

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

„Интегрисани модел одржавања заснован на успостављању законитости промене механичких вибрација и његов утицај на прогностику стања ротационих машина“

Кандидат: Стеван М. Вуловић

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. Датум и орган који је именовао комисију На седници Наставно-научног већа Техничког факултета „Михајло Пупин“ у Зрењанину од 28.9.2017. године донета је одлука о именовању Комисије за оцену докторске дисертације.</p> <p>2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Председник: Проф. др Славица Првуловић, редовни професор, ужа научна област: Индустриско инжењерство, 2015. год., Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин.</li><li>• Члан: Проф. др Бранко Шкорић, редовни професор, ужа научна област: Технологија обликовања површина, 2010. год., Факултет техничких наука, Нови Сад.</li><li>• Члан: Доц. др Владимир Шиник, доцент, ужа научна област : Индустриско инжењерство, 2015. год., Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин.</li><li>• Члан: Доц. др Љиљана Радовановић, доцент, ужа научна област: Индустриско инжењерство, 2012. год., Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин.</li><li>• Ментор: Проф. др Живослав Адамовић, редовни професор, ужа научна област: Индустриско инжењерство, 1995. год., Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин.</li></ul>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Стеван (Миломир) Вуловић</p> <p>2. Датум и место рођења, општина, Република: 11.8.1952, Зубин Поток (доње Вареге), Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, дипломирани инжењер за управљање техничким системима (мастер).</p> <p>4. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</p> <p>5. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:</p> <p>6. Научна област на докторским студијама: Индустриско инжењерство – Инжењерски менаџмент.</p>

**III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

„Интегрисани модел одржавања заснован на успостављању законитости промене механичких вибрација и његов утицај на прогностику стања ротационих машина“

**IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Резултате својих истраживања Стеван М. Вуловић је изложио у докторској дисертацији, која је написана на 207 страна А4 формата, у којој се налази 118 слика, шема и графикона, као и 26 табеле и 294 референци. На почетку дисертације је дат назив дисертације, кључна документациона информација на српском и енглеском језику и садржај. На крају дисертације је наведена кратка биографија кандидата. Дисертација садржи следећих 8 међусобно логички повезаних поглавља:

1. Увод - зашто интегрисани модел одржавања заснован на успостављању законитости промене механичких вибрација
2. Методолошки концепт
3. Теоријска истраживања – Концепција и технологија одржавања ротационих машина.
4. Развој интегрисаног модела одржавања на бази вибрација – вибродиагностички модел одржавања ротационих машина
5. Истраживање вибродиагностике техничких система у електранама
6. Резултати истраживања
7. Закључка разматрања
8. Предлог даљих истраживања
9. Литература
10. Прилог

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У првом поглављу „УВОД“ указано је на често постављено питање: „Зашто интегрисани модел одржавања заснован на успостављању законитости промене механичких вибрација“, тј. зашто „вибродијагностичко одржавање машина“.

Потребе за повећањем продуктивности и поузданости ротационих машина, довели су до већег интересовања за моделе вибродијагностичког одржавања. Истраживања кандидата у последњих пет година омогућила су да се прикаже разлика потенцијалних узрочника пада и повишења нивоа поузданости за опрему електроцентрала, за ротационе машине, пре и после примене вибродијагностичког одржавања. Такође, кандидат је показао, да је после примене вибродијагностичког одржавања на турбогенераторима у ТЕ Костолац, ХЕ Газиводе, и Железари Смедерево број отказа смањен у периоду 2013-2017.

Кандидат је истакао да је проблематика, која је истраживана током израде ове дисертације, по својој природи комплекса и повезана са низом појава и процеса, у којој се преплиће више научних области, као што су: машинство, електротехника, мехатроника, аутоматика, информационо-комуникационе технологије и сл., што јој даје мултидисциплинарни карактер.

У другом делу овог поглавља „Досадашња истраживања модела вибродијагностике стања техничких система“, кандидат је на основу проучене савремене домаће и међународне литературе, свеобухватно, систематично и коректно приказао стање у области истраживања, односно дао је преглед релевантних резултата досадашњих истраживања разматране проблематике, који су публиковани у часописима, монографијама, студијама, пројектима и на научним конференцијама. На основу проучене релевантне литературе кандидат је закључио да се резултати досадашњих истраживања углавном односе на уску практичну примену неке од метода дијагностике приликом доношења дијагностичких закључака, а не постоје или су врло ретка истраживања која се односе на пројектовање вибродијагностичког модела који је опште (широко) примењив у оквиру концепције одржавања према стању. Такође, кандидат је закључио да у области одржавања ротационих машина, посебне методе и модели одржавања, које се односе на пројектну организацију ремонта и развој система, примењене су у развијеним земљама где су постигнути значајни резултати у продужењу међуремонтног периода, скраћивању трајања ремонта и смањењу трошкова. Код нас, тренутно не постоји целовит план одржавања ротационих машина на бази вибрација, због чега је мања расположивост и поузданост, а већи трошкови експлоатације и одржавања.

У трећем делу овог поглавља посебно је анализирана вибродијагностика у различитим фазама животног циклуса техничких система као једна од методе контроле без разарања, наука о узроцима појава вибрација и метода њеног елиминисања. При овој су вибрације описане као осцилације са релативно малом амплитудом и не превише ниском фреквенцијом.

У другом поглављу „Методолошки концепт“ детаљно су образложени: проблем и предмет истраживања, циљ истраживања, хипотезе истраживања, методе истраживања, научна и друштвена оправданост истраживања и организација истраживања. Истакнуто је да је основни циљ истраживања спровођење дијагностичких провера стања склопова ротационих машина (контрола вибрација), затим дефинисање оптималне периодичности контроле вибрација као и идентификација оцена и рангирање ризика са становишта прекида радних процеса, сигурности рада и др.

Формирана је главна хипотеза која гласи: „Развијањем интегрисаног модела одржавања заснованог на успостављању законитости промене механичких вибрација моћи ће да се превентивно предвиде појаве неисправности и прогнозира стање ротационих машина“.

Истраживања су вршена у ТЕ Костолац, Хидроелектрани Газиводе и Енергани Железаре Смедерево.

У трећем поглављу „Теоријска истраживања – Концепција и технологија одржавања техничких система“ анализирани су: концепција система одржавања, технологија одржавања, методологије одржавања, дијагностика и поузданост техничких система, основне фазе у развоју техничке дијагностике, вибрације техничких система (померај, брзина и убрзање).

Праћење (контрола) стања (мониторинг) ротационих машина и заштита су уско повезане функције. Међутим, приступ реализацији једног и другог система је сасвим другачији. Предности које се добијају мониторингом су квалитативно значајније од оних које се очекују од заштите. То је углавном због тога што мониторинг треба да буде дизајниран тако да предупреди грешке, док је у суштини класична заштита ретроактивна, реагује након појаве грешке. Праћење (контрола) стања може бити у многим случајевима, такво да обезбеди основну заштиту и откривање развоја отказа у раној фази. Такве информације омогућавају особљу задуженом за одржавање веће могућности у планирању одржавања на основу стања, планирање прекида рада у погодном тренутку што доводи до мањих производних губитака.

Поставља се питање да ли је једноставно то урадити? У првом реду могу да постоје значајни трошкови уградње система мониторинга (контроле) које треба оправдати и дати одговор на питања:

- Какво праћење одабрати (повремено, у предодређеним временским интервалима, или континуирано)?
- Праћења стања могу да генеришу велике количине података, како се ове информације могу најбоље користити а уз најмање трошкова?

Поред овога посебно су анализирани приступи (филозофије или школе) систему одржавања ротационих машина, међу којима се издвајају: одржавање према стању, одржавање према нивоу поузданости, одржавање на бази ризика, тотално одржавање, проактивно одржавање, тотално дијагностичко одржавање и др.

Посебан допринос у овом делу је дефинисање основних фаза у развоју техничке дијагностике (уз праћење вибрација) ротационих машина.

У четвртном поглављу под називом „Развој Интегрисаног модела одржавања на бази вибрација – вибродијагностички модел одржавања ротационих машина“ развијен је модел вибродијагностичког одржавања, који обухвата основне делове: могућности постављања дијагнозе стања машине, техно-економско образложење одговарајућег поступка, процедуре дијагностике, прогноза стања машине, процес промене стања машине (математички апарат одређивања момената контроле вибрација), оптимални трошкови дијагностике вибрација и неисправности техничких система, интегрисани „on – line“ модел контроле стања генератора (алгоритам формирања модела, алгоритам одређивања поузданости ротационих машина), модел аутоматизованог дијагностичког система ротационих машина.

Посебна вредност у развоју интегрисаног модела одржавања на бази вибрација (вибродијагностичко одржавање) је модел прогнозирања техничког стања машина (ретроспекција, дијагностика и прогностика) у оквиру кога је дат математички процес промене стања машина, моменти извођења контроле вибрација, „on-line“ модел контроле стања генератора (алгоритам одређивања поузданости ротационих машина и алгоритам формирања интегрисаног модела одржавања на бази вибрација).

Саставни делови (подмодел) развијеног Интегрисаног модела одржавања на бази вибрација су:

- Процес промене стања машине (поглавље 4.9)
- Дијагностика и прогностика стања машине (поглавље 4.10)
- Оптимизација трошкова дијагностике вибрација и неисправности техничких система (поглавље 4.11)
- Модел дијагностичког одржавања - за вибрације (поглавље 4.12.2)
- Интегрисани „on-line“ модел контроле стања (поглавље 4.12.3)
- Истраживање вибрација турбогенератора изазване уљним филмом у лежајевима (поглавље 5.17)
- Истраживање могућности примене модела вибродијагностичког одржавања и концепт дијагностичког центра (поглавље 6.5)
- Програм контроле ротационих машина коришћењем модела вибродијагностичког одржавања (поглавље 6.6).

У поглављу 4.15 - Приказ резултата мерења и методе анализе вибрација посебно су анализирани Bodeovi и Nyquistovi дијаграми и „Каскадни графикони“.

У петом поглављу „Истраживање вибродијагностике техничких система у електранама“ је наглашено да континуални мониторинг неког процеса односно параметара процеса и машина подразумева стални електронски надзор током рада (у „on-line“ режиму), аутоматско складиштење информација и могућност њихове аутоматске или накнадне анализе. Такође, подразумева и генерисање одређених аларма и њихово прослеђивање до оператера и управљачког система, према одређеној процедури. Континуални мониторинг, односно стално праћење стања машине добија све више на значају.

За генераторе великих снага, које су у средишту процеса производње електричне енергије и производних процеса који користе ту енергију, расте потреба за повећањем ефикасности, безбедности, расположивости и поузданости рада. То захтева праћење њиховог понашања и перформанси у „on-line“ режиму.

Комплетан мониторинг је могуће остварити захваљујући доступности напредне електронике и софтвера помоћу којих се прави моћна инструментација на рачунарима и дигиталном процесуирању сигнала. Проширене су могућности у области анализе стања и визуелизације резултата сложених анализа базираних на мониторингу стања.

Основне области у овом поглављу су: дијагностика и прогностика стања техничких система (статистички приступ, AI приступи, прогностика, преостали корисни животни век), поступци виброакустичких контрола, вибрације узроковане топлотном неизбалансираношћу ротора турбогенератора, вибрације узроковане топлотном ексцентричношћу ротора, вибрације узроковане грешком у спајању и центрирању ротора, вибрације турбогенератора узроковане кратким спојем на ротору, вибрације узроковане неисправним клизним лежајевима, вибрације узроковане губицима динамичке стабилности ротора, мерни систем за мерења вибрација на кућиштима лежајева турбине, мерење вибрација турбогенератора у ТЕ Костолац, мерење вибрација на хидротурбинама у

електрани Газиводе, дијагностика опреме у хидроелектранама интегрисана у SCADA системе, нерасположивост и вибрације хидротурбина, анализа вибрација турбогенератора изазване уљним филмом у лежајевима (нова метода на турбинама у Железари Смедерво), праћење стања и система заштите у електроенергетици, методе техничке дијагностике за анализу стања парних турбина.

За турбогенераторе у ТЕ Костолац дати су Бодеови дијаграми кућишта лежајева, спектралне и временске карактеристике, вредности вибрација [mm/s] при пуном оптерећењу. За хидротурбине у ХЕ Газиводе анализирани су релативне вибрације ротора, орбите релативних померања, померање осе вратила при различитим режимима рада, спектрални приказ апсолутних вибрација и др.

У поглављу „Резултати истраживања“ образложене су могућности примене вибродијагностичког одржавања. Дијаграми просечне расположивости ротационих машина у периоду 24 месеца, пре и после примене вибродијагностичког одржавања показују да се расположивост повећала.

Дијаграми интензитета отказа, после примене вибродијагностичког одржавања добили су приближно константну вредност.

Поред овога, анализирани су индикатори перформанси укупног система, одржавања машина, губици због застоја у производњи проузроковани застојима због оправки машина, однос предузећа према сопственом програму вибродијагностичког одржавања, предности примене предложеног модела вибродијагностичког одржавања, могућности примене модела вибродијагностичког одржавања, предлог формирања дијагностичког центра електране, програм контроле техничких система коришћењем модела вибродијагностичког одржавања, могућности примене математичког модела вибродијагностике на примеру турбогенератора, карактеристичне фреквенције и потенцијални узрочници вибрација техничких система, мерења вибрација на зупчастим редукторима и пумпама, отклањање и анализа дебаланса ротора турбогенератора и склоност ротора ка повишеним нивоима вибрација.

Истраживања у овој дисертацији су свеобухватна и посебно обрађена у поглављима:

- 4.0 - Развој интегрисаног модела одржавања на бази вибрација,
- 5.0 - Истраживање вибродијагностике техничких система у електранама,
- 6.0 - Резултати истраживања,
- 7.0 - Закључна разматрања,

што представља једну интегрисану заокружену сложу целину.

Анализа вибрација, између осталог, се спроводи да би се одговорило на следећа питања:

1. има ли властитих фреквенција у вратилу машине, кућиштима лежајева, кућишту, доводном цевоводу расхладне воде које су блиске фреквенцијама при којима се јављају повећане вибрације?
2. ако постоје потенцијално проблематичне властите фреквенције, да ли ће оне давати додатану побуду машине, или су безбесне јер је пригушење високо или зато што имају нодалне тачке (тачке које се мало или никако не крећу) у близини извора поремећајних сила?
3. јесу ли поремећајне силе изнад нормале без обзира да ли постоје или не постоје резонантне властите фреквенције?

Као додатак експерименту, детаљна пост - експериментална нумеричка анализа може помоћи ако одговара на питања 2 и 3, комбинујући податке о фази и амплитуди са великог броја мерних места (обично од 20 до 50).

У поглављу „Закључна разматрања“ анализиран је привредни, теоријски, друштвени и научни допринос истраживања. Поред овога дата је функционална зависност трошкова производње и трошкова за контролу нивоа вибрација, затим је предложен алгоритам имплементације вибродијагностичког одржавања, као и формирање програма одржавања за одељење турбинског постројења. Тиме је доказана главна хипотеза.

Резултати истраживања се огледају у следећем:

- предложен је нов приступ одржавању ротационих машина, односно интегрисани модел одржавања на бази вибрација (математички модел за процену стања машина на основу вибрација),
- развијен је модел за анализу вибрација у зависности од геометријског облика постелице клизног лежаја турбине,
- извршена је компаративна анализа, односно утврђене су сличности и разлике између већ реализованих модела дијагностике машина у циљу пројектовања најоптималнијег модела аутоматизоване дијагностике ротационих машина,
- предложена је тенденција развоја вибродијагностичких модела у будућности,
- презентована су бројна истраживања кандидата публикована у врхунским међународним часописима.

У поглављу „Предлог даљих истраживања“ образложене су могућности и потребе за наставком истраживања и дати предлози за развој следећих генерација дијагностичких и прогностичких система који ће се фокусирати на шире

аспекте непрекидног праћења стања ротационих машина уз помоћ телеаутоматизације.

У поглављу „Литература“ наведен је списак литературе, која је коришћена током израде докторске дисертације.

## **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01.јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

### **I) Радови објављени у часописима међународног значаја [M23]**

1. **Вуловић, С.**, Радовановић, Љ., Толмач, Ј., Савић, Н., Спасић, Д., Отић, Г., Increasing reliability level in thermal power plants Kostolac using integrated maintenance model on vibrations, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, UESB - 2017 - 0048, (Original Papers), SAD
2. **Вуловић, С.**, Меза, С., Јосимовић, Љ., Спасић, Д., Адамовић, Ж., Јањић, З., Integrated maintenance model based on control of turbogenerator vibrations in thermal power plants Kostolac, Journal of the Balkan Tribological Association, Book 3, Vol. 23, 2017, Sofia, Bulgaria
3. **Вуловић, С.**, Отић, Г., Радовановић, Љ., Адамовић, Ж., Спасић, Д., Vibrations of turborotor aggregate Smederevo iron works caused by oil film bearings, Journal of the Balkan Tribological Association, Book 4, Vol. 22, 2016. Sofia, Bulgaria
4. **Вуловић, С.**, Јевтић, Н., Спасић, Д., Ивић, М., Адамовић, Ж., Mathematical model of the system for regulation of rolling thickness on five strands twin train, Journal of the Balkan Tribological Association, Book 2, Vol. 22, br. 3, str. 2227 – 2274, 2016, Sofia, Bulgaria
5. Станковић, Н., **Вуловић, С.**, Адамовић, Ж., Милисављевић, Б., Ашоња, А., Вуловић, М., Model of five states and its implementations to reliability and steam turbines, Journal of the Balkan Tribological Association Vol. 23, No. 3, 2017, Sofia, Bulgaria
6. Вуковић, В., **Вуловић, С.**, Ивић, М., Вуловић, М., Вуковић, М., Адамовић, Ж., New software for the simulation of Reliability level increase of power plants, Journal of the Balkan Tribological Association, Book 1, Vol. 23 (2017), Sofia, Bulgaria
7. Куцора, И., Радовановић, Љ., Милошевић, Д., **Вуловић, С.**, Ковачевић, М., Отић, Г., Адамовић, Ж., Increasing Safety of Power Plant Using a New Model of Reliability (UESB-2016-0082; DOI: 1080/15567249.2016.1185481), Energy Sources, Part B, WY 82070-7808, Laramie, USA

### **II) Саопштење са међународног скупа [M33]**

1. **Вуловић, С.**, Спасић, Д., Вуловић, М., Радовановић, Љ., Отић, Г., Vibrodiagnostic automated systems, 25th International Conference “Noise and Vibration”, University of Niš, University of Timisoara, Tara, 27-29.10.2016
2. Спасић, Д., **Вуловић, С.**, Вуловић, М., Отић, Г., Радовановић, Љ., Vibrations as parameter sheet of machine, 25th International Conference “Noise and Vibration”, University of Timisoara, Tara, 27-29.10.2016

### **III) Националне монографије, тематски зборници [M42]**

1. Адамовић, Ж., Илић, Б., **Вуловић, С.**, Станковић, Н., Вуловић, М., Техничка дијагностика електрана и топлана, Друштво за Техничку Дијагностику Србије, Београд, 2014 (ISBN 978-86-83701-33-9), 394 стр.
2. Адамовић, Ж., Савић, Н., Петров, Т., Пауњорић, П., **Вуловић, С.**, Реструктурирање и препројектовање одржавања техничких система, Друштво за Техничку Дијагностику Србије, Београд, 2014 (ISBN 978-86-83701-31-5), 306 стр.
3. Адамовић, Ж., **Вуловић, С.**, Вуловић, М., Милошевић, Д., Reliability and maintenance of machines and facilities, IOS, Press, Amsterdam, 2015 (ISBN 1 58684 392-5), 143 стр.
4. Адамовић, Ж., Илић, Б., Вуловић, М., **Вуловић, С.**, Предиктивно и проактивно одржавање машина, Српска академија енергетске ефикасности, Лозница, 2016 (ISBN 978-86-800270-0-5), 215 стр.
5. Адамовић, Ж., Јосимовић, Љ., **Вуловић, С.**, Илић, Б., Спасић, Д., Вибродијагностичко одржавање техничких система, Друштво за Техничку Дијагностику Србије, Београд, 2016 (ISBN 978-86-83701-39-1), 259 стр.

#### IV) Радови и часописима националног значаја [M52]

- 1) Илић, Б., Адамовић, Ж., **Вуловић, С.**, Вуловић, М., Поређење резултата примене појединих модела аутоматизоване дијагностике и заштите електроенергетских система, Часопис Техничка дијагностика, Vol. XV, бр. 4, 55-61 стр., 2015, Београд (ISSN 1451-1975)
- 2) **Вуловић, С.**, Адамовић, Ж., Ђурић, Ж., Палинкаш, И., Модел дијагностичког одржавања у електранама и топланама, Часопис Техничка дијагностика, Vol. XIV, бр. 1, (30 – 38), 2015, Београд (ISSN 1451-1975)
- 3) Борић, С., **Вуловић, С.**, Адамовић, Ж., Узроци настанка вибрација сложених техничких система у електранама, Часопис Техничка дијагностика, Vol. XV, бр. 1, (27 – 34), 2016, Београд (ISSN 1451-1975)

#### V) Радови и часописима националног значаја [M53]

- 1) Воскресенски, В., Кењић, З., **Вуловић, С.**, Мобилни агенти у даљинском праћењу стања система, Часопис Техничка дијагностика, бр. 3, 2013, Бања Лука (ISSN 1840-4898)
- 2) Адамовић, Ж., **Вуловић, С.**, Бурсаћ, Ж., Техничко одржавање и енергетска ефикасност у индустрији, Часопис Менаџмент знања, бр. 1, пп 44-51, 2014, Смедерево (ISSN 1452-9661)
- 3) Спасић, Д., **Вуловић, С.**, Отић, Г., Меза, С., Оштећења лежајева турбогенератора узрокована лутајућом струјом, Часопис Одржавања машина, бр. 1, стр. 32-36, 2015, Смедерево, (ISSN 1452-9668)
- 4) Меза, С., **Вуловић, С.**, Спасић, Д., Узроци повећања вибрација турбогенератора, Часопис Одржавање машина, бр. 1, година XI, стр. 44-48, 2015, Смедерево (ISSN 1452-9688)
- 5) **Вуловић, С.**, Станков, С., Борић, С., Јањић, Н., Дијагностика и поузданост техничких система, Часопис Одржавање машина, бр. 1, стр. 40-46, 2016, Смедерево (ISSN 1452-9688)
- 6) **Вуловић, С.**, Вуловић, М., Петров, Т., Адамовић, Ж., Интегрисани модел одржавања заснован на контроли стања турбо и хидро генератора на бази вибрација, Часопис „Одржавање машина“, 2017, Смедерево (ISSN 1452-9688)
- 7) **Вуловић, С.**, Савић, Н., Вуловић, М., Адамовић, Ж., Отклањање повишеног нивоа вибрација – дебаланса турбогенератора, Часопис „Одржавање машина“, 2017, Смедерево (ISSN 1452-9688)

## VI) Зборници скупова националног значаја [M63]

- 1) **Вуловић, С.**, Методе прорачуна параметара Вејбулове расподеле, XXXVIII Мајски скуп одржавалаца Србије, Врњачка Бања, 2013, (ISBN 978-86-83701-30-8),
- 2) Меза, С., Спасић, Д., **Вуловић, С.**, Вуловић, М., Мерење вибрација хидрогенератора на бази бесконтактних сензора, XI Конференција „Техничка дијагностика термоелектрана, соларних електрана, топлана и хидроелектрана“ (Зборник радова), Врњачка Бања, 2014, (ISBN 978-86-83701-32-2)
- 3) Адамовић, Ж., Вуловић, М., **Вуловић, С.**, Основни дијагностички параметри у контроли електрана и топлана, XI Конференција „Техничка дијагностика термоелектрана, соларних електрана, топлана и хидроелектрана“ (Зборник радова), Врњачка Бања, 2014, (ISBN 978-86-83701-32-2)
- 4) Адамовић, Ж., Вуловић, М., **Вуловић, С.**, Примена модела четири стања по Маркову у електранама и топланама, XI Конференција „Техничка дијагностика термоелектрана, соларних електрана, топлана и хидроелектрана“ (Зборник радова), Врњачка Бања, 2014 (ISBN 978-86-83701-32-2)
- 5) Меза, С., Спасић, Д., **Вуловић, С.**, Организација службе за техничку дијагностику, XI Конференција „Техничка дијагностика електрана, топлана и хидроелектрана“ (Зборник радова), Врњачка Бања, 2014 (ISBN 978-86-83701-32-2)
- 6) **Вуловић, С.**, Вуловић, М., Адамовић, Ж., Модел дијагностичког одржавања машина, III Научно-стручни скуп „Енергетска ефикасност“, Висока техничка школа струковних студија у Београду (Зборник радова), 2015, Београд (ISSN 2334914X)
- 7) Вуловић, М., **Вуловић, С.**, Адамовић, Ж., Поузданост и Проактивно одржавање, XXXVIII Мајски скуп одржавалаца Србије (Зборник радова), Врњачка Бања, 2015, (ISBN 978-86-83701-36-0)
- 8) **Вуловић, С.**, Отић, Г., Мирчевски, М., Задаци техничке дијагностике, XXXVIII Мајски скуп одржавалаца Србије (Зборник радова), Врњачка бања, 2015, (ISBN 978-86-83701-36-0) (ISBN 978-86-83701-38-4)
- 9) Вуловић, М., **Вуловић, С.**, Адамовић, Ж., Индикатори перформанси одржавања машина XXXVIII Мајски скуп одржавалаца Србије (Зборник радова), Врњачка бања, 2015, (ISBN 978-86-83701-36-0)
- 10) **Вуловић, С.**, Вуловић, М., Адамовић, Ж., Поузданост и Проактивно одржавање ротационих машина, III Научно-стручни скуп „Енергетска ефикасност“ (Зборник радова), Висока стручна школа струковних студија, Београд, 2015, (ISSN 2334914X)
- 11) Меза, С., Спасић, Д., **Вуловић, С.**, Примена безконтактних сензора у хидроенергетици, III Научно-стручни скуп „Енергетска ефикасност“ (Зборник радова), Висока стручна школа струковних студија, Београд, 2015, (ISSN 2334914X)
- 12) **Вуловић, С.**, Вуловић, М., Адамовић, Ж., Модел дијагностичког одржавања, XXXVIII Мајски скуп одржавалаца Србије (Зборник радова), Врњачка Бања, 2015, (ISBN 978-86-83701-36-0)
- 13) **Вуловић, С.**, Адамовић, Ж., Ђурић, Ж., Палинкаш, И., Нови модел дијагностичког одржавања у електранама и топланама, III Научно-стручни скуп „Енергетска ефикасност“ (Зборник радова), Висока техничка школа струковних студија, Београд, 2015, (ISSN 2334914X)
- 14) Вуловић, М., **Вуловић, С.**, Адамовић, Ж., Утврђивање узрока неисправности техничких система, XXXVIII Мајски скуп одржавалаца Србије (Зборник радова), Врњачка Бања, 2015, (ISBN 978-86-83701-36-0)
- 15) Вуловић, М., Адамовић, Ж., Јовановић, Д., **Вуловић, С.**, Дијагностика вибрационог стања хидротурбина применом метода вештачке интелигенције, Мајски скуп одржавалаца Србије (Зборник радова), Врњачка



Бања, 2016, (ISBN 978-86-83701-43-8)

- 16) **Вуловић, С.**, Адамовић, Ж., Станков, С., Дијагностика и поузданост техничких система, Мајски скуп одржавалаца Србије (Зборник радова), Врњачка Бања, 2016, (ISBN 978-86-83701-43-8)
- 17) Станков, С., **Вуловић, С.**, Борић, С., Структура информационог система одржавања, Мајски скуп одржавалаца Србије (Зборник радова), Врњачка Бања, 2016, (ISBN 978-86-83701-43-8)
- 18) **Вуловић, С.**, Адамовић, Ж., Вибродијагностика техничких система у термоелектранама, Мајски скуп одржавалаца Србије (Зборник радова), Врњачка Бања, 2016, (ISBN 978-86-83701-43-8)
- 19) **Вуловић, С.**, Праћење стања и система заштите у електроенергетици, Симпозијум „Вибродијагностичко и трибодијагностичко проактивно одржавање“ (Зборник радова), Врњачка Бања, 2016, (ISBN 978-86-83701-43)
- 20) **Вуловић, С.**, Дијагностика и прогностика стања машине, Симпозијум „Вибродијагностичко и трибодијагностичко проактивно одржавање машина“, Врњачка Бања, 2016, (ISBN 978-86-83701-45-2)
- 21) **Вуловић, С.**, Модел оптималних трошкова дијагностике вибрација и неисправности техничких система, Симпозијум „Вибродијагностичко и трибодијагностичко проактивно одржавање машина“, Врњачка Бања, 2016, (ISBN 978-86-83701-45-2)
- 22) **Вуловић, С.**, Процес промене стања техничких система, Симпозијум „Вибродијагностичко и трибодијагностичко проактивно одржавање машина“, Врњачка Бања, 2016, (ISBN 978-86-83701-45-2)
- 23) **Вуловић, С.**, Активности вибродијагностичког одржавања као проценат укупне активности одржавања, Симпозијум „Вибродијагностичко и трибодијагностичко проактивно одржавање машина“, Врњачка Бања, 2016, (ISBN 978-86-83701-45-2)
- 24) **Вуловић, С.**, Вуловић, М., Јосимовић, Љ., Адамовић, Ж., Вибрације на лежајевима хидроелектране Газиводе, Мајски скуп одржавалаца Србије, „Бука, вибрације и проактивно одржавање машина“, Врњачка Бања, 2017
- 25) **Вуловић, С.**, Вуловић, М., Петров, Т., Спасић, Д., Јосимовић, Љ., Анализа вибрација пумпи, Мајски скуп одржавалаца Србије, „Бука, вибрације и проактивно одржавање машина“, Врњачка Бања, 2017
- 26) **Вуловић, С.**, Вуловић, М., Петров, Т., Савић, Н., Адамовић, Ж., Оцена вибрационог стања генератора, Мајски скуп одржавалаца Србије, „Бука, вибрације и проактивно одржавање машина“, Врњачка Бања, 2017

## VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Спроведена истраживања поступака вибродијагностике пружају низ значајних резултата који у великом степену омогућавају боље сагледавање проблема и начина решавања Интегрисаног модела одржавања заснованог на успостављању законитости промене механичких вибрација у фази праћења (контроле) стања ротационих машина. Научни допринос ове дисертације се огледа у извршеној анализи параметара који се користе у моделима за одређивање вибродијагностичког стања делова ротационих машина као и бројних фактора условљених при коришћењу ових модела. Такође, модел одређује оптимални период поступака извођења вибродијагностике стања ротационих машина.

Сигурност функционисања (поузданост, расположивост и погодност одржавања) је одређена увођењем алгоритама вибродијагностике, описује процедуре добијања референтних кривих сигурности за случај праћења (контроле) стања делова генератора са поступцима технологије превентивног одржавања према стању и без њих. Применом предложеног интегрисаног модела одржавања на бази вибрација (вибродијагностичко одржавање) остварују се следећи циљеви:

- 1) спречавање оштећења и хаварија на техничким ротационим системима (генераторима),
- 2) on-line праћење стања (и прогнозирања) са аспекта повећања вибрација, оптерећења и замора материјала,

- 3) повећања укупне расположивости (и готовости) техничких система,
- 4) смањења броја отказа и времена застоја потребних у циљу спровођења редовних ремонта,
- 5) смањења трошкова одржавања по јединици произведеног мегавата струје,
- 6) прелазак са превентивног на предиктивно (проактивно) одржавање са основном битном карактеристиком да је одржавање засновано на вибродијагностици стања техничких система врло могуће,
- 7) повећање безбедности особља које је задужено за оперативну готовост техничких система,
- 8) пројектовање програма имплементације вибродијагностичког одржавања техничких система у електранама,
- 9) применом вибродијагностичког модела одржавања уз примену експертских знања радника у служби одржавања продужава се животни век ротационе машине и иста доводи у стабилно стање, при чему се поштују све ревизорске препоруке о стању перформанси поузданости, расположивости, погодности одржавања и логистичке подршке у одржавању.

Вибродијагностички модел одржавања ротационих машина је обухватан и у потпуности је остварио циљеве истраживања и захтеве постављене хипотезе. Модел је адаптиван и представља допринос даљем развоју функције одржавања и треба да је парадигма одржавању ротационих машина.

Формирањем програма одржавања електроцентрала могу се формирати и други модели одржавања за све техничке системе, као што је:

- 1) Одржавање са контролом нивоа поузданости,
- 2) Одржавање на бази ризика,
- 3) Тотално одржавање и др.

На овај начин се могу постићи велике уштеде трошкова експлоатације и одржавања свих техничких система у електроцентрали, повисити ниво поузданости и расположивости целе електроцентралне, повећати број планираних послова, смањити оштећења делова техничких система, повисити ниво мотивисаности радника за рад и др.

Посебан део закључака наведен је у поглављу „Анализа дебаланса и склоност ротора турбогенератора услед повишења нивоа вибрације „где су дефинисани поступци балансирања, откривања узрока вибрација и изналажење (откривање) вибрација турбогенератора.

Део резултата истраживања добијених изградом ове дисертације презентован је у монографијама и радовима који су публиковани у часописима и конференцијама међународног и националног значаја.

На основу резултата истраживања и њиховог критичног разматрања изведени су релевантни закључци који су дали јасне одговоре на постављене циљеве истраживања, односно који указују на потребу дијагностике виталних делова савремених ротационих машина у индустрији у циљу повишења нивоа поузданости и расположивости истих. Ови резултати истраживања представљају добру основу за даља истраживања у научној области вибродијагностике.

За потпуну дијагнозу о вибрацијском стању турбогенератора треба, упоредо са вибрацијом лежаја, мерити осцилације ротора по дужини на местима која су доступна. Материјали таквих мерења представљају велику драгоценост при решавању питања о потпунијем и правилном нормирању вибрације турбогенератора. Распон осцилација контактних прстенова (карика), које се налазе на конзолном делу ротора генератора не треба да премашују 290  $\mu\text{m}$ .

Приликом оцене вибрацијског стања турбогенератора треба обратити пажњу на ниво вибрације лежишта и вратила на читавом дијапазону брзина, које су пролазне при њиховом пуштању и заустављању. Вибрацијско стање турбогенератора може се окарактерисати потпуно задовољавајућим, ако на критичним брзинама двојна амплитуда осцилација лежишта не премашује 55  $\mu\text{m}$ , а вратила на изласку из лежишта 155  $\mu\text{m}$ .

Ако мерна средства омогућавају да се непосредно измери еквивалентна вибробрзина или да се изврши амплитудно - ферквентна анализа полихармонијске вибрације, корисно је оценити ниво вибробрзине. То даје допунске основе за доношење одлуке о неопходности обављања радова на побољшању вибрацијског стања турбогенератора. Ако вибрација бар једног од лежишта турбине или генератора имају нискоферквентну компоненту са распоном који прелази 18  $\mu\text{m}$ , онда се вибрацијско стање турбогенератора потврђује као незадовољавајуће.

Оцењујући ниво вибрације турбогенератора, потребно је узимати у обзир вибрацијско стање фундамента. Вибрацијско стање турбогенератора може се потврдити задовољавајућим, ако амплитуда осцилација горњег склопа фундамента (изузимајући конзолне делове) чини не више од 0,25 - 0,45 од амплитуде вибрације лежишта.

Резултати су показали да су најчешћи узроци настанка вибрација подељени у различитим научним дисциплинама. Најзначајнији узроци настанка вибрација могу се базирати на следећим основама: динамички поремећаји, поремећаји механичког карактера, електромагнетне силе као узрок вибрација, слабљење карактеристика система (конструкција, карактеристике материјала итд.), резонантне појаве двојне обртне ферквенције, побудне нискоферквентне вибрације.

Најзначајнији резултати на пољу неутралисања и отклањања вибрација добијени су експерименталним истраживањима применом различитих метода: уравнотежењем ротора, динамичким апсорбовањем вибрација, методом вишеравног уравнотежења, топлотним балансирањем.

Свим наведеним истраживањима доказана је радна хипотеза јер су добијени резултати који су показали сврисходност добијених резултата на пољу смањења вибрационог дејства турбогенератора у термоенергетским системима.

Карактеристике брзина представљају се у облику графика зависности амплитуде и фазе вибрације истраживаног елемента у зависности од брзине обртања ротора. Посебан акценат се ставља на промену осцилација обртне фреквенције. Због тога је потребно приликом обраде резултата мерења двојне амплитуде и фазе обртне фреквенције да буду извојене, путем вибромерног апарата у поступку самог мерења.

На основу анализе временских зависности могу бити конструисани графикони функционалних зависности. Ови графикони повезују промену неког од параметара вибрације са променом одређеног режимског фактора.

## **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Излагање у овој дисертацији у потпуности је везано за циљ истраживања у складу са образложењем наведеним у пријави дисертације. Резултати су приказани систематично, јасно и прегледно уз више приказа табеларно, графички, нумерички и текстуално и при томе упоређивани са резултатима других сличних истраживања.

Начини обраде добијених резултата истраживања указују на адекватан приказ и тумачење остварених резултата. Подробнијом анализом резултата истраживања до којих је кандидат дошао може се закључити следеће: да између постављене хипотезе и предмета истраживања постоје непосредне и посредне везе, са научним циљевима хипотезе су у непосредној вези, између хипотезе и научних истраживања постоје непосредне и посредне везе и између хипотезе и научне оправданости истраживања постоји посредна веза.

Сви делови дисертације и поглавља унутар тих делова, чине организациону целину и на један логичан начин прате све активности које су реализоване у склопу истраживања. Сва поглавља дисертације су усклађена међусобно.

Кандидат је конципирао оригиналне моделе и у процесу истраживања дошао до оригиналних закључака, тако да се дисертација одликује оригиналношћу.

Добијени резултати представљају научну и друштвену анализу од посебног значаја за унапређење поступака проактивног одржавања машина. Суштина оптимизације радних параметара машине, дијагностичким путем, добија се шири пресек основног динамичког стања, што ће представљати објективну оцену стања, на бази које би се могли предузети правци могућих интервенција одржавања.

Методолошки посматрано, дисертацију одликује стручно-научна методологија. Јасноћа у изражавању допринела је да и сложена питања буду изложена на једноставан и разумљив начин. Кандидат је нашао праву меру начина приказа, обима и тумачења резултата истраживања.

Релевантна научна литература која је коришћена у дисертацији је приказана на коректан начин, са потребним цитирањем и интерпретацијама које јасно идентификују излагање кандидата од цитираних аутора.

**Сагласно овим чињеницама, Комисија позитивно оцењује начин на који је кандидат приказао и тумачио добијене резултате истраживања и сматра да у потпуности одговара карактеру проблема који је у овој дисертацији решаван. Начин приказа и тумачења резултата истраживања су научно утемељени.**

## **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли

она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

**Докторска дисертација је, у потпуности, написана у складу са образложењем које је наведено у пријави теме.**

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

**Докторска дисертација својим насловом, садржајем, резултатима истраживања и начином тумачења тих резултата садржи све битне елементе који се захтевају за радове овакве врсте.**

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Оригиналност ове докторске дисертације произилази из чињенице да је кандидат на основу теоријско-емпиријских истраживања развио Интегрисани модел одржавања заснован на успостављању законитости промене механичких вибрација. При томе је посебно тежио да дефинише антиципацију стања ротационих машина. Суштина дисертације није начин и методе контроле вибрација већ формирање Интегрисаног модела одржавања ротационих машина са неколико саставних делова (подмодела).

У развијеном моделу одржавања анализирано је више склоности ка појави вибрација укључујући и склоност ка појави дебаланса.

Интегрисани модел одржавања на бази вибрација, развијен је кроз седам подмодела.

Врло студиозном анализом и синтезом дошло се до оригиналних закључака и нових сазнања, односно доказа да развијени модел одржавања доприноси повишењу нивоа поузданости и расположивости ротационих машина у електранама, што доводи и до поузданијег целог електроенергетског система у Србији.

Теоријски допринос ове докторске дисертације се огледа у томе што је проучавањем релевантне домаће и међународне литературе извршена синтеза бројних сазнања до којих су дошли еминентни стручњаци у овој области, тако да ова дисертација представља и значајан прилог литератури, јер је недовољан број радова који се баве овом проблематиком.

Привредни допринос истраживања која су спроведена током израде ове дисертације огледа се у добијеним резултатима који представљају значајан допринос за праксу и науку при решавању конкретних проблема у области вибродијагностике и одржавања ротационих машина у електранама. Развијени интегрисани модел одржавања, на бази контроле вибрације тзв. вибродијагностички модел има могућности примене у електроцентрима наше земље, што ће допринети да се и у индустрији примењују светски стандарди и прате трендови у области дијагностике и одржавања техничких система.

Развијени модел одржавања, уз мање модификације, има могућности примене и у другим гранама привреде, што ће допринети унапређењу постојеће праксе одржавања ротационих техничких система.

Научни допринос истраживања, између осталог, се односи на математичко дефинисање промене стања, дијагностику и прогностику стања ротационих машина контролом вибрација. Поред овога, посебно је развијен модел за анализу вибрација изазваних уљним филмом у лежајевима турбогенератора, јер је то до данас још недовољно истражен проблем.

Развијен је подмодел оптимизације трошкова дијагностике вибрација и неисправности ротационих машина. Такође, развијен је и посебан модел „дијагностичко одржавање - подмодел за вибрације“.

Истраживањем техничких система у електранама, у периоду од 16 месеци, добијени су врло поуздани подаци за интензитете отказа ( $\lambda(t)$ ) турбина.

Применом концепта вибродијагностичког одржавања остварују се следећи витални циљеви:

- спречавања оштећења и хаварија на техничким системима (генераторима и др.),
- on - line праћење стања ротационих машина са аспекта повећања вибрација, оптерећења и замора материјала,
- повећање укупне расположивости ротационих система,
- смањење броја отказа и времена застоја потребних у циљу спровођења редовних ремонта,
- оптимално планирање застоја ради корективних активности одржавања,
- смањење потребних резервних делова и залиха истих.

Односно:

- прелазак са превентивног на предиктивно (проактивно) одржавање, са основном битном карактеристиком да је одржавање засновано на вибродијагностици стања постројења, где се активности своде на корективне мере према претходно тачно дефинисаном програму. Вибродијагностика постаје саставни део, односно основа одржавања;
- повећање безбедности особља, дошколавање и обука особља које је задужено за оперативну готовост ротационих машина;

Истраживања у овој дисертацији допринела су да се може развити програм имплементације вибродијагностичког одржавања у индустрији, за период од 2,5 године.

Друштвени допринос ових истраживања се огледа у њиховој широкој друштвеној актуелности и значају, јер напредак науке и технике значајно утичу на економски и укупни друштвени развој и прогрес. Оваква истраживања доприносе смањењу трошкова одржавања, смањењу потрошње енергије а тиме и смањењу укупних трошкова и економичнијем пословању наших предузећа, чиме се конкурентност индустрије и привреде наше земље може подићи на виши ниво. Такође, оваква истраживања доприносе смањењу опасности за људе и заштити животне средине и сл.

**Комисија сматра да резултати истраживања до којих је кандидат дошао показују да његова докторска дисертација представља оригиналан допринос науци у области дијагностике и одржавања ротационих машина у електропривреди Србије.**

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

**Комисија сматра да дисертација нема недостатака.**

Комисија је прегледала Извештај о подударности и није констатовала никакве неправилности. У дисертацији су коришћене опште прихваћене теорије које се користе у научној области из вибрација.

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу укупне оцене дисертације, Комисија предлаже:

Да Наставно-научно веће Техничког факултета „Михајло Пупин“ у Зрењанину прихвати докторску дисертацију под називом „Интегрисани модел одржавања заснован на успостављању законитости промене механичких вибрација и његов утицај на прогностику стања ротационих машина“ и да се кандидату Стевану М. Вуловићу одобри јавна одбрана.

## ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

---

Проф. др Славица Првуловић, ред. проф.,  
Председник комисије

---

Проф. др Бранко Шкорић, ред. проф.,  
члан 1

---

доц. др Владимир Шиник  
члан 2

---

доц. др Љиљана Радовановић  
члан 3

---

Проф. др Живослав Адамовић, ред. проф.,  
ментор



**JOURNAL OF THE BALKAN  
TRIBOLOGICAL ASSOCIATION**

scientific  
**SC** bulgarian  
communications  
Co., Ltd.

**Prof., DSc. S.K.Ivanov**  
**Editor-in-Chief**  
***Journal of the Balkan  
Tribological Association***  
**PO Box 249**  
**7 Nezabravka Street**  
**1113 Sofia**  
**BULGARIA**  
**Tel/Fax: +359 28 72 42 65; 978 72 12;**  
**+359 897 524 944**  
E-mail: [scibulcom2@abv.bg](mailto:scibulcom2@abv.bg)

**To:** *MSc. Stevan Vulovic*  
*Public Enterprise Electric*  
*Distribution Serbia*  
*35 258 Zubin Potok*  
  
*Donje Varage Str.*  
  
*Republic of Serbia*

***JOURNAL OF THE BALKAN TRIBOLOGICAL ASSOCIATION***

It is a pleasure to inform you that your manuscript entitled:  
“INTEGRATED MAINTENANCE MODEL BASED ON CONTROL OF  
TURBOGENERATOR VIBRATIONS IN THERMAL POWER PLANTS  
KOSTOLAC” by S. VULOVIC, S. MEZA, LJ.JOSIMOVIC, D.M.  
SPASIC, Zh. ADAMOVIC, Z. JANJIC is accepted for publication and  
will be included in book 3, Vol. 23 (2017) of J Balk Tribol Assoc.

The Journal has been awarded by ISI Thomson-Reuters with Impact  
Factor 0.737 for 2015.

20.03.2017.

Editor-in-Chief

(Prof. DSc. S.K.Ivanov)





JOURNAL OF THE BALKAN  
TRIBOLOGICAL ASSOCIATION

Scientific  
Bulgarian  
SCB communications  
Co., Ltd.

**Prof., DSc. S.K.Ivanov**  
**Editor-in-Chief**  
**Journal of the Balkan**  
**Tribological Association**  
**PO Box 249**  
**7 Nezabravka Street**  
**Tel/Fax: 872 42 65; 978 72 12;**  
**1113 Sofia**  
**BULGARIA**  
**Tel/Fax: 872 42 65; 978 72 12;**  
**0897 524 944**  
E-mail: [scibulcom2@abv.bg](mailto:scibulcom2@abv.bg)

To: *Mr Stevan Vulović*

*Electricity Company Serbia, Zubin potok*  
*Zubin Potok*

**Serbia**

**JOURNAL OF THE BALKAN TRIBOLOGICAL ASSOCIATION**

RECEIPT

This is to certify that I have received the necessary financial commitment, for the publication of paper with Ref. No 1519/14.03.2016. entitled: "VIBRATIONS OF TURBO ROTOR AGGREGATE SMEDEREVO IRON WORKS CAUSED BY OIL FILM IN BEARINGS" by S.VULOVIĆ, G. OTIĆ, LJ. RADOVANOVIĆ, Ž. ADAMOVIĆ D. SPASIĆ, I. KUCARA, dis accepted for publication and will be included in book 4, Vol. 22 (2016) of J Balk Tribol Assoc. The Journal has been awarded by ISI Thomson-Reuters with Impact Factor 0.443 for 2014.

10.06.2016

Editor-in-Chief

(Prof., DSc. S.K.Ivanov)







JOURNAL OF THE BALKAN  
TRIBOLOGICAL ASSOCIATION

scientific  
**SC** bulgarian  
communications  
Co., Ltd.

**Prof., DSc. S.K.Ivanov**  
**Editor-in-Chief**  
**Journal of the Balkan**  
**Tribological Association**  
**PO Box 249**  
**7 Nezabravka Street**  
**1113 Sofia**  
**BULGARIA**  
**Tel/Fax: 872 42 65; 978 72 12;**  
**0897 524 944**  
E-mail: [scibulcom2@abv.bg](mailto:scibulcom2@abv.bg)

To: *Mr. Stevan Vulovic*  
*Electricity Company*  
*Zubin Potok*

SERBIA

**JOURNAL OF THE BALKAN TRIBOLOGICAL ASSOCIATION**

It is a pleasure to inform you that your manuscript entitled  
"MATHEMATICAL MODEL OF THE SYSTEM FOR REGULATION OF  
ROLLING THICKNESS ON FIVE STRANDS TWIN TRAIN" by  
S.VULOVIĆ, N. JEVTIĆ, D. SPASIĆ, M. IVIĆ, Z. JANJIĆ,  
Ž. ADAMOVIĆ is accepted for publication and will be included in book 2,  
Vol. 22 (2016) of J Balk Tribol Assoc.

The Journal has been awarded by ISI Thomson-Reuters with Impact  
Factor 0.443 for 2014.

28.01.2016

Editor-in-Chief

(Prof., DSc. S.K.Ivanov)





JOURNAL OF THE BALKAN  
TRIBOLOGICAL ASSOCIATION

scientific  
Bulgarian  
**SC** communications  
Co., Ltd.

**Prof., DSc. S.K.Ivanov**  
**Editor-in-Chief**  
**Journal of the Balkan**  
**Tribological Association**  
**PO Box 249**  
**7 Nezabravka Street**  
**1113 Sofia**  
**BULGARIA**  
**Tel/Fax: +359 28 72 42 65; 978 72 12;**  
**+359 897 524 944**  
E-mail: [scibulcom2@abv.bg](mailto:scibulcom2@abv.bg)

To: *MSc. Nenad M. Stankovic*  
*Higher Education Technical*  
*School of Professional Studies*  
*1, Skolska Str.*

*21 000 Novi Sad*

*Republic of Serbia*

**JOURNAL OF THE BALKAN TRIBOLOGICAL ASSOCIATION**

It is a pleasure to inform you that your manuscript entitled: " MODEL OF FIVE STATES AND ITS IMPLEMENTATIONS TO RELIABILITY AND STEAM TURBINES" by N.M. STANKOVIC, ST. M. VULOVIC, Zh. Z. ADAMOVIĆ, B.M. MILISAVLJEVIĆ, A.A.ASONJA, M.S. VULOVIC is accepted for publication and will be included in book 3, Vol. 23 (2017) of J Balk Tribol Assoc.

The Journal has been awarded by ISI Thomson-Reuters with Impact Factor 0.737 for 2015.

17.03.2017.

Editor-in-Chief

(Prof., DSc. S.K.Ivanov)



**Energy Sources**  
**Part B: Economics, Planning, and Policy**  
Editor: Dr. James G. Speight

May 2, 2016

Professor Ljiljana Radovanović,  
University in Novi Sad,  
Technical Faculty Mihajlo Pupin,  
Zrenjanin,  
Serbia

Dear Professor Radovanović:

Your Paper "Increasing Safety of Power Plant Using a New Model of Reliability" (UESB-2016-0082; DOI: 10.1080/15567249.2016.1185481) co-authored by Istvan Kucora, Ljiljana Radovanović, Dragan Milosevic, Stevan Vulovic, Miodrag Kovacevic, Goran Otic, and Zivoslav Adamovic has been accepted for publication in *Energy Sources, Part B*.

Thank you for your interest in the journal.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'James G. Speight', with a stylized flourish at the end.

Dr. James G. Speight  
2476 Overland Road,  
Laramie,  
WY 82070-4808, USA  
Tel: 307-745-6069  
Fax: 307-721-3128  
E-mail: JamesSp8@aol.com  
Web page: <http://www.drjamesspeight.qpg.com>



JOURNAL OF THE BALKAN  
TRIBOLOGICAL ASSOCIATION

scientific bulgarian  
communications  
Co., Ltd.

**Prof., DSc. S.K.Ivanov**  
**Editor-in-Chief**  
**Journal of the Balkan**  
**Tribological Association**  
**PO Box 249**  
**7 Nezabravka Street**  
**1113 Sofia**  
**BULGARIA**  
**Tel/Fax: 872 42 65; 978 72 12;**  
**0897 524 944**  
**E-mail: [scibulcom2@abv.bg](mailto:scibulcom2@abv.bg)**

To: *Dr Veljko Vukovic*

*University of Business*  
*Engineering and Management*

*Banja Luka*

*Republic Srpska*

**JOURNAL OF THE BALKAN TRIBOLOGICAL ASSOCIATION**

RECEIPT

This is to certify that I have received the necessary financial commitment, for the publication of paper with Ref. No 1471/10.02.2016 entitled: "NEW SOFTWARE FOR THE SIMULATION OF RELIABILITY LEVEL INCREASE OF POWER PLANTS" by V. Vuković, S. Vulovic, M. Ivić, M. Vulovic, M. Vuković, Z. Adamovic is accepted for publication and will be included in book 1, Vol. 23 (2017) of J Balk Tribol Assoc.

The Journal has been awarded by ISI Thomson-Reuters with Impact Factor 0.443 for 2014.

10.06.2016

Editor-in-Chief

(Prof., DSc. S.K.Ivanov)



√4