

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

„МОДЕЛИ ОДРЖАВАЊА НА БАЗИ РИЗИКА И ЊИХОВ УТИЦАЈ НА ПОУЗДАНОСТ
ПАРНИХ ТУРБИНА“

кандидат мр Ненад Станковић

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовео комисију Наставно-научно веће Техничког факултета „Михајло Пупин“ у Зрењанину на 81. седници одржаној 23.05.2018. године именовало је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Ненада Станковића.</p> <p>2. Састав комисије са назнаком 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">- Проф. др Љиљана Радовановић, ванредни професор., ужа научна област: Индустријско инжењерство, 2017., Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, председник- Проф. др Бранко Шкорић, редовни професор., ужа научна област: Технологија ливења и термичке обраде, инжењерство површина и нанотехнологије, 2011., Факултет техничких наука у Новом Саду, члан 1- Проф. др Елеонора Десница, ванредни. професор., ужа научна област: Индустријско инжењерство, 2016., Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, члан 2.- Доц. др Јасмина Пекез, доцент., ужа научна област: Индустријско инжењерство, 2015., Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, члан 3.- Проф. др Живослав Адамовић, редовни. професор., ужа научна област: Индустријско инжењерство, 1995., Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, ментор.
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Ненад, Момчило, Станковић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 12.02.1963, Осиња, Дервента, Република Српска, Босна и Херцеговина</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, Дипломирани инжењер за развој машинске струке.</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2011. године одобрена израда дисертације од стране Сената Универзитета у Новом Саду, Индустријско инжењерство.</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, „Методологија одржавања клизних лежишта парних турбина, Управљање развојем-Технологија одржавања, 14.04.2010.</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Индустријско инжењерство</p>
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
<p>„Модел одржавања на бази ризика и њихов утицај на поузданост парних турбина“</p>

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

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

Резултате својих теоријских и емпиријско-експлоатациона истраживања **мр Ненад Станковић** је изложио у докторској дисертацији, која је написана на 208 стране А4 формата, у којој се налази 69 слика, шема и графикона, као и 23 табела и 203 референци, прилози (додатних табела 7 и слика 13) На почетку дисертације је дат назив дисертације, кључна документацијска информација на српском и енглеском језику и садржај.

Дисертација садржи следећих 10 међусобно логички повезаних поглавља:

1. Увод
2. Преглед досадашњих истраживања и литературе о проучаваном проблему
3. Методолошки концепт дисертације
4. Теоријска истраживања
5. Развој модела одржавања на бази ризика и њихов утицај на поузданост парних турбина
6. Експлоатациона истраживања
7. Закључак
8. Правци даљих истраживања
9. Литература
10. Прилози

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У **првом поглављу**, које се назива „Увод”, указано је на актуелност и научни значај проблематике која је истраживана. Кандидат је истакао да модели поузданости који се користе у оквиру *PRA* (процена вероватноће ризика) претпостављају да системи могу бити о оперативном стању и стању у отказу. Ови модели не могу да квантификују корисне ефекте одржавања зато што не узимају у обзир деградативно стање компоненти. Главна улога одржавања је поправити деградацију пре него што до оштећења дође. Корисно је како превентивно, тако и корективно одржавање. Само негативни ефекти одржавања се квантификују у оквиру *PRA*, укључујући и људску грешку у оквиру одржавања. Модели поузданости могу значајно повећати могућност оцењивања ефективности одржавања и уверити на спречавање грешака у одговарајућем складу са временом када систем није у функцији.

Модели поузданости *по Маркову* или *Модели одржавања на бази ризика*, могу квантификовати успешност одржавања на основу перформанси и поузданости компоненти које су подвргнуте активностима одржавања. То се пре свега односи на откривање и кориговање деградираних стања, потом на ефекте одржавања добри или лоши, и оно што је за ово разматрање најзначајније, активности одржавања не само да могу бити објективно оцењени по својој ефективности, већ могу бити оптимизоване из угла поузданости и ризика. Дефинисањем деградационих стања компоненти како у оперативном стању, тако и у отказу, пружа се могућност да се спречи и поправи деградација пре него што дође до отказа, односно вреднује утицај одржавања на поузданост а самим тим и на ризик.

Експлоатациона истраживања вршена су на две парне турбине у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“ Нови Сад, и то РТ-135/165-130/15 и Т-110/120-130-4, и Термоелектрани Костолац на турбогенератору (парна турбина К-100-90 (БК 100-6), генератора ТВФ 110-2 (ЕУ3))

У **другом поглављу**, које се назива „Преглед досадашњих истраживања и литературе о проучаваном проблему”, 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, извештајима и на конференцијама. На основу проучене релевантне литературе кандидат је закључио да када су у питању модели одржавања на бази ризика број примењених модела није превелик, углавном се своди на моделе одржавања који се заснивају на Марковљевој процедури, тј. на примени Марковљевих ланаца.

У **трећем поглављу**, које се назива “Методолошки концепт истраживања”, детаљно је образложен истраживачки поступак. Јасно су формулисани проблем и предмет истраживања, постављени циљеви, главна хипотеза и помоћне хипотезе дисертације, наведен научни и друштвени значај резултата истраживања, као и методе које су коришћене у истраживању и описана организација истраживања. Основни циљ истраживања реализованих током израде ове дисертације

био је да се испита тачност помоћних, а преко њих и главне хипотеза овог научно-истраживачког рада.

У четвртом поглављу, које се назива „Теоријска истраживања“, приказани су резултати теоријског дела истраживања разматране проблематике. Прегледно и систематично су размотрени основни појмови везани за развој и значај одржавања, концепције одржавања техничких система (корективно одржавање, превентивно одржавање, одржавање према стању, одржавање на бази ризика, проактивно одржавање итд.), историјски развој поузданости, анализа ризика, методе одржавања на бази ризика, метода процене вероватноће ризика –PRA, метод Маркова, Бајесова метода при ризику на бази условљене вероватноће, Делфи метода, метода логичке анализе, матрице са проценом ризика, одржавање на бази ризика и безбедности на раду, техничка дијагностика и њен утицај на поузданост парних турбина, дијагностика стања парних турбина, одржавање засновано на ризику парних турбина-Toshiba концепт, модел четири стања по Маркову са његовом применом на нуклеарне термоелектране.

У петом поглављу, које се назива „Развој модела одржавања на бази ризика и њихов утицај на поузданост парних турбина“, развијен је модел одржавања на бази ризика парних турбина помоћу кога се на основу измерених величина одступања од нормалних вредности дијагностичких параметара оцењује се стање (степен неисправности) парних турбина и на основу тога доноси дијагностичка одлука о даљим активностима одржавања (о наставку или заустављања рада погона). Серверски рачунар даје дијагностичке поруке о стању парне турбине (добро, задовољава, незадовољава и недозвољено стање). Затим је дат утицај модела одржавања на бази ризика помоћу кога се правовремено (раном) детекцијом и идентификацијом отказа парне турбине која се остварује применом овог модела омогућује да се предузимањем одговарајућих активности одржавања у најповољнијем тренутку:

- Смањи број отказа или застоја и повећа ниво поузданости парних турбина,
- Скрати време у застоју (прекида у раду) термоенергетског погона и повећа ниво расположивости,
- Спрече већи откази и хаварије парних турбина, а тиме и велики материјални трошкови (финансиски губици),
- Спрече додатна оштећења и угрожавања рада целокупног термоенергетског погона,
- Спрече опасности по радно особље термоелектране и околине,
- Спречи експлозија и пожар у трмоенергетском погону,
- Смање активности класичних превентивних активности парних турбина,
- Смање активности корективног одржавања парних турбина,
- Оствари оптималније планирање активности одржавања парних турбина и
- Смање трошкови одржавања парних турбина.

Даље у овом поглављу су приказане развијене следеће методе:

Делфи метода (DELPHI), ова се метода заснива на индивидуалним проценама експерата. Исто тако, ако се при обради резултата анкете појављују приличне разлике у мишљењима, сазива се експерска комисија, како би се колективно пресудили и прецизирали критеријуми процене. Након процене од старане комисије процедура се понавља.

Методе логичке анализе грешака или метода „Стабла грешака“ или „Стабла догађаја“ (*Fault Tree analysis, Event Tree analysis*). Метода анализе грешака (MAG) је дедуктивна метода, помоћу које је могуће распознати узроке неког конкретног нежељеног догађаја или грешке. Тоје графичка метода, која у облику дијаграма изражава могуће узајамне комбинације техничких дефеката, људских грешака, природних појава и других догађаја који могу да доведу до конкретног нежељеног догађаја.

У основи методе налази се појашњење логичких веза између елементарних догађаја. Анализа почиње тако што се одређује главни нежељени догађај и установљавају логичке везе између средишњих догађаја првог, другог.....н-тог степена, па све тако до основног (покретачког) догађаја. Дијаграм (MAG) обликује везивање елементарних догађаја сценарија ризика путем логичких симбола „I“ или „II““. У шемама се користе различите условне ознаке (симболи), који могу да уђу у компјутерске програме за извођење математичких прорачуна. На крају се прави дијаграм-стабло са многим гранама, који одређују вероватноћу могућег догађаја. Обе те методе могу да буду искоришћене како у квалитативној тако и у квантитативној анализи ризика.

Матрице са проценом ризика 5x5, помоћу којих се одређују пет вероватноћа у зависности од пет

врста последица.

Даље у овом поглављу развијен је и математички модел пет могућих стања у којима се парне турбине могу налазити и који представља надоградњу Марковљевог модела четири стања, (оперативно стање O, деградационо стање D, стање одржавања M, и стање у отказу F). У овом моделу уведено је ново пето стање дијагностика стања (DI), где се врши контрола исправности, контрола радне способности и контрола функционалности, истраживање отказа или неисправности (место облик и узрок отказа). У дијагностици стања парне турбине може се лакше и тачније установити дали су компоненте за одржавање (поправку) или за отказ.

У шестом поглављу, које се назива “Експлоатациона истраживања”, су табеларно, графички, нумерички и текстуално приказани кључни резултати истраживања.

Приказана је имплементација развијеног модела одржавања на бази ризика. Помоћу модела одржавања на бази ризика у виду алгоритма откривају се деградације стања компонената парних турбина у раној фази и тиме се пружа могућност да се спречи и поправи деградација пре него што дође до отказа, односно вреднује утицај одржавања на поузданост а самим тим и на ризик. Због тога је јако битна примена одржавања према стању где се морају пратити одређени параметри континуално како би се могла открити деградација у раној фази. Спровођењем овог модела даље је приказано кроз експлоатационо праћење брзина вибрација на клизним лежиштима парне турбине Т-110/120-130-4 у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“ Нови Сад. са коментаром. Због повећаних вибрација (ван дозвољених граница) јавља се ризик и могуће хаварије турбоагрегата, застој у производњи, пуцање цевног система, додатни инвестициони трошкови и опасности по безбедност радног особља. Даље је приказано експлоатационо мерење температуре метала лежишта, број обртаја ротора турбине, температура уља иза и испред хладњака, притисак расхладне воде пред уљним хладњацима притисак уља за регулацију и подмазивање парне турбине Т-110/120-130-4 са коментаром, као и утицајем на смањење ризика и повишење поузданости рада целе парне турбине јер се спречава:

- Хаварија парне турбине,
- Смањују инвестициони трошкови који могу бити велики,
- Смањују застоји у производњи и
- Повећава безбедност радног особља.

Даље је дата имплементација математичког модела пет и четири могућа стања у којима се парне турбине могу налазити у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“ Нови Сад.

Дакле посматра се кумулативни модел са пет могућих стања компонената парних турбина. Израз кумулативни модел уведен је да би се обухватила и описала четири могућа начина прелаза у стање отказа посматране парне турбине а која се помоћу овог модела могу предвидети и на време спречити. Посматрана су два могућа начина прелаза у стање отказа. Одређена су оптимална времена за одржавања (7600 часова) рада турбине или око 317 дана, а 45 до 48 дана оставља се за превентивне периодичне оправке за годину, две, три и четири године, као и предложено оптимално време генералног ремонта након одређеног броја часова у пуној експлоатацији (30400 часова). Ови предложени интервали ће спречити да не дође до преласка у стање отказа. Табеларно су дате вероватноће пет могућих стања, као и четири могућа стања за годину, две, три и четири године у пуној експлоатацији, затим су ове вероватноће приказане и графички на дијаграмима. Такође извршена је упоредна анализа модела са пет и четири могућа стања у којима се парне турбине могу налазити, где је закључено да је Модел са пет могућих стања више прихватљив за парне турбине од Модела са четири стања. У овом поглављу на основу спроведених експлоатационих истраживања а која су дата у десетом поглављу-прилози о непланским застојима-отказима са датим коментаром узрока и која су извршена на две парне турбине у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“ Нови Сад, од 2011 до 2018 дате су процентуалне вредности смањења застоја-отказа и повишења нивоа поузданости, за период примене модела одржавања на бази ризика и то од 2016. године до марта 2018 године. Вредности на основу непланских застоја-отказа су смањене за 74,75 процената а поузданост је почела да се повећава од 2016 која је била 0.9975 на 1.00, 2017 године да би се задржала и до марта 2018 године исто 1.00. Такође, остварене су и знатне уштеде због смањених трошкова одржавања и смањења губитака у производњи топлотне и електричне енергије, чиме је и потврђена успешност развијених модела.

Такође у овом поглављу дата је анализа примене Делфи методе, анализа примене методе логичке анализе и анализа примене матрица са проценом ризика у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“ Нови Сад.

У овом поглављу образложена је и могућност примене модела одржавања на бази ризика у Термоелектрани Костолац за турбогенератор у периоду примене од две године. Табеларно су приказани откази на појединим склоповима пре и после примене модела, затим су дати на графиконима проузроковани губици у производњи због оправке турбогенератора, као и повећање нивоа управљања дијагностичком опремом. На дијаграму је приказана поузданост турбогенератора пре и после примене модела одржавања на бази ризика.

На самом крају овог поглавља дисертације дата је дискусија резултата истраживања и поређење са другим уз утврђивање међусобне сличности и разлике, као и доказ главне хипотезе и помоћних хипотеза.

Доказивањем главне хипотезе базирано је на експлоатациона и сопствена истраживања и на основу њих успешно су формиран модели у циљу повишења нивоа поузданости парних турбина у процесу експлоатације и то:

Модел одржавања на бази ризика и његов утицај на поузданост парних турбина у виду алгоритма.

Математички модел пет стања и његова имплементација на поузданост парних турбина.

Доказивањем помоћних хипотеза и то кроз анализу примене метода са аспекта безбедности и поузданости.

- Анализа примене Делфи методе.
- Анализа примене логичке анализе.
- Анализа примене матрица са проценом ризика.

У седмом поглављу, које се назива “Закључак”, су на основу резултата истраживања добијених израдом ове докторске дисертације и актуелности наведене проблематике, наведена завршна разматрања, која потврђују тачност постављених помоћних, а преко њих и главне хипотезе истраживања. Јасно је истакнут научни допринос ове дисертације, односно истраживања проблематике утицаја модела одржавања на бази ризика на поузданост посматраних парних турбина термоелектране-топлане а такође се њихова примена може извршити или применити и на друге сличне парне турбине. Укратко је наведен теоријски, привредни, друштвени и научни допринос примене развијених модела у пракси.

У осмом поглављу, које се назива „Правци за наставак даљих истраживања”, образложене су могућности и потребе за наставаком истраживања и дати предлози за наставак истраживања у овој области.

У деветом поглављу, под називом “Литература”, наведен је списак литературе, која је коришћена или проучавана током израде ове дисертације, са 203 библиографских јединица. Аутор је навео више од 30 аутоцитата, што говори о томе да се дуги низ година бавио овом проблематиком и објављује добијене резултате.

У десетом поглављу, Прилози дат, је принцип рада парних турбина, у Термоелектрани-Топлани „Нови Сад“ Нови Сад, и основне карактеристике турбогенератора Термоелектране „Костолац“ у Костолцу, затим просторни изглед Парне турбине број 1 РТ-135/165-130/15 и парне турбине број 2 Т-110/120-130-4, шематски приказ у пресеку парне турбине РТ-135/165-130/15 у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“. У овом делу поглавља такође су дати резултати експлоатационих праћења непланских застоја са коментаром узрока застоја табеларно и графички у периоду праћења од 2011 године до 2016 године, као и експлоатациона праћења непланских застоја за парну турбину Т-110/120-130-4 након примене модела одржавања на бази ризика у периоду од 2016 до марта 2018 године. Такође је шематски приказан развијени нумерички системски софтвер брзине вибрација и температуру радиоаксијалног лежишта, број обртаја ротора, притисак уља за подмазивање, притисак за регулацију, притисак расхладне воде испред хладњака уља, температура уља иза и испред хладњака уља и ниво уља за парну турбину број 1 РТ-135/165-130/15, као и општа регеративна шема турбине.

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) Рад објављен у међународном часопису са ISI листе

[1] **N. M. Stankovic.**, ST. M. Vulovic., Zh. Z. Adamovic., B. M. Milisavljevic., A. A. Asonja., M. S. Vulovc.: Model of Five States and Its Implementations to Reliability and Steam Turbines, Journal of the Balcan Tribological Association, book 3, vol. 23, pp 542-568, Sofia, Bulgaria, 2017. (ISSN 1310-4772)

II) Радови објављени на конференцијама међународног значаја

[1] **Станковић, Н.**, Адамовић, Ж., Милисављевић, Б.: *Methods of maintenance in steam turbines*, Међународни научно-стручни скуп, Процесна техника и заштита животне средине, Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, децембар, 2011, (ISBN 978-86-7672-152-8) [М 33-1]

[2] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Опасности од лутајућих струја по информационо комуникационе технологије у електричним инсталацијама са TN-CS-S системом развода*, TELFOR 19 Међународно IEEE телекомуникациони форум, Београд, новембар, 2011. (ISBN 978-1-4577-1498-6) [М 33-1]

[3] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Dangares of stray current to information and communication tehnologies in electrical installations with TN-C-S system of distribution*, 19 th Teleco-munications forum TELFOR 2011, Proceedings, pp. 1020-1023, Belgrade, Serbia, November 22-24.2011, (ISBN 978-1-4577-1498-6) [М33-1]

[4] Илић, Б., Адамовић, Ж., Радовановић, Љ., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Thermographic investigations of power plant elements*, Proceedings/5th International Symposium on Industrial Engineering-SIE 2012, organized by Industrial Engineering Department Faculty of Mechanical Engineering University of Belgrade and Steinbeis Advanced Risk Technologies Stuttgart, Germany. Publisher Faculty of Mechanical Engineering University of Belgrade pp. 291-296, Belgrade, Serbian, June 14-15.2012. (ISBN 978-86-7083-758-4) [М 33-1]

[5] Илић, Б., Адамовић, Ж., Радовановић, Љ., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Application of the method of thermography in diagnostics of power plants*, Proceedings/ II International Conference-Industrijal Engineering and Environmental Protection (IJS 2012), pp. 157-164, Zrenjanin, 31st. October, 2012. (ISBN 978-86-7672-184-9) [М 33-1]

[6] Јањић, Н., Савић, Б., Кантар, Д., **Станковић, Н.**: *Обрада машинског дела на „CNC“ глодалицу*, IV Међународна конференција-Управљање знањем и информатика, 12-13, јануар 2018, pp. 182-192, Копаоник, Висока техничка школа струковних студија у Новом Саду, (ISBN 978-86-6211-113-5) [М 33-1]

[7] Јањић, Н., Микић, Д., Ашања, А., **Станковић, Н.**, Петровић, Д.: *Дијагностика стања машинских техничких система заснованих на примени бинарне регресије*, IV Међународна конференција-Управљање знањем и информатика, 12-13, јануар 2018, pp 172-181, Копаоник, Висока техничка школа струковних студија у Новом Саду, (ISBN 978-86-6211-113-5) [М 33-1]

III) Објављене монографије од националног значаја

[1] Адамовић, Ж., Тасић, И., **Станковић, Н.**, Ашоња, А.: *Одржавање клизних лежишта*, Дуга књига, Сремски Карловци, 2011, (ISBN 978-86-86127-32-7), [М 43-3]

[2] Адамовић, Ж., **Станковић, Н.**, Савић, Б.: *Поузданост машина и постројења*, STYLOS Art, Нови Сад, 2011, (ISBN 978-86-7473-552-7), [М 43-3]

[3] Адамови, Ж., Илић, Б., Вуловић, С., **Станковић, Н.**, Вуловић, М.: *Техничка дијагностика електрана и топлана, хидроелектрана, соларних електрана, ветроелектрана и топлана*, Друштво за техничку дијагностику-Адам институте, Смедерево, 2014. (ISBN 978-86-83701-33-9), [М 43-3]

IV) Радови објављени у научним-стручним часописима националног значаја

[1] **Станковић, Н.**, Адамовић, Ж.: *Одржавање парних турбина према стању*, Техничка дијагностика, Међународно научно-стручни часопис за област дијагностике, одржавања, информационих технологија и менаџмента знања, Друштво за енергетску ефикасност Босне и Херцеговине, Бања Лука, 2011, (ISSN 1840-4898), Број 1-2, [М 53-1]

[2] **Станковић, Н.**, Адамовић, Ж.: *Развој алгоритма методологије одржавања клизних лежишта парних турбина*, Техничка дијагностика, Међународно научно-стручни часопис за област дијагностике, одржавања, информационих технологија и менаџмента знања, Друштво за енергетску ефикасност Босне и Херцеговине, Бања Лука, 2011, (ISSN 1840-4898) Број, 1-2, [M 53-1]

[3] Савић, Б., Илић, Б., **Станковић, Н.**: *Технологија одржавања и информационе технологије*, Научно-стручни часопис „Одржавање машина“, Друштво за техничку дијагностику Србије „ТЕНДИС“ (ISSN 1452-9688) Број 1-2, 2011, [M 53-1]

[4] Савић, Б., **Станковић, Н.**, Илић, Б.: *Савремено одржавање и сервисирање опреме*, Научно-стручни часопис „Менаџмент знања“ Друштво за техничку дијагностику Србије „ТЕНДИС“ (ISSN 1452-961), Број 3-4, 2011. [M 53-1]

[5] **Станковић, Н.**, Адамовић, Ж., Савић, Б., Поповић, М.: *Методе испитивања без разарања компонента парних турбина*, Научно-стручни часопис, „Менаџмент знања“ Друштво за техничку дијагностику Србије, вол. 7, бр. 3-4, Смедерево, 2011, (ISSN 1452-9661), [M 53-1]

[6] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Примена аутоматизованих дијагностичких система у дијагностици стања лежајева машина методом спектралне анализе струје статора*, Научно-стручни часопис „Менаџмент знања“, Друштво за техничку дијагностику Србије, вол.7, бр. 1-2, пп. 3-12, Смедерево, 2012. (ISSN 1452-9661) [M 53-1]

[7] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Аутоматизована виброакустичка испитивања клизних и котрљајућих лежаја*, Научно-стручни часопис, „Менаџмент знања“ Друштво за техничку дијагностику Србије, вол. 7, бр. 1-2, пп. 13-24, Смедерево, 2012. (ISSN 1452-9661) [M 53-1]

[8] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Аутоматизована термографска испитивања клизних и котрљајућих лежајева*. Међународни научно-стручни часопис, Техничка дијагностика, Друштво за енергетску ефикасност Босне и Херцеговине, Бања Лука, вол. 4, бр. 1-2, пп. 10-19, 2012. (ISSN 1840-4898) [M 53-1]

[9] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Развој модела аутоматизованог дијагностичког система и његов утицај на поузданост техничких система*, Међународни научно-стручни часопис, Техничка дијагностика, Друштво за енергетску ефикасност Босне и Херцеговине, Бања Лука, вол. 4, бр. 1-2, пп. 20-40, 2012. (ISSN 1840-4898) [M 53-1]

[10] Илић, Б., Петров, Т., Адамовић, Ж., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Врсте и узроци оштећења клизних и котрљајних лежајева машина у процесној индустрији*, Научно-стручни часопис, Техничка дијагностика, Друштво за енергетску ефикасност Босне и Херцеговине, вол. 4, бр. 3-4, стр. 11-16, Бања Лука, 2012 (ISSN 1840-4898) [M 53-1]

[11] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Техно-економска анализа ефекта примене новог модела аутоматизованог дијагностичког система у дијагностици стања лежајева машине*, Научно-стручни часопис, Техничка дијагностика, Друштво за енергетску ефикасност Босне и Херцеговине, вол. 4, бр. 3-4, стр. 40-46, Бања Лука, 2012. (ISSN 1840-4898) [M 53-1]

[12] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Процена термичког стања електроенергетске опреме у процесној индустрији методом термографије*, Научно-стручни часопис, „Journal of Engineering & Processing Management“, Технолошки факултет Зворник, вол. 4, бр.1, стр. 163-176, 2012. (ISSN 1840-4774) [M 52-1,5]

[13] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., **Станковић, Н.**: *Примена метода веишачке интелигенције у дијагностици стања лежајева машина у процесној индустрији*, Научно-стручни часопис, Техничка дијагностика, Друштво за енергетску ефикасност Босне и Херцеговине, вол. 5, бр. 1-2, стр. 32-38, Бања Лука, 2012. (ISSN 1840-4898) [M 53-1]

[14] **Станковић, Н.**, Адамовић, Ж., Илић, Б., Савић, Б.: *Значај техничке дијагностике за поуздан рад парних турбина*, Научно-стручни часопис, Техничка дијагностика, вол. 12, бр. 1, пп. 20-30, Београд, 2013, (ISSN 1451-1975) [M 52-1,5]

[15] **Станковић, Н.**, Адамовић, Ж.: *Техничка дијагностика парних турбина на бази ризика*, Научно стручни часопис, Техничка дијагностика, вол. 12 бр. 2, пп. 55-59, Београд, 2013, (ISSN 1451-1975) [M 52-1,5]

[16] **Станковић, Н.**, Адамовић, Ж., Савић, Б., Радић, Р., Николић, Д.: *Бука у хидроелектранама* Научно стручни часопис, Менаџмент знања, Друштво за техничку дијагностику Србије, вол. 9, бр. 3-4, пп. 56-59, Смедерево, 2014, (ISSN 1452-9661) [M 53-1]

[17] Јовановић, Д., **Станковић, Н.**, Вукојевић, Д., Адамовић, Ж., Перић, Д., Јанковић, З., Вукојевић, П.: *Ремонт сложених машина у електропривреди*, Научно-стручни часопис, Менаџмент

знања, Друштво за техничку дијагностику Србије, вол. 9, бр. 3-4, пп. 42-51, Смедерево, 2014, (ISSN 1452-9661) [М 53-1]

[18] Станковић, Н., Адамовић, Ж.: *Методe техничке дијагностике за анализу стања парних турбина*, Научно стручни часопис, Техничка дијагностика, Друштво за енергетску ефикасност Босне и Херцеговине, вол. 6, бр. 3-4, пп. 52-58, Бања Лука, 2014, (ISSN 1840-4898) [М 53-1]

[19] Станковић, Н., Адамовић, Ж., Вуловић, М., Илић, Б.: *Детекција роторске ексцентричности*, Научно-стручни часопис, Одржавање машина, Друштво за техничку дијагностику Србије, вол. 12, бр. 3-4, пп. 40-43, Смедерево, 2015, (ISSN 1452-9688) [М 53-1]

V) Радови објављени на конференцијама националног значаја

[1] Станковић, Н., Адамовић, Ж., Савић, Б., Поповић, М.: *Значај техничке дијагностике за поуздан рад парних турбине*, XXXV Конференција “Пословних комуникација и производног инжењерства”, Зборник радова, Врњачка Бања, 01-02.06.2012. (ISBN 978-86-85391-07-1) [М 63-0,5]

[2] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., Станковић, Н.: *Техно-економска анализа ефеката примене новог модела аутоматизованог дијагноастичког система у дијагностици стања лежајева машина*, XXXV Конференција “Пословних комуникација и производног инжењерства”, Зборник радова, Врњачка Бања, 01-02.06.2012. (ISBN 978-86-85391-07-1) [М 63-0,5]

[3] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., Станковић, Н.: *Примена аутоматизованих дијагностичких система у дијагностици стања машина у процесној индустрији*, XXXV Конференција „Пословних комуникација и производног инжењерства“, Зборник радова, Врњачка Бања, 01-02.06.2012. (ISBN 978-86-85391-07-1) [М 63-05]

[4] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., Станковићу, Н.: *Примена метода вештачке интелигенције у дијагностици стања лежајева машина*, XXXV Конференција “Пословних комуникација и производног инжењерства”, Зборник радова, Врњачка Бања, 01-02.06.2012. (ISBN 978-86-85391-07-1) [М 63-0,5]

[5] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., Станковић, Н.: *Врсте и узроци оштећења клизних и котрљајућих лежајева машина у процесној индустрији*, XXXV Конференција “Пословних комуникација и производног инжењерства”, Зборник радова, Врњачка Бања, 01-02.06.2012. (ISBN 978-86-85391-07-1) [М 63-0,5]

[6] Илић, Б., Адамовић, Ж., Савић, Б., Станковић, Н.: *Оштећења гасовода узрокована електроенергетским ефектима из окружења и њихов утицај на поузданост рада техничког система*, XXXV Конференција “Пословних комуникација и производног инжењерства”, Зборник радова, Врњачка Бања, 01-02.06.2012. (ISBN 978-86-85391-07-1) [М 63-0,5]

[7] Станковић, Н., Адамовић, Ж., Илић, Б., Савић, Б., Поповић, М.: *Значај техничке дијагностике за поуздан рад парних турбина*, XXXV Конференција „Пословних комуникација и производног инжењерства“, Зборник радова, Врњачка Бања, 01-02.06.2012. (ISBN 978-86-85391-07-1) [М 63-0,5]

[8] Станковић, Н., Адамовић, Ж., Савић, Б., Илић, Б.: *Техничка дијагностика парних турбине на бази ризика*, XXXVI Мајски скуп одржавалаца Србије, “Мерење индикатора перформанси одржавања техничких система у компанијама”, Зборник радова, Врњачка Бања, 31.05.2013. (ISBN 978-86-83701-30-8) [М 63-0,5]

[9] Савић, Б., Илић, Б., Петровић-Гегић, А., Ђукић, Д., Станковић, Н.: *Примена термовизије у дијагностици стања*, XXXVI Мајски скуп одржавалаца Србије, „Мерење индикатора перформанси одржавања техничких система у компанијама“, Зборник радова, Врњачка Бања, 31.05.2013. (ISBN 978-86-83701-30-8) [М 63-0,5]

[10] Станковић, Н., Адамовић, Ж.: *Методe техничке дијагностике за анализу стања парних турбине*, XI Конференција, “Техничка дијагностика термоелектрана, соларних електрана, топлана и хидроелектрана”, Врњачка Бања, новембар, 2014, (ISBN 978-86-83701-33-9) [М 63-05]

[11] Бурсаћ, Ж., Станковић, Н.: *Утицај структуре на поузданост и готовост система*, XI Конференција „Техничка дијагностика термоелектрана, соларних електрана, топлана и хидроелектрана, Врњачка Бања,, 07.11.2014. (ISBN 978-86-83701-33-9) [М 63-0,5]

[12] Станковић, Н., Адамовић, Ж., Вуловић, М., Илић, Б.: *Детекција роторске ексцентричности*, XXXVIII Мајски скуп одржавалаца Србије, “Техничка дијагностика термоелектрана, соларних електрана, топлана и хидроелектрана”, Врњачка Бања, мај, 2015. (ISBN 978-86-83701-36-0) [М 63-0,5]

[13] Станковић, Н., Адамовић, Ж., Милисављевић, Б.: *Методe процене поузданости парних тур-*

бина, XV Конференција, Техничка дијагностика машина и постројења, Врњачка Бања, октобар, 2015, (ISBN 978-86-83701-38-4) [М 63-0,5]

[14] Станковић, Н., Адамовић, Ж., Савић, Б., Јањић, Н.: *Поступци испитивања сегмената радијалних клизних лежишта парне турбине*, XXXIX Мајски скуп одржавалаца Србије, Врњачка Бања, мај, 2016, стр. 439-444, (ISBN 978-86-83701-43-8). [М 63-0,5]

[15] Станковић, Н., Адамовић, Ж., Савић, Б., Јањић, Н.: *Поступци дијагностике клизних лежишта парне турбине*, XXXIX Мајски скуп одржавалаца Србије, Врњачка Бања, мај, 2016, стр. 445-457, (ISBN 978-86-83701-43-8) [М 63-0,5]

[16] Станковић, Н., Адамовић, Ж., Савић, Б., Јањић, Н., Илић, Б.: *Фазе одржавања клизних лежишта парних турбина*, XXXX Мајски скуп одржавалаца Србије – Конференција „Бука, Вибрације и Проактивно одржавање машина“, Врњачка Бања, 26 и 27.05.2017. (ISBN 978-86-83701-47-6) [М 63-0,5]

[17] Станковић, Н., Адамовић, Ж., Илић, Б., Милисављевић, Б.: *Модел одржавања на бази ризика и његов утицај на поузданост парних турбина*, XXXX Мајски скуп одржавалаца Србије–Конференција “ Бука, Вибрације и Проактивно одржавање машина”, Врњачка Бања, 26 и 27.05.2017. (ISBN 978-86-83701-47-6) [М 63-0,5]

[18] Станковић, Н., Адамовић, Ж., Савић, Б., Јањић, Н., Илић, Б.: XVIII-Конференција „Техничка дијагностика саобраћајних возила“, *Утицај техничке дијагностике на поузданост парних турбина*, Врњачка Бања, 01 и 02.06. 2018. (ISBN 978-86-83701-53-7) [М 63-0,5]

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Основни циљ истраживања реализованих током израде ове дисертације био је да се испита да ли модели одржавања на бази ризика утичу на поузданост парних турбина.

На основу размотреног проблема, предмета и циља истраживања, кандидат је поставио главну хипотезу овог научно-истраживачког рада, која гласи:

Могуће је формирати моделе одржавања на бази ризика у циљу повишења нивоа поузданости парних турбина у процесу експлоатације.

Главну хипотезу која гласи: Могуће је формирати моделе одржавања на бази ризика у циљу повишења нивоа поузданости парних турбина кандидат је потврдио на основу експлоатационих и сопствених истраживања која представљају кључне резултате истраживања ове дисертације:

Помоћне хипотезе кандидат је потврдио кроз анализе примене Делфи методе, методе логичке анализе и методе матрица са проценом ризика у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“ Нови Сад.

Да би остварио постављени циљ, односно да би проверио помоћне, а преко њих и главну хипотезу, кандидат је на основу теоријско-емпиријских сазнања развио нове моделе.

- Модел одржавања на бази ризика и његов утицај на поузданост парних турбина у виду алгорита.
- Математички модел пет стања и његова имплементација на поузданост парних турбина.

У четвртом поглављу „Теријска истраживања“ кандидат је детаљно размотрио до сада у пракси реализовани Марковљев модел четири стања и то: оперативно стање (О), деградационо стање (D), стање одржавања (M), и стање отказа (F), који је примењен на нуклеарне електране, што му је помогло да развије нови модел са пет могућих стања у којима се парне турбине могу налазити, надоградњом новог дијагностичког стања (DI).

У дијагностици стања се врши контрола исправности, контрола радне способности и контрола функционалности истраживање отказа или неисправности (место облик и узрок) парних турбина.

У дијагностици стања компонената лакше и тачније се може установити да ли су компоненте за одржавање или за отказ чиме се избегава прелазак поново у деградацију. У стању деградације много је теже одредити да ли су компоненте за одржавање или за отказ, а потребно је и дуже време због тога што је понекад потребно зауставити парну турбину, а потом и сачекати да се охлади. Ово доводи до дужег прекида у производњи топлотне и електричне енергије. Овде може да се изврши упоредна анализа модела са пет и четири могућа стања. Модел са четири стања мање је прихватљив за парне турбине термоелектрана и топлана у односу на неке друге техничке системе где може да се примени и да се добију задовољавајући резултати у смислу поузданости техничких система. Модел са пет могућих стања доприноси већем порасту поузданости и расположивости парних турбина као и повећању веће безбедности и сигурности са аспекта ризика по радно особље и околину.

Применом овог модела на парне турбине у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“ одређени су оптимални интервали одржавања на годишњем нивоу од 7600 часова за годину, две, три и четири године, као и предложено оптимално време генералног ремонта након четири године или одређеног броја часова у пуној експлоатацији од 30400 часова. Табеларно и графички су дате вероватноће пет могућих стања, као и четири могућа стања за годину две, три и четири године у пуној експлоатацији.

Следећи модел који је кандидат развио модел одржавања на бази ризика у виду алгоритма.

У емпиријском-експлоатационом делу истраживања извршена је практична примена овог модела на конкретном примеру дијагностичких контрола одређених параметара на парној турбини Т-110/120-130-4 и то:

- Експлоатационо праћење (мерење) брзина вибрација на клизним лежиштима парне турбине,
- Експлоатационо мерење температуре метала лежишта, број обртаја ротора турбине, температура уља иза и испред хладњака, притисак расхладне воде пред уљним хладњацима, притисак уља за регулацију и подмазивање парне турбине.

Емпиријско-Експлоатациони део истраживања кандидат је спровео у Термоелектрани-Топлани „Нови Сад“ Нови Сад и у Термоелектрани Костолац. Током емпиријско-експлоатационих истраживања кандидат је са службом одржавања у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“ која је водила евиденцију сакупљао податке о времену трајања непланских застоја у периоду од 2011 до 2018 године као и о прегледу стартовања и застоја парних турбина РТ-135/165-130/15 и Т-110/120-130-4, уносио у одговарајуће табеле и израчунавао времена у дијагностици, застоју или отказу парних турбина. Дате су процентуалне вредности смањења застоја-отказа и повишења нивоа поузданости, за период примене сопственог модела одржавања на бази ризика и то од 2016 године до марта 2018 године. Вредности на основу непланских застоја-отказа су смањене за 74,75 процента, а поузданост је почела да се повећава од 2016 године која је била 0,9975 на 1,00 у 2017 години да би се задржала и до марта 2018 године исто 1,00. Такође повећана је готовост (расположивост) након примене модела која је у 2016 години износила 0,99788 процената а у 2017 години достигла вредност 100 процената, остварене су и знатне уштеде због смањења трошкова одржавања и смањења губитака у производњи топлотне и електричне енергије, чиме је и потврђена успешност развијених модела.

Експлоатациона истраживања су вршена и у Термоелектрани Костолац на турбогенератору као и примена модела одржавања на бази ризика у периоду од две године где је смањен број отказа-неисправности и повећана поузданост. Поузданост пре примене модела одржавања на бази ризика у 2014 години је била 0,82, а у 2015 је износила 0,87, даби након примене модела у 2016 износила 0,95 а у 2017 години је још и већа и износи 0,97.

На основу ових резултата потврђена је тачност помоћних (радних) хипотеза, а преко њих и главне хипотезе истраживања, односно утврђено је (доказано) да практична примена развијених нових модела доприноси порасту нивоа поузданости, расположивости посматраних парних турбина у процесу експлоатације. Практична примена развијених нових модела одржавања на бази ризика доприноси смањењу опасности по радно особље а и по околину као и оптимално планирање превентивних периодичних прегледа и оправки. Део резултата истраживања добијених израдом ове докторске дисертације презентовано је у радовима који су публиковани у часописима и на конференцијама међународног и националног значаја. Резултати истраживања до којих је кандидат израдом ове докторске дисертације дошао биће презентовано научној јавности на њеној усменој одбрани.

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 модела одржавања на бази ризика у термоенергетском систему у циљу повећања нивоа поузданости и расположивости тих система. Ови резултати истраживања представљају добру основу за даља истраживања у научној области Индустијског инжењерства.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА **Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.**

Резултате истраживања, до којих је дошао израдом ове дисертације, кандидат је приказао систематично, јасно и прегледно, тако да научна јавност може брзо и ефикасно да сагледа исходе ових истраживања. Резултати истраживања су приказани табеларно, графички, нумерички и

текстуално, затим су детаљно анализирани (праћени одговарајућим образложењима и критичким освртом) и на добар начин упоређени са резултатима других сличних истраживања. Разумљиво и коректно су тумачени тако да су из њих изведени разумљиви следећи закључци: 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.

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

Методолошки посматрано, дисертацију одликује стручно-научна методологија. Излагање у овој докторској дисертацији је стручно, веома јасно и у потпуности је у складу са дефинисаним циљевима истраживања. Јасноћа у изражавању допринела је да и сложена питања буду изложена на једноставан и разумљив начин. Сва поглавља дисертације су међусобно усклађена и чине јединствену целину. Кандидат је нашао праву меру начина приказа, обима и тумачења резултата истраживања.

У овој дисертацији кандидат је користио следеће научно-истраживачке методе:

- методу анализе, је користио у почетној фази истраживања, где је предмет истраживања разложио на делове како би на основу тога и других чињеница могао развити нове моделе одржавања на бази ризика.
- методу синтезе, примењивао је при анализи резултата истраживања и доношењу закључака, где је на језгровит начин истакао кључне резултате истраживања;
- методу моделовања, користио је приликом развоја новог математичког модела пет стања у којима се парне турбине током експлоатације могу налазити и његове имплементације на поузданост парних турбина.
- експерименталну, (експлоатационе) дијагностичке методе брзина вибрација лежишта температуре уља, притиска расхладне воде и уља за подмазивање и регулацију користио је за откривање деградације појединих компонената парних турбина као и спречавање непланских застоја-отказа.

Избор наведених метода и начина њихове примене је, у потпуности, прилагођен карактеру проблематике која је истраживана.

Релавантна 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.

Провера подударности докторске дисертације са другим научно истраживачким публикацијама извршена је у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate. Степен подударности са другим публикацијама износи 8%.

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 тумачење резултата истраживања су научно утемељени.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE 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:

Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме
Докторска дисертација је написана у складу са образложењем које је наведено у пријави теме.

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.

По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Истраживања спроведена током израде ове докторске дисертације показала су сву комплексност и значај разматрања проблематике утицаја модела одржавања на бази ризика на поузданост парних турбина, као и на укупне трошкове и економичност пословања термоелектране-топлане, чиме је

остварен конкретан допринос истраживањима у области модела одржавања на бази ризика.

Комисија сматра да, докторска дисертација мр Ненада Станковића представља оригиналан допринос науци, у научној области Индустрijско инжењерство, који се огледа у следећем:

- кандидат је на основу теоријско-емпиријских истраживања развио нове моделе одржавања на бази ризика. Математички модел пет стања и његова имплементација на поузданост парних турбина. У овом моделу извршена је надоградња Марковљевог модела четири стања са новим стањем дијагностика стања (DI). Усвојени модел пет стања развијен је као методологија која спречава да не дође до појаве изненадних отказа, који могу да изазову велике хаварије, застоје у производњи електричне и топлотне енергије а самим тим и ризик по радно особље и околину. Предложени су оптимални временски интервали одржавања на годишњем нивоу односно после 7600 часова рада парне турбине у експлоатацији. Израчунате су вероватноће могућих стања за четири стања (p_o, p_d, p_m, p_f) и пет стања ($p_o, p_d, p_{di}, p_m, p_f$) за једну, две, три и четири године, као и после четврте године односно после 30600 часова рада да се изврши генерални ремонт парних турбина, пошто вредности у оперативном стању су ниске. Помоћу овог модела могу да се израчунају вероватноће у појединим стањима у сваком тренутку након одређеног броја часова рада у експлоатацији. Вероватноће појединих стања приказане су и графички за четири и за пет стања. Овде је извршена упоредна анализа модела са четири и са пет стања где је дато образложење да је модел са пет стања више прихватљив за парне турбине у односу на модел са четири стања. Модел одржавања на бази ризика и његов утицај на поузданост парних турбина у виду алгоритма. Овај модел подржава развијени математички модел и представља методологију експлоатације парних турбина, помоћу кога се прате одређени дијагностички параметри и на основу измерених вредности одступања од нормалних вредности дијагностичких параметара оцењује се стање (степен неисправности) компонената парне турбине и на основу тога доноси дијагностичка одлука у дијагностици стања о даљим активностима одржавања. Серверски рачунар даје дијагностичке поруке о стању парне турбине добро, деградационо стање (задовољава, незадовољава), недозвољено искључење парне турбине
- наведене су предности развијеног математичког модела, као и његова имплементација на поузданост парних турбина,
- наведен је утицај модела одржавања на бази ризика на поузданост парних турбина,
- предочене су могућности практичне примене развијених нових модела,
- применом модела одржавања на бази ризика која је спроведена од 2016 до марта 2018 године на парним турбинама у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“ Нови Сад, може се закључити да су застоји-откази смањени за 74,75 процената и самим тим почела да се повећава поузданост од 2016 године која је била 0,9975 на 1,00 у 2017 године да би се задржала и до марта 2018 године исто 1,00, такође остварене су и знатне уштеде због смањених трошкова одржавања и смањених губитака у производњи топлотне и електричне енергије, чиме је и потврђена успешност развијених модела.
- примена модела одржавања на бази ризика је спроведена и у Термоелектрани Костолац на турбогенератору у периоду две године где је смањен број отказа, повећане поузданост, која је након примене модела у 2016 години износила 0,95 а у 2017 години достигла вредност 0,97.
- презентована су истраживања у подручју модела и метода одржавања на бази ризика, публикована у часописима и на конференцијама међународног и националног значаја;
- ова дисертација представља користан литературни извор за будућа истраживања у подручју одржавања на бази ризика парних турбина.

У дисертацији је остварено повезивање теорије са праксом, успостављањем везе између теоријски развијених нових модела и њихове практичне примене у реалним погонским условима. Посебну вредност у овој дисертацији имају резултати емпиријско-експлоатационих истраживања које је кандидат спровео на одабраним парним турбинама. Кандидат је показао не само добро познавање проблематике којом се бави, него и много смисла и умешности за теоријску анализу и критичко сагледавање праксе.

Резултати истраживања до којих се дошло током израде ове дисертације показују да ова докторска дисертација представља значајан научни допринос у подручју теорије и праксе

(решавања конкретних практичних проблема) одржавања парних турбина, који су валоризовани објављивањем тих резултата у одговарајућим публикацијама.

Теријски 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 литературе, јер је недовољан број радова код нас који се баве овом проблематиком, нарочито за стручњаке који желе да се баве одржавањем на бази ризика парних турбина као и уопште техничких система, посебно техничких система које је потребно пратити у процесу експлоатације са становишта поузданости и ризика. У литератури дисертације је дат велики број назива међународних радова које је кандидат прикупљао и проучавао ток израде ове докторске дисертације.

Привредни допринос истраживања која су спроведена током израде ове дисертације огледа се у добијеним резултатима истраживања који представљају значајан допринос за праксу и науку при решавању конкретних проблема у области одржавања парних турбина на бази ризика у термоелектранама-топланама. Развијени модели одржавања на бази ризика имају могућност примене у термоелектранама наше земље, што ће допринети да се и у термоелектро индустрији примењују светски стандарди и прате трендови у области дијагностике и одржавања термоенергетских система.

Ови модели се исто тако могу примењивати и на друге парне турбине у другим гранама привреде.

Развијени модели одржавања на бази ризика, уз мање модификације имају могућност примене на техничке системе који обављају неку другу задату функцију критеријума, што ће допринети унапређењу постојеће праксе одржавања техничких система.

Непосредна примена сазнања стеченим овим истраживањима допринеће да се у термоенергетској индустрији наше земље примењују светски стандарди и прате трендови у области одржавања на бази ризика парних турбина.

Резултати који су дати истраживањем показују и да стратегију привредног развоја, која се односи на одржавање сложених техничких система као што су парне турбине треба усмерити на развој и примену савремене дијагностичке опреме што укључује и друге привредне капацитете, ради производње савремених дијагностичких система.

Набавка савремених дијагностичких система мора бити искључиво од акредитованих, проверених и познатих привредни субјеката.

Друштвени допринос у друштву се модели одржавања на бази ризика могу применити на парне турбине термоелектрана и топлана, као и на сличне парне турбине које се налазе на другим местима.

Оправданост примене модела одржавања на бази ризика као и њихов утицај на поузданост парних турбина је с обзиром да су термоелектране важан елемент у производњи електричне и топлотне енергије, њихово стајање доводи до великих губитака. Један од могућих узрока стајања термоелектране-топлане може бити и отказ или застој парних турбина. Парне турбине спадају у критичне машине, чије заустављање истовремено значи и заустављање целе производње.

У циљу одржавања продуктивности погона заустављање парних турбина се не сме дозволити.

Основни циљ предложених модела одржавања на бази ризика парних турбина је:

- повећање укупне расположивости парних турбина,
- смањење трошкова одржавања,
- гаранција целовитости опреме и сигурности људи.

Предложени модели одржавања на бази ризика носеће са собом потенцијално велике могућности за уштеду и то кроз:

- повећање укупне продуктивности на годишњем нивоу,
- смањење трошкова у првој години примене уведених модела одржавања на бази ризика и то кроз елиментацију плаћања пенала услед неиспоштовања уговореног термина испоруке енергије у зимском периоду која је јако битна за потрошаче који се греју на овај вид грејања, оптимизације профила људи и њиховог броја у служби одржавања.

Научни допринос истраживања значај и допринос ове дисертације је истраживање у врло значајној области-поузданости парних турбина. Развијени модели значајно унапређују истраживања у тој области.

Први научни допринос је у дугогодишњем сакупљању експлоатационих података који су били потребни за формирање математичког модела у једном врло сложеном термоенергетском систему.

Други научни допринос се огледа у обради сакупљених података експлоатационих података, како

би се на најбољи начин применили на развој математичког модела.

Трећи научни допринос је развој математичког модела пет могућих стања, у којима се парне турбине могу налазити, а који представља надоградњу Марковљевог модела четири стања са новим петим стањем, дијагностика стања (DI)

Четврти научни допринос је развој модела одржавања на бази ризика и његовог утицаја на поузданост парних турбина у виду алгоритма, а који уједно подржава и математички модел пет могућих стања у којима се парне турбине могу налазити. Модел одржавања представља методологију праћења експлоатације и одржавања парних турбина и повишење нивоа поузданости парних турбина у процесу експлоатације.

Пети научни допринос је имплементација модела пет могућих стања на посматране парне турбине где су одређени оптимални тренутци превентивних периодичних поправки или одржавања, са датим вероватноћама у појединим стањима на годишњим нивоима

Шести научни допринос је у дугогодишњем праћењу непланских застоја-отказа са коментаром узрока застоја-отказа у експлоатацији парних турбина у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“.

Седми научни допринос је примена развијеног модела одржавања на бази ризика у периоду око две године, где су смањени неплански застоји-откази за 74,75 процената и повећана поузданост са 0.9975 на 1.00 за посматране турбине у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“ Нови Сад, такође, остварене су знатне уштеде због смањених трошкова одржавања и смањења губитака у производњи топлотне и електричне енергије, чиме је и потврђена успешност развијеног модела.

Осми научни допринос је примена развијеног модела одржавања на бази ризика у Термоелектрани Костолац на турбогенератору у периоду око две године. Табеларно су приказани откази на појединим склоповима пре и после примене модела, где је смањен број отаказа, затим су дати на графиконима прузроковани губици у производњи због оправке турбогенератора, као и повећање нивоа управљања дијагностичком опремом. На дијаграмима је приказана поузданост турбогенератора пре и после примене модела одржавања на бази ризика, овде је уочена већа поузданост турбогенератора, где је у 2016 години повећана на 0,95 а у 2017 години износила је 0,97. Спроведена је и анализа Делфи методе, метода логичке анализе и анализа примене матрица са проценом ризика у Термоелектрани-топлани „Нови Сад“ Нови Сад.

Оригиналност докторске дисертације је, да су се на основу теоријских и емпиријских сазнања развили оригинални модели одржавања на бази ризика и врло студиозном анализом резултата истраживања дошло до оригиналних научних сазнања. Доказано је да ови модели имају велики утицај на поузданост парних турбина у току експлоатације а самим тим њиховом применом смањују се трошкови одржавања, јер се помоћу њих спречавају непредвиђени откази-застоји, као и велике хаварије постројења. Резултати до којих се дошло током израде докторске дисертације показују значајан научни допринос пошто овакви термоенергетски системи као што су парне турбине не могу се одржавати током функционисања, него је потребно предвидети оптималне временске тренутке извођења одржавања, као и идентификовати деградацију појединих компонената парних турбина која може ако пређе недозвољене границе изазвати застоје-отказе као и велике хаварије.

Комисија сматра да резултати истраживања до којих је кандидат дошао показују да његова докторска дисертација представља оригиналан допринос науци у области Индустијског инжењерства.

Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Комисија сматра да дисертација нема недостатака који би утицали на добијене резултате истраживања.

Комисија је прегледала извештај о подобности и није констатовала никакве неправилности. У дисертацији су коришћене опште прихваћене теорије које се користе у научној области Индустијског инжењерства.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, Комисија предлаже:

да Наставно-научно веће Техничког факултета „Михајло Пупин“ у Зрењанину прихвати докторску дисертацију под називом „Модели одржавања на бази ризика и њихов утицај на поузданост парних турбина“ и да се кандидату **мр Ненаду Станковићу** одобри јавна одбрана.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Проф. др Љиљана Радовановић, ван. проф.,
председник комисије

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

Проф. др Елеонора Десница, ван. проф., члан 2

Доц. др Јасмина Пекез., доцент, члан 3

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



JOURNAL OF THE BALKAN
TRIBOLOGICAL ASSOCIATION

scientific
SCIBULCOM
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

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. MILISAVLJEVIC, 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)

