

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Мр Жељка Р. Ђуришића, дипл. инжењера електротехнике

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 757 од 18.12.2012. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Мр Жељка Р. Ђуришића под насловом

Моделовање и анализа утицаја просторног и временског профила снаге ветра у пројектовању и експлоатацији ветроелектрана у електроенергетском систему

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Магистарски рад под насловом "Развој алгоритама за дигиталне фреквенцијске релеје у условима великих изобличења улазних сигнала" кандидат је одбранио 19.4. 006. године.

Кандидат је тему докторске дисертације под насловом "*Моделовање и анализа утицаја просторног и временског профила снаге ветра у пројектовању и експлоатацији ветроелектрана у електроенергетском систему*" пријавио 25.01.2012. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је 07.02.2012. године именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: доц. др Јован Микуловић, проф. др Миленко Ђурић, ванр. проф. др Боривој Рајковић, проф. др Никола Рајаковић, проф. др Златан Стојковић. Извештај Комисије је усвојен на Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду 03.04.2012. године, а Веће области техничких наука Универзитета у Београду дало је на то сагласност 07. 05. 2012.

Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 10.12.2012. године, а Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је 18.12.2012. године именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: доц. др Јован Микуловић, проф. др Миленко Ђурић, ванр. проф. др Боривој Рајковић, проф. др Златан Стојковић, проф. др Слободан Вукосавић.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом "*Моделовање и анализа утицаја просторног и временског профила снаге ветра у пројектовању и експлоатацији ветроелектрана у електроенергетском систему*" припада техничким наукама, ужој научној области Електроенергетски системи за коју је матичан факултет Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторског рада, доц. др Јован Микуловић, је из области Електроенергетских система публиковао 9 научних радова у часописима са SCI листе. У току израде предметне докторске дисертације ментор је, заједно са кандидатом, публиковао 3 рада у врхунским међународним часописима (M21) у којима је приказан део резултата који су допринос докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Жељко Р. Ђуришић је рођен 12. фебруара 1972. године у селу Бабино, Беране, Црна Гора. Основну школу је завршио у родном селу, а средњу електротехничку школу у Беранама. Студије електротехнике је започео на Електротехничком факултету у Подгорици, а 1993. године наставио од друге године студија на Електротехничком факултету у Београду, на смеру Електроенергетски системи (ЕЕС). Дипломски рад „Анализа услова за пребацивање високонапонских асинхроних мотора са једног на други систем сабирница“ је одбранио 1999. године на Електротехничком факултету у Београду. Последипломске студије је уписао 1999. године на смеру Електроенергетске мреже и системи. Магистарски рад “Развој алгоритама за дигиталне фреквенцијске релеје у условима великих изобличења улазних сигнала” је одбранио 2006. године. У току октобра 2008. боравио је на RISO институту - *Danish Technical University*, где је завршио курс за пројектовање ветроелектрана коришћењем програмског пакета *Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)*.

На Електротехничком факултету у Београду запослио се 2001. године у звању асистент приправник при Катедри за ЕЕС. У актуелно звање, асистент при Катедри за ЕЕС, изабран је 2007. године. У настави на Електротехничком факултету у Београду ангажован је на извођењу рачунских вежби из предмета: Механика, Елементи електроенергетских система, Практикум из елемената ЕЕС, Електране, Разводна постројења, Обновљиви извори енергије, Квалитет електричне енергије и Дигиталне релејне заштите.

Области научноистраживачког рада којима се до сада бавио су: обновљиви извори енергије, дигиталне релејне заштите, квалитет електричне енергије, електричне машине, надземни водови и плазма технологије танких превлака. Коаутор је две књиге (уџбеника) и аутор/коаутор 108 научних/стручних радова (9 радова у међународним часописима са SCI листе, 2 рада у међународним часописима који нису на SCI листи, 25 радова на међународним конференцијама, 22 рада у домаћим часописима и 50 радова на домаћим/регионалним конференцијама).

Добитник је једне од четири равноправне награде за најбољи постер рад на међународном научно-стручном скупу *European Wind Energy Conference (EWEC)*, Marseille, France, 2009. Аутор је рада *Карактеристике ветра у јужном Банату и услови интеграције ветроелектрана у ЕЕС Србије*, који је проглашен за најзапаженији реферат у оквиру студијског комитета Ц1 на 30. националном саветовању CIGRE, Златибор, 2011.

Рецензент је међународног часописа (M21) *Renewable & Sustainable Energy Reviews* за област ветроенергетике. Рецензент је домаћих часописа Електропривреда и Електродистрибуција. Рецензент је студија из области енергије ветра за потребе Електропривреде Србије. Члан је Савета и иницијативног одбора секције за обновљиве изворе електричне енергије у Савезу инжењера Србије.

Учествовао је у реализацији већег броја пројеката и руководио израдом више студија из области ветроенергетике. Поседује лиценце за рад са професионалним софтверима за пројектовање ветроелектрана: WAsP, WAsP Engineering и WindPRO. Аутор је елабората *Анализа ветроенергетског потенцијала циљног региона Лескова*, на основу којег је изграђена прва ветроелектрана у Србији снаге 500 kW.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на 255 страна. Дисертација садржи: насловну страну, страну са подацима о ментору и члановима комисије, страну са изразима захвалности, податке о докторској дисертацији на српском језику, податке о докторској дисертацији на енглеском језику, садржај, 10 поглавља, списак коришћене литературе (149 библиографских референци), пет прилога, биографију кандидата, изјаву о ауторству, изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

Поглавља су насловљена: 1. Увод, 2. Тренутно стање и перспективе развоја ветроенергетике, 3. Теоријски аспекти анализе ресурса енергије ветра, 4. Моделовање висинског профила брзине ветра при процени производње ветроелектране помоћу софтвера WAsP, 5. Моделовање висинског профила брзине ветра са распрегнутим утицајем храпавости терена и стабилности атмосфере, 6. Математички модел за процену просечне вишегодишње производње ветроелектране на основу краткорочних мерења брзине ветра, 7. Утицај висинског и временског профила брзине ветра на избор ветроагрегата, 8. Утицај временског профила брзине ветра на економичност рада ветроелектрана, 9. Утицај временског профила брзине ветра на губитке снаге у дистрибутивној мрежи и 10. Закључак.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу истакнут је значај истраживања просторног и временског профила снаге ветра у планирању, пројектовању и експлоатацији ветроелектрана у електроенергетском систему (ЕЕС). У фази планирања кључни проблеми су везани за одређивање микролокације ветроелектране, избор ветроагрегата и процену годишње производње ветроелектране у току њеног експлоатационог века. У фази експлоатације, главни проблем интеграције ветроелектране у ЕЕС представља интермитентност производње и немогућност њеног планирања. Профил производње је диктиран профилем ветра који, за разлику од конвенционалних електрана, не може се планирати. Из тог разлога потребно је анализирати временски профил брзине ветра како би се сагледали ефекти рада ветроелектране са аспекта тржишта електричне енергије, као и утицаја на токове снага у прикључној дистрибутивној мрежи.

У другом поглављу, дат је кратак осврт на постојеће стање и перспективе развоја ветроенергетике у свету. Дат је преглед постојећег стања и трендова у изградњи ветроелектрана у Европи и свету. Истакнуто је да ветроелектране представљају извор електричне енергије са највећим трендом развоја, па из тог разлога истраживање ресурса енергије ветра има посебан значај. Такође је истакнуто да ветроелектране већ на постојећем нивоу развоја имају значајан удео у производњи електричне енергије у Европи и свету, па је проблематика услова интеграције и ефеката рада ветроелектрана на ЕЕС и тржиште електричне енергије врло актуелна. Дат је осврт на трендове развоја технологија ветроагрегата у погледу јединичне снаге. Закључено је да постоји перманентан тренд повећања називне снаге, пречника ветротурбина и висина стубова на којима се постављају ветротурбине. Из тог разлога, истраживање висинског профила брзине ветра представља један од важних аспеката у процени производње ветроелектрана, као и анализи оптерећења ветротурбина током експлоатације.

Треће поглавље представља теоријску основу за анализе које су тема докторске дисертације. У овом поглављу су укратко дати основни елементи физике ветра. Дате су основне релације које дефинишу енергетске карактеристике ветра. Такође су представљени основни елементи и аналитичке релације које се користе у статистичкој анализи ресурса енергије ветра. Посебно су анализирани модели за процену висинског профила брзине ветра, са посебним

освртом на утицај стабилности атмосфере на висински коефицијент смицања ветра. Приказани су основни елементи регионалне анализе ресурса енергије ветра према методологији из Европског атласа ветрова.

У четвртом поглављу је развијен модел за висинску екстраполацију измерених података о брзини ветра за процену производње ветроелектране. Модел се базира на методи минималног средње-квадратног одступања. Коришћењем ове методе развијен је оригиналан математички модел за процену висинског коефицијента смицања ветра за случај када постоје мерења брзине ветра на најмање три мерне висине. Применом овог модела, на основу мерених података на нижим висинама, добија се рачунски (синтетички) сет података на жељеној висини постављања ветротурбине. Естимирана база синтетичких података се може користити као улазни сет за професионалне софтвере за регионалну анализу ресурса ветра, као и процену производње ветроелектрана. Алгоритам је тестиран коришћењем реалних мерених података о брзини ветра са три локације које карактеришу различити топографски и климатски услови. Спроведене анализе показују да предобрада мерених података, према предложеном моделу, даје тачније резултате у процени ресурса енергије ветра и процени производње ветроелектрана у односу на класичну примену програма WAsP који користи податке са само једне мерне висине. Основна предност предложене методологије је да она није зависна од субјективне процене храпавости терена и да уважава дневне и сезонске промене коефицијента смицања ветра. Коришћењем реалних мерених података о брзини ветра, у раду је анализирана грешка модела у процени временског профила брзине ветра на већим висинама на основу мерења профила на нижим висинама. Анализе су извршене за различите временске услове и различите услове стабилности атмосфере. Генерални закључак спроведених тестова је да предложена методологија даје добре резултате у погледу процене висинског профила брзине ветра при свим анализираним карактеристичним метеоролошким условима.

У петом поглављу је развијен модел динамичког коефицијента смицања ветра. Висински профил брзине ветра се у ветроенергетици описује са два основна модела и то степеним законом и логаритамским законом. Оба модела се практично подједнако користе у инжењерској пракси. Комбинујући ова два приступа, у тези су аналитички распрегнути доминантни фактори који утичу на висински профил брзине ветра. У развијеном моделу, висински профил брзине ветра се моделује коефицијентом смицања ветра који има две компоненте: једну статичку, којом се моделује утицај храпавости терена, и другу, временски променљиву компоненту, која уважава дијабатске промене висинског профила брзине ветра. На основу предложеног модела развијен је алгоритам за регионалну анализу потенцијала енергије ветра на основу дистрибуираних мерења на ниским мерним стубовима. Подаци о брзини ветра измерени на нижим стубовима се екстраполирају на жељену висину коришћењем развијеног модела са распрегутим статичким и динамичким коефицијентом смицања ветра. Овај приступ може имати практичну применљивост за израду атласа ветрова неког региона, као и у фази иницијалног истраживања ветроенергетског потенцијала у циљу проналажења најповољнијих локација за изградњу ветроелектрана. Верификација практичне применљивости развијеног модела је извршена на примеру истраживања ресурса енергије ветра у региону села Лескова код Тутина. Коришћењем развијеног модела извршено је оптимално микролоцирање и процена годишње производње за прву ветроелектрану која је изграђена у Србији. Овај и други спроведени тестови показују добру практичну применљивост развијеног модела.

У шестом поглављу је развијен модел за вишегодишњу процену потенцијала енергије ветра на основу краткорочних мерења. Краткорочна мерења (једногодишња) не могу бити поуздан репрезент потенцијала ветра, јер мерења могу бити спроведена у години која је мање или више ветровита од просечне за вишегодишњи период за који је планирана експлоатација ветроелектране (обично је експлоатациони век ветроелектране 20–25 година). У циљу смањења несигурности у процени просечне вишегодишње производње ветроелектране на

основу краткорочних мерења, потребно је вршити корелационе анализе са вишегодишњим мерним подацима из референтне хидрометеоролошке станице. У овом поглављу предложен је модел са дијабатском корекцијом мерних података, који је интегрисан у алгоритам за линеарну корелационо-предиктивну анализу. Практична применљивост модела је демонстрирана на примеру процене производње перспективне ветроелектране на локацији Перлез. На основу измерених једногодишњих података о брзини ветра на локацији ветроелектране и вишегодишњих података (за период од 20 година) о мерењима брзине ветра на локацији Сурчин – аеродром, извршена је процена просечне вишегодишње производње ветроелектране. Увођењем дијабатске корекције у процени висинског профила добијен је поузданији модел за процену просечне годишње производње ветроелектране у току њеног експлоатационог века.

У седмом поглављу анализиран је утицај висинског и временског профила брзине ветра на избор основних компоненти ветроагрегата. На основу развијеног модела за висинску екстраполацију мерних података о брзини ветра извршена је анализа утицаја избора: висине стуба, пречника ветротурбине и називне снаге ветрогенератора на годишњу производњу електричне енергије. Анализе су извршене на основу расположивих мерених података о брзини ветра на локацији Баваништанско поље и реалних карактеристика снаге комерцијалних ветротурбина. Дефинисан је модел и извршена процена трошкова производње ветроагрегата за различита варијантна решења. Спроведене анализе дају подлогу за оптималан избор компоненти ветроагрегата при планирању и пројектовању ветроелектране на одређеној локацији.

Осмо поглавље се бави економском валоризацијом електричне енергије произведене у ветроелектранама у условима слободног тржишта. За сагледавање економичности пројекта ветроелектране у условима слободног тржишта, поред процене годишње производње, потребно је анализирати и профил производње ветроелектране, који је диктиран временским профилем брзине ветра. Дефинисан је индекс корелације између профила производње и профила цене на берзи електричне енергије. За процену овог индекса потребно је имати мерене податке о просечном дневном и сезонском профилу брзине ветра на локацији ветроелектране, као и просечном дневном и сезонском профилу цена на анализираној берзи. Дефинисани индекс корелисаности омогућава инвеститору да прецизније сагледа економичност пројекта ветроелектране, као и вредност просечног произведеног MWh на берзи електричне енергије. За сваку берзу електричне енергије могу се дефинисати теоријске граничне вредности индекса корелисаности, које су функције само фактора капацитета ветроелектране. Упоредном анализом процењеног индекса корелисаности за неку ветроелектрану и одговарајућих граничних вредности, може се проценити квалитет ветра у погледу дневног и сезонског профила. Практична применљивост развијеног математичког модела је демонстрирана на примеру перспективне ветроелектране у јужном Банату за коју је претпостављено да пласира електричну енергију на Европској берзи електричне енергије (EEX). Закључци ове анализе показују да је у анализираном региону корелисаност између цене електричне енергије на берзи и дијаграма производње перспективних ветроелектрана релативно слаба, што ће, у извесној мери, умањити профит власнику ветроелектране у односу на процену према средњој цени електричне енергије на берзи.

У деветом поглављу је дефинисана методологија и одговарајући индекси за квантитативну процену утицаја временског профила производње ветроелектрана на губитке у дистрибутивној мрежи. Губици електричне енергије у дистрибутивној мрежи са прикљученим ветроелектранама су резултат сучељавања дијаграма потрошње и дијаграма производње у елементима дистрибутивног система (водовима и трансформаторима). Уведен је и аналитички дефинисан индекс који представља меру квалитета временског дијаграма производње ветроелектране у погледу утицаја на губитке електричне енергије у прикључној дистрибутивној мрежи. Уведени индекс има општи карактер и за његов прорачун потребно је познавати профил релативне потрошње и профил релативне производње одабраног

ветроагрегата. Његова бројна вредност представља релативну промену годишњих губитака енергије на дистрибутивном воду након прикључења ветроелектране. Тестирање развијених модела је вршено на примеру реалне дистрибутивне мреже, коришћењем реалних мерених података о брзини ветра. Спроведене анализе показују да се, уз концепт комбинованог управљања напонима у дистрибутивној мрежи, могу постићи вишеструки позитивни ефекти рада ветроелектране у погледу: смањења губитака, побољшања напонских прилика и растерећења елемената у дистрибутивној и преносној мрежи. Спроведене анализе омогућавају дистрибутивним компанијама да сагледају утицај прикључења неке ветроелектране на промену губитака у прикључној мрежи. Спроведене анализе намећу потребу и дају подлогу за ревизију техничких препорука, које регулишу услове прикључења малих електрана на дистрибутивну мрежу, како би се, уважаио позитиван ефекат рада ветроелектрана, као и осталих дистрибуираних извора, на дистрибутивну мрежу.

Десето поглавље је закључак. Набројани су и јасно истакнути резултати и доприноси дисертације. Посебно су наглашене практичне примене развијених модела. Такође су истакнути и могући правци даљег развоја појединих модела.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Ветроенергетика је област енергетике са највећим трендом развоја у Европи и свету у последњих десет година. С обзиром на постојеће трендове, као и усвојене акционе планове којима је планиран даљи интензиван развој ветроенергетике на глобалном нивоу, истраживање ресурса енергије ветра и интеграција ветроелектрана у ЕЕС представљају врло акутелну проблематику.

Математички модели, који су развијени у предметној дисертацији, представљају оригиналан приступ и допринос у погледу: процене висинског профила брзине ветра на основу мерења на нижим висинама, регионалне анализе потенцијала енергије ветра и унапређења методологије процене годишње производње ветроелектране помоћу наменских професионалних софтвера.

У дисертацији је развијена методологија и дефинисане су оригиналне аналитичке форме индекса за валоризацију електричне енергије произведене у ветроелектранама у условима слободног тржишта. Извршена је анализа и дефинисани су оригинални квантификатори за оптимизацију називне снаге ветроелектране и процену њеног утицаја на губитке у дистрибутивном систему.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У својој дисертацији, кандидат је детаљно претражио постојећу литературу и коректно навео референце које су у вези са темом дисертације. Коришћена литература у потпуности задовољава критеријуме доброг покривања области истраживања, адекватности и савремености анализе најновијих резултата и трендова развоја у области истраживања. Наведено је 149 библиографских референци, од којих је 33 публиковао (као аутор или коаутор) Жељко Ђуришић.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације под насловом "*Моделовање и анализа утицаја просторног и временског профила снаге ветра у пројектовању и експлоатацији ветроелектрана у електроенергетском систему*" састоји се у следећем:

- Детаљно је проучена литература из области истраживања ресурса енергије ветра, са посебним освртом на анализу висинског профила брзине ветра. Развој нових метода се базира на постојећој инжењерској пракси у циљу развоја нових и унапређењу постојећих модела који могу имати директну практичну применљивост у примени постојећих рачунарских програма за анализу ресурса ветра и процену производње ветроелектрана.
- Применом методе минималног средње-квадратног одступања развијен је модел за висинску екстраполацију мерених података о брзини ветра за процену производње ветроелектране применом професионалног рачунарског програма WASP. Метода минимума квадрата је најчешће коришћена оптимизациона техника у готово свим научним дисциплинама и одликује се великом поузданошћу, па је и у овој примени адекватна. Развијени модел карактерише висок степен поузданости и робусности.
- Извршено је тестирање развијеног модела коришћењем једногодишњих наменских мерења брзине ветра, која је кандидат спровео помоћу професионалне мерне опреме на три микролокације које карактерише различита топографија терена и различити климатски услови (равничарски, брдовит и планински терен). Извршена је компаративна анализа резултата добијених применом постојеће методологије и новог приступа који је развијен у дисертацији. Резултати указују да се применом новог модела могу добити прецизније процене производње ветроелектрана.
- Извршено је тестирање развијеног модела кроз упоредну анализу са референтним моделом који се базира на Монин-Обуховој теорији сличности. Тестирање је извршено на основу наменских мерења више физичких величина која је кандидат спровео на локацији код места Сутјеска код Сечња. Упоредна анализа новог и референтног модела је извршена за четири карактеристична ветровита дана са различитим временским условима и различитим условима стабилности атмосфере. Резултати анализе показују да је предложени модел поузданији и чини мању грешку нарочито у условима јако стабилне атмосфере.
- Практична применљивост развијеног модела за висинску екстраполацију мерних података о брзини ветра је демонстрирана на проблему оптималног избора компоненти ветроагрегата. Кроз анализу трошкова производње за различита варијантна решења ветроагрегата на локацији Баваништанско поље, показано је да од висинског и временског профила брзине ветра зависи оптималан избор: висине стуба, пречника ветротурбине и називне снаге ветрогенератора.
- Полазећи од логаритамског и степеног закона, као најчешће коришћених модела за процену висинског профила брзине ветра у инжењерској пракси, развијен је нови модел у којем су распрегнути утицаји храпавости терена и стабилности атмосфере на висински профил брзине ветра.
- Тестирање развијеног модела, описаног у претходној тачки, извршено је коришћењем упоредних мерених података о брзини ветра на локацијама Баваништанско поље и Перлез у Банату. Поред овог теста, у дисертацији су презентовани резултати примене развијеног модела у планирању и процени производње прве ветроелектране у Србији, која је изграђена на локацији код села Лескова код Тутина.
- Извршено је унапређење алгоритма за процену просечне вишегодишње производње ветроелектране на основу краткорочних мерења. Полазећи од линеарног корелационо-предиктивног алгоритма, који се најчешће користи у инжењерској пракси, развијен је нови приступ у коме је укључена дијабатска корекција мерних података, чиме је постигнута боља корелација и тачнија процена вишегодишње производње.
- Практична применљивост развијеног алгоритма је демонстрирана коришћењем једногодишњих наменских мерења брзине ветра на локацији Перлез у средњем Банату и вишегодишњих мерења брзине ветра у референтној мерној станици аеродром Сурчин.

- Полазећи од модела за процену профила производње ветроелектране и статистичких профила цене електричне енергије на тржишту, извршена је линеарна корелациона анализа и дефинисане су одговарајуће аналитичке форме корелационих индекса.
- Практични значај и применљивост дефинисаних корелационих индекса су у дисертацији демонстрирани на примеру перспективне ветроелектране Баваништанско поље са претпоставком да се пласман произведене електричне енергије врши на берзи ЕЕХ.
- Полазећи од основних једначина за прорачун токова снага и напонских прилика на енергетском воду, као и развијених модела за процену временског профила производње ветроелектрана и временских дијаграма потрошње, извршена је анализа утицаја ветроелектрана на губитке снаге у прикључној дистрибутивној мрежи. Уз прихватљиве апроксимативне претпоставке, извршена је анализа сучељавања профила производње ветроелектрана и профила потрошње. Као резултат спроведене анализе аналитички су дефинисани одговарајући индекси за процену утицаја ветроелектрана на губитке у дистрибутивној мрежи.
- Практична применљивост развијених модела, описаних у претходној тачки, извршена је на примеру прорачуна губитака и напонских прилика у реалној дистрибутивној мрежи у средњем Банату.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати и доприноси докторске дисертације имају значајну практичну применљивост у фази планирања и пројектовања ветроелектрана, као и сагледавање ефеката рада ветроелектрана на тржиште електричне енергије и губитке у дистрибутивној мрежи у фази експлоатације.

Математички модели за висинску и просторну екстраполацију мерних података о брзини ветра, који су развијени у предметној дисертацији, имају директну практичну применљивост за: процену висинског профила брзине ветра на основу мерења на нижим висинама, регионалну анализу потенцијала енергије ветра, оптималан избор компоненти ветроагрегата, процену годишње производње ветроелектране и процену просечне вишегодишње производње ветроелектране на основу краткорочних мерења. Практична применљивост свих развијених модела је тестирана на основу реалних мерених података о брзини ветра који су добијени наменским мерењима на локацијама са различитим топографским и климатским условима. Развијени модели омогућавају смањење грешке и несигурности у процени производње ветроелектрана, као и смањење трошкова истраживања потенцијала енергије ветра у неком региону. Једна од методологија, која је развијена у докторској дисертацији, успешно је примењена за анализу ветроенергетског потенцијала циљног региона Лескова – Тутин. На основу спроведене анализе извршен је избор микролокације у анализираном региону и процена производње прве ветроелектране у Србији.

У дисертацији су развијене методологије и експлицитне форме индекса за процену ефеката дневног и сезонског профила производње на економичност ветроелектрана у условима рада на слободном тржишту. Дефинисани индекси омогућавају инвеститорима ветроенергетских пројеката да сагледају квалитет ветра у погледу његовог дневног и сезонског профила и прецизније процене економских параметара рада ветроелектране.

Практични допринос дисертације је значајан и у погледу процене утицаја ветроелектране на губитке снаге у прикључној дистрибутивној мрежи. Спроведене анализе и дефинисани индекси омогућавају дистрибутивним компанијама да сагледају утицаја рада неке ветроелектране на губитке, односно трошкове рада ветроелектране у дистрибутивној мрежи.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је у својој дисертацији показао систематичност, свеобухватност и зрелост. Посебно треба истаћи да је ветроенергетика, област којом се кандидат бави, веома актуелна, а да сви добијени резултати значајно унапређују постојећа решења, тако да су доприноси у овој дисертацији оригинални и потврђују способност кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У дисертацији под насловом "Моделовање и анализа утицаја просторног и временског профила снаге ветра у пројектовању и експлоатацији ветроелектрана у електроенергетском систему" остварени су следећи научни доприноси:

- Развијен је нови модел за висинску екстраполацију мерених података о брзини ветра за процену производње ветроелектране применом софтверског програма WAsP.
- Развијен је нови модел висинског профила брзине ветра у којем су распрегнути утицаји храпавости терена и стабилности атмосфере.
- Унапређена је метода и развијен је одговарајући алгоритам за процену вишегодишње просечне производње ветроелектране на основу краткорочних мерења брзине ветра на основу линеране корелационо-предиктивне анализе.
- Дефинисана је методологија и развијене су одговарајуће аналитичке форме индекса за квантитативну процену утицаја временског профила производње ветроелектрана на економичност њеног рада у условима слободног тржишта електричне енергије.
- Дефинисана је методологија и развијене су одговарајуће аналитичке форме индекса за квантитативну процену утицаја временског профила производње ветроелектрана на губитке снаге у дистрибутивној мрежи.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем циљева истраживања, полазних претпоставки и остварених резултата констатујемо да је кандидат успешно одговорио на све постављене захтеве. Развијени математички модели дају значајно унапређење инжењерске праксе у фази пројектовања и експлоатације ветроелектрана и то у погледу: једноставнијих и јефтинијих приступа у истраживању потенцијала енергије ветра и идентификовању погодних микролокација за изградњу ветроелектрана, смањења несигурности у процени годишње производње електричне енергије ветроелектрана, бољем сагледавању економичности рада ветроелектрана у условима слободног тржишта и сагледавању оптималних услова прикључења ветроелектране на дистрибутивну мрежу са аспекта утицаја на губитке снаге.

4.3. Верификација научних доприноса

У току свог истраживачког рада, у ужој области теме докторске дисертације, Жељко Ђуришић је објавио следеће радове:

Врхунски међународни часописи (Категорија M21):

- [1] Đurišić, Ž., Mikulović J.: Assessment of the wind energy resource in the south Banat region, Serbia, -*Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 5, pp. 3014-3023, 2012 (IF 6.018) (ISSN 1364-0321)
- [2] Đurišić, Ž., Mikulović J.: A model for vertical wind speed data extrapolation for improving wind resource assessment using WAsP, -*Renewable Energy*, vol. 41, pp. 407-411, 2012 (IF 2.978) (ISSN 0960-1481)
- [3] Đurišić, Ž., Mikulović J., Babić I.: Impact of wind speed variations on wind farm economy in the open market conditions, -*Renewable Energy*, vol. 46, pp. 289-296, 2012 (IF 2.978) (ISSN 0960-1481)

Саопштења са међународних скупова штампана у целини (Категорија M33):

- [4] Marković U., Todorović D., Đurišić Ž., Prediction of production of perspective wind farms in South-Banat region, Serbia, -*Proceedings of European Wind Energy Conference (EWEA 2013)*, Wien, Austria, February 2013.
- [5] Sučević N., Đurišić Ž., Influence of atmospheric stability variation on uncertainties of wind farm production estimation, -*Proceedings of European Wind Energy Conference (EWEA 2012)*, Copenhagen, Denmark, April, 2012.
http://www.ewec2010proceedings.info/ewea2012/allfiles2/1475_EWEA2012presentation.pdf
- [6] Sučević N., Đurišić Ž., Vertical wind speed profiles estimation recognizing atmospheric stability, -*Proceedings of Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011 10th International Conference on*, Print ISBN: 978-1-4244-8779-0, Rome, Italy, May 2011, pp. 1-4, DOI: 10.1109/EEEIC.2011.5874647
- [7] Poučković B., Đurišić Ž., Current carrying capacity of overhead line that connects wind power plant to the grid, -*Proceedings of Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011 10th International Conference on*, Print ISBN: 978-1-4244-8779-0, Rome, Italy, May 2011, pp. 1-4, DOI: 10.1109/EEEIC.2011.5874797
- [8] Đurišić Ž., Mikulović J., Babić I., Đedović M., Matematički model za visinsku ekstrapolaciju merenih rezultata o brzini vetra pri proceni vetroenergetskih resursa korišćenjem softvera WAsP, Proc. of Conference of Industrial Electronics - INDEL, Banja Luka, November 2010.
- [9] Đurišić Ž., Rajaković N., Nenčić I., Pejičić S., Hybrid wind-diesel system for electricity supply of isolated consumers in South-Banat region (Serbia), -*Proceedings of European Wind Energy Conference (EWEC 2009)*, Marseille, France, March 2009.
http://proceedings.ewea.org/ewec2009/allfiles2/409_EWEC2009presentation.pdf
- [10] Đurišić Ž., Bubnjević M., Mikičić D., Rajaković N., Wind Atlas of Serbian Region Vojvodina, -*Proceedings of European Wind Energy Conference (EWEC 2007)*, Milano, Italy, May 2007, Ref. BL3.86,
http://www.ewec2007proceedings.info/allfiles2/249_Ewec2007fullpaper.pdf
- [11] Đurišić Ž., Rajaković N., Mikičić D., Bubnjević M., Feasibility analysis of wind-plant in the region of Deliblatska Peščara (Serbia), -*Proceedings of 6th Balcan Power Conference*, Ohrid, Macedonia, June 2006. ISBN:961-243-040-3

Саопштења са међународних скупова штампана у изводу (Категорија M34):

- [12] Đurišić Ž., Trifunović J., Zindović M., Milinković M., Babić I., Mišković M., Dobrić G., Kerečki S., Assessment of wind power resource in Belgrade region, -*Proceedings of European Wind Energy Association (EWEA 2012)*, Copenhagen, Denmark, April, 2012, Poster session PO.122. <http://www.ewec2010proceedings.info/ewea2012/proceedings/ewec.php?id=487>

- [13] Stojanović M., Šijaković N., Mikulović J., **Đurišić Ž.**, Impact of large scale wind farm integration to active power losses in transmission network of Serbia , -*Proceedings of European Wind Energy Conference (EWEC 2010)*, Warsaw, Poland, April, 2010, Poster session PO.344.
<http://events.ewea.org/ewec2010/conference/conference-proceedings/conference-proceedings-usb/>
- [14] **Đurišić Ž.**, Poučković B., Real current carrying capacity of overhead line for wind farm connection to power system , -*Proceedings of European Wind Energy Conference (EWEC 2010)*, Warsaw, Poland, April, 2010. Poster session PO.345
<http://events.ewea.org/ewec2010/conference/conference-proceedings/conference-proceedings-usb/>
- [15] **Đurišić Ž.**, Rajaković N., Krička P., Obradović M., Impact of Daily and seasonal variations of a wind speed on Wind Farm economy in the open market conditions, -*Proceedings of European Wind Energy Conference (EWEC 2009)*, Marseille, France, Marth 2009, Poster session PO. 38. <http://proceedings.ewea.org/ewec2009/proceedings/index.php?page=zip>

Водени часописи националног значаја (Категорија М51):

- [16] **Đurišić Ž.**, Đukić B., Šijaković N., Balkoski D., Popović D., Analiza karakteristika vetra u južnom Banatu i uslovi integracije vetroelektrana u EES Srbije, *Elektroprivreda*, vol. 64, br. 3, 2011, str. 256-270, ISSN 0013-5755.
- [17] **Đurišić Ž.**, Rajaković N., Mikičić D., Bubnjević M., Mapa vetroenergetskog potencijala Vojvodine, *Energija*, br. 1-2, Mart 2007, str 118 – 120, ISSN: 0354-8651.
- [18] **Đurišić Ž.**, Rajaković N., Perspektivne tehnologije distribuirane proizvodnje električne energije, *Energija*, br. 2, Jun 2005. ISSN: 0354-8651, str. 151 – 159.
- [19] Rajaković N., **Đurišić Ž.**, Distribuirana proizvodnja električne energije – definicije i podele, *Energija*, br. 2, Jun 2005, str. 140 – 144, ISSN: 0354-8651.
- [20] Mikičić D., **Đurišić Ž.**, Radičević B., "Vetrogeneratori – perspektivni izvori električne energije", pregledan rad, *Elektroprivreda*, vol. 55, br. 4, 2002, str. 46-58, ISSN 0013-5755.

Часописи националног значаја (Категорија М56):

- [21] **Đurišić Ž.**, Zindović M., Uslovi razvoja projekta perspektivne vetroelektrane u južnobanatskom regionu, *Energetičar*, Izdavač: Savez energetičara Republike Srpske, br. XIV, 2009. pp. 9-18.

Саопштења са домаћих скупова штампана у целини (Категорија М63):

- [22] **Đurišić Ž.**, Analiza resursa energije vetra u južnom Banatu, Zbornik radova 30 savetovanja CIGRE, Zlatibor 2011, Referat: C1–R03, http://www.cigresrbija.org/?page_id=59
- [23] Nenčić I., **Đurišić Ž.**, Analiza nesigurnosti WAsP modela u proceni proizvodnje vetroelektrane na kompleksnom terenu, Zbornik radova 30 savetovanja CIGRE, Zlatibor 2011. Referat: C6–04, http://www.cigresrbija.org/?page_id=59
- [24] **Đurišić Ž.**, Mikulović J., Babić I., Analiza uticaja vremenske promene brzine vetra na ekonomičnost vetroelektrana, Zbornik radova prve konferencije o obnovljivim izvorima električne energije, SMEITS, Beograd, Septembar, 2011.
- [25] **Đurišić Ž.**, Obradović M., Arsenijević N., Uslovi razvoja projekta vetroparka „Bavaništansko polje“ snage 188 MW, Zbornik radova, 29 savetovanje CIGRE, Zlatibor, 2009. Referat: C6-06, http://www.cigresrbija.org/?page_id=55

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега претходног, Комисија констатује да дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Комисија сматра да докторска дисертација Мр Жељка Ђуришића садржи оригиналне научне доприносе, који могу имати значајну практичну применљивост у области ветроенергетике и електроенергетских система.

На основу свега изложеног, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом *"Моделовање и анализа утицаја просторног и временског профила снаге ветра у пројектовању и експлоатацији ветроелектрана у електроенергетском систему"* кандидата Жељка Ђуришића прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Доц. др Јован Микуловић,
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

.....
Проф. др Миленко Ђурић,
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

.....
Ванр. проф. др Боривој Рајковић,
Физички факултет Универзитета у Београду

.....
Проф. др Златан Стојковић,
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

.....
Проф. др Слободан Вукосавић,
Електротехнички факултет Универзитета у Београду