализирањем промене у статистичким параметрима, тестираног на истом вентилаторском млину. Последња два поглавља садржаће закључке и коришћену литературу, респективно.

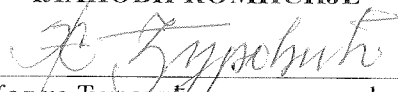
7. Закључак и предлог

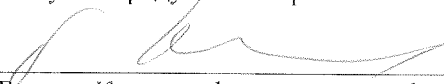
Током писања овог Извештаја Комисија је узела у обзир све релевантне чињенице које формирају слику о подобности теме и кандидата за реализацију предвиђених истраживања. Имајући у виду резултате досадашњег рада кандидата Сање Вујновић који је показан у фази истраживања у оквиру докторске дисертације, њеног ангажовања као сарадника на високошколској установи и њеног истраживачког искуства, Комисија је стекла неспорни утисак да кандидат јесте способан за научно-истраживачки рад као и за реализацију предвиђених истраживања. Са друге стране, анализирајући предложену тему под називом „Детекција стања ротационих актуатора заснована на анализи акустичких сигнала“, стављајући је у контекст савремених, актуелних научних истраживања, сагледавајући наведене непосредне циљеве, очекиване резултате и доприносе, Комисија је у потпуности сагласна да оваква тема задовољава све услове подобности за докторску дисертацију. При томе Комисија констатује да ова тема припада ужој научној области Управљање системима и обрада сигнала, да Електротехнички факултет Универзитета у Београду јесте матичан за ову научну област, и при томе за ментора рада предлаже проф. др Жељка Ђуровића запосленог на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Уз Извештај је приложен списак радова проф. Жељка Ђуровића који га квалификују за ментора.

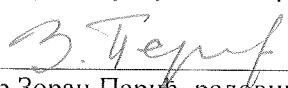
У закључку овог Извештаја, а имајући у виду све напред наведено, Комисија има част да Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду предложи да прихвати тему докторске дисертације „Детекција стања ротационих актуатора заснована на анализи акустичких сигнала“ и да кандидату Сањи Вујновић омогући да приступи њеној изради.

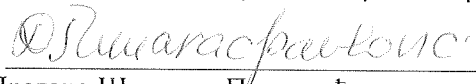
У Београду,
дана 29.03.2017.

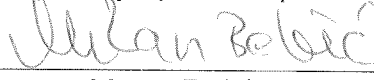
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Жељко Ђуровић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Бранко Ковачевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Зоран Перић, редовни професор
Универзитет у Нишу – Електронски факултет


др Драгана Шумарац Павловић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Милан Бебић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Горан Квашчев, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет