

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Владимира М. Шилкута

Одлуком бр. бр. 5014/08-3 од 30.6.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Владимира М. Шилкута, под насловом

УПРАВЉАЊЕ ПОТРОШЊОМ У ИНТЕЛИГЕНТНИМ ЕНЕРГЕТСКИМ МРЕЖАМА СА ВАРИЈАБИЛНОМ ПРОИЗВОДЊОМ

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

Пријава теме за израду докторске дисертације 30.5.2013. године.

Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације на састанку одржаном 6.6.2013. године.

Наставно-научно веће на седници одржаној 11.6.2013. године донело је Одлуку о именовану Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: редовни професор др Никола Рајаковић (ментор), редовни професор др Иван Шокљев и редовни професор др Драган Тасић, Електронски факултет у Нишу.

Наставно-научно веће на седници одржаној 4.12.2013. године прихватило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације коју је пријавио мр Владимир Шилкут.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 16.12.2013. године дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом „Управљање потрошњом у интелигентним енергетским мрежама са варијабилном производњом”. (број Одлуке од 61206-6062/2-13 16.12.2013. године).

Докторска дисертација предата је 28.5.2015. године.

4.6.2015. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације. Одлука бр. 5014/08-3 од 30.6.2015. године.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада научној области Техничке науке – електротехника, у којој научној области Електроенергетски системи, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. Дисертација третира проблематику управљања електричним оптерећењем (потрошњом) крајњих корисника.

За ментора докторске дисертације одређен је др Никола Љ. Рајаковић, редовни професор Електротехничког факултета у Београду, који се четири деценије бави научно-истраживачким и наставним радом и публиковао је већи број радова из области електроенергетских система у часописима са SCI листе.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Владимир М. Шилкут, дипл.инж.ел, је рођен 12.11.1966. у Београду, где је завршио основно и средњошколско образовање са одличним успехом. Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписује школске 1985/86. године. Дипломирао је 1994. године на Енергетском одсеку, смер Електропривреда, са просечном оценом 7,88. Дипломски рад из области пројектовања рефлекторског осветљења одбранио је са оценом 10.

Од 1995. до 2013. радио је у „Електродистрибуцији Београд“ (ЕДБ), на пословима пројектовања и планирања електродистрибутивних објеката свих напонских нивоа, пословима развоја и истраживања и руководио је радом Лабораторије за мерне и уклопне уређаје, осмисливши њену ревитализацију и модернизацију 2002/03. Руководио је и Центром за интегрисани систем менаџмента (2010-2013), када су у ЕДБ уведена и сертификована четири система менаџмента и акредитовано и овлашћено Контролно тело ЕДБ за оверавање бројила електричне енергије. Октобра 2013. прелази у Дирекцију за дистрибуцију електричне енергије ЈП „Електропривреда Србије“ (ЕПС), у којој је руководио Сектором за трговину и односе са тарифним купцима. Маја 2015. прелази у Сектор за кључне корпоративне пројекте ЕПС. Тренутно руководи Пројектом смањења губитака у електродистрибутивној мрежи и унапређења токова готовине у Оператеру дистрибутивног система.

Током досадашњег радног ангажовања, Владимир Шилкут је израдио многобројне техничке услове за прикључење нових објеката корисника електродистрибутивног система на свим напонским нивоима, сарађивао је на изради урбанистичких услова и планова, студија перспективног развоја мреже Београда, урадио неколико елабората развоја мреже појединих градских подручја, као и бројне пројектне задатке за изградњу нових и реконструкцију постојећих електродистрибутивних објеката свих напонских нивоа. Такође је и ревидовао више пројектних задатака, пројеката, елабората и студија. Истраживао је проблематику губитака електричне енергије и учествовао у развоју методологија за њихову процену, као и метода за прогнозу вршног оптерећења, радио је на статистици грешака бројила електричне енергије, урадио већи број техно-економских анализа истражујући економску густину оптерећења надземних и кабловских водова, као и економско оптерећење енергетских трансформатора. Област његовог стручног интересовања представљају и обновљиви извори (како дистрибуирани, тако и аутономни системи напајања), нове енергетске технологије и системи складиштења енергије, као и утицај њихове примене на рад и стратешко планирање развоја електродистрибутивних система. Радио је на креирању неколико нацрта интерних стандарда ЕДБ и Техничких препорука Електродистрибуције Србије, као и на изради многобројних докумената више система менаџмента у ЕДБ и јединствених модела процедура ЈП ЕПС.

Осим тога, од 1999. до 2002. Владимир Шилкут је волонтерски радио пројекте електричних инсталација и аутономних система напајања у Кареји, на Светој Гори. Током 2001. и 2002.

организоваo је и предводио екипе из ЕДБ које су ове пројекте реализовале. Коаутор је и Пројекта изведеног стања ел. инсталација и напојне мреже манастира Хиландар (1999).

Од 2003. до 2014. радио је и као хонорарни, спољни стручни сарадник на Високој школи електротехнике и рачунарства струковних студија у Београду, најпре на предмету Дистрибуција и продаја електричне енергије, а потом и на предмету Електране и разводна постројења.

Активан је члан стручних комитета CIRED Србије, СТК 1 – Електродистрибутивна постројења и водови, и СТК 6 – Планирање и развој дистрибутивних мрежа, у којима је стручни извештач за теме Утицај електродистрибутивних постројења и водова на животну средину (у СТК-1) и Прогноза потрошње и производње (у СТК-6).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација (без резимеа на српском и енглеском, садржаја, списка литературе и прилога) има 181 страницу. Текст дисертације је распоређен у једанаест поглавља:

- I Увод (21 страница),
- II Преглед страних искустава, пројеката и планова (15),
- III Домаћа искуства и могућности постојећих технологија (21),
- IV Предлог методâ за процењивање капацитета управљивог оптерећења на конзумном подручју ЕДБ (15),
- V Резултати примене предложених метода за процену капацитета DSM/DR (31),
- VI Конципирање DSM/DR програма (9),
- VII Симулација утицаја хипотетичке PV електране и мера DSM/DR на балансирање снаге у одабраном мањем конзумном подручју (25),
- VIII Предлог динамике реализације DSM/DR пројекта за целокупно конзумно подручје ЕДБ и симулација његовог утицаја на раст вршног оптерећења (5),
- IX Предлози метода за прогнозирање вршне снаге након њеног значајнијег и трајнијег смањења (19),
- X Одређивање висине исплативих трошкова DSM/DR модула (18),
- XI Закључци (2).

Списак коришћене референтне литературе и извора података за прорачуне дат је у наставку (на 7 страница), такође разврстано по поглављима, па су, сходно томе, референце нумерисане на одговарајући начин и у тексту дисертације. По форми и садржају списак литературе задовољава стандарде за докторску дисертацију.

У првом прилогу дата је Номенклатура – табеларно приказане и објашњене скраћенице коришћене у тексту, на сликама и у табелама. У другом прилогу дате су две слике са приказом алгоритама спроведених истраживања. Прилози обухватају укупно 5 страна.

Дисертација (са прилозима) садржи укупно 127 слика и 27 табела. Због њихове бројности, оне су такође нумерисане према поглављима у којима се појављују, тако да – слично редним бројевима литературе – нумерација слика и табела садржи и римски број поглавља.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

I У Уводу је дат генерални приказ проблематике управљања потрошњом тј. оптерећењем (DSM) и одзива потрошње (DR), с освртом на њихов положај у ери даље аутоматизације електродистрибутивне мреже и при појави савремених концепата „паметних“ мрежа и „паметних“ мерења. Посебно је указано на измењену улогу и повећан значај DSM/DR програмâ у мрежама са већим уделом дистрибуиране производње из јако флукутирајућих извора, као што су ветрогенератори или фотонапонски панели.

Осим тога, у Уводу су размотрена и питања у вези са тржишном применом DSM и DR програмâ, начином одабира конкретног програма (методе) и проблематиком процене капацитета и могућих ефеката DSM/DR, којој је посвећена посебна пажња у овој дисертацији.

II Преглед страних искустава, пројеката и планова дат је у другом поглављу дисертације. На почетку је дат приказ литературе блиске теми дисертације. Потом су елабориране кључне заједничке карактеристике анализираних пројеката. Указано је на важност архитектуре „паметне“ мреже као подлоге за примену DSM/DR програма, као и на потребу стварања одређених услова на страни купца електричне енергије, ради примене DSM/DR програма. Сагледани су и недостаци постојећих програма и мера DSM/DR, и приказани неки од покушаја да се они превазиђу, увођењем иновативних и унапређених концепата. Указано је и на топлотни капацитет и инерцију зграда, као ресурс за складиштење енергије.

III Домаћа искуства и могућности постојећих технологија размотрене су у трећем поглављу. Посебно је критичком осврту подвргнуто недовољно искоришћење за управљање оптерећењем, иначе скупог, система мрежне тон-фреквентне команде (МТК), на подручју „Електродистрибуције Београд“. Такође је дат приказ тренутног стања развоја система даљинског читавања бројила (AMR), на истом подручју, указујући на проблеме у његовој имплементацији. За оба ова система, приказане су могућности њиховог евентуалног коришћења за управљање потрошњом, посебно у оквирима постојеће регулативе у Србији, када је реч о дневним тарифним ставовима и прописаним временима њиховог коришћења.

IV У наредном поглављу је изнето и размотрено неколико предлога метода за процењивање капацитета (потенцијала) управљивог оптерећења. Њихова употребљивост и тачност анализирани су на основу потребних улазних података и њихове поузданости и конзистентности, као и особина самих метода. На основу тога предложена је примена методе коришћења односа потрошње по нижој и вишој дневној тарифи и – нарочито – методе поређења дневних дијаграма за исти (или приближан) датум у две сезоне са опречним метеоролошким приликама. Ова потоња метода је додатно побољшана поступком нормализације (дељењем утврђене разлике снагâ са поређена два дијаграма, одговарајућом разликом енергија између њих), чиме се додатно сужава опсег процењеног управљивог оптерећења посматраног конзумног подручја.

V Резултати примене предложених двеју метода за процену капацитета DSM/DR приказани су у петом поглављу дисертације, на примеру целокупног конзумног подручја ЕДБ. Претраживањем базе података ЕДБ о потрошњама корисника система, по одговарајућим критеријумима односа потрошње по вишој и нижој дневној тарифи, истражен је укупан капацитет (у MWh) зимског и летњег управљивог оптерећења. Посебно је истражена и групација корисника за које се – на основу постављених критеријума – закључује да за загревање просторија користе ГА-пећи. Метода поређења графика дневних оптерећења за исти или приближан датум у различитим годинама примењена је такође за зимски и вршни летњи период, тј. за карактеристичне датуме. Процењени су (у MW) капацитет конзума ЕДБ у термо-акумулационим уређајима (ГА-пећима и бојлерима), као и у

расхладним уређајима. На примеру једног мањег конзумног подручја (напојеног преко неколико 10 kV водава у центру Београда), са преовлађујућим комерцијалним и јавним делатностима, истражен је и утицај типа дана и преовлађујуће категорије потрошње на процену капацитета DSM/DR овом методом.

- VI Конципирање предлога DSM/DR пројекта за цело конзумно подручје ЕДБ извршено је у шестом поглављу. Пројекат би се састојао из три програма – два која би се применила у првој (DR) фази: програм искоришћења AMR система за DSM/DR и програм побољшања ефикасности коришћења система МТК, док би програм директног управљања потрошњом (DSM) био постепено увођен током наредне фазе. За примену у DSM фази предложени су динамички моделовани термостати и концепт стохастичког управљања оптерећењем и прорачунавања његове расподеле. У овом поглављу приказани су и неопходна хардверска и софтверска подршка једном оваквом, интегрисаном концепту управљања, као и потребно реструктурирање постојеће SCADA.
- VII Симулација утицаја једне хипотетичке PV електране и мера DSM/DR на балансирање снаге, илустрована је у седмом поглављу, на примеру једног одабраног, мањег конзумног подручја, у широј градској зони Београда. Одабран је рејон једне трансформаторске станице (ТС) 10/0,4 kV са два трансформатора, од којих је конзум једног подведен под систем AMR ЕДБ. Управо та чињеница омогућила је увид у стварну расположивост, конзистентност и искористивост података прикупљених преко овог система. Како су они оцењени назадовољавајућим, прибегло се алтернативном и – показало се – поузданијем коришћењу података о електричним оптерећењима са средњенапонске SCADA ЕДБ и њиховом пресликавању на ниво посматране ТС 10/0,4 kV. Што се тиче другог сета потребних улазних података (инсолације тј. могуће производње из соларне електране), коришћени су стварни подаци о производњи постојеће електране на крову СТШ „Раде Кончар“ током исте, 2012. године. Број PV-панела, одабраног типа и снаге (250 W) вариран је до максималног, одређеног према процењеним расположивим кровним површинама у анализираном подручју. Истражена је и у овом поглављу приказана и зависност смањења укупних електричних губитака у мрежи од броја инсталираних PV-панела. Балансирање постојећег оптерећења и производње из PV-електране, анализирано је са и без примене DSM/DR програма. Он је, пак, конципиран према утврђеном специфичном расхладном капацитету просторија у овом подручју, који је одређен на начин осмишљен и приказан у посебном потпоглављу.
- VIII У осмом поглављу дисертације изнет је предлог динамике реализације DSM/DR пројекта за целокупно конзумно подручје ЕДБ (из Поглавља VI) и симулација његовог утицаја на раст вршног оптерећења. Дата је математичка представа моделоване динамике реализације пројекта, по фазама. У овом поглављу су изложени и резултати симулације утицаја примене овог DSM/DR пројекта на годишњу вршну снагу конзума ЕДБ, како енергетски тако и техно-економски. Показано је да примена овог програма може да доведе до значајне стагнације раста вршне снаге и дугорочнијег одлагања инвестирања у нове електроенергетске објекте.
- IX Предлози метода за прогнозирање вршне снаге након њеног значајнијег и трајнијег смањења, које може да наступи применом DSM/DR програмâ и мерâ, изнети су и објашњени у деветом поглављу. Осим овог проблема, који примену екстраполационих метода чини неадекватном, овде је дат и преглед неких општих, свеприсутних прогностичких проблема, као што су тзв. трансфери оптерећења. Предложене методе ублажавају или чак елиминишу те проблеме. За моделовање ефеката примене DSM/DR пројекта на целом конзумном подручју ЕДБ препоручена је метода суперпозиције раста оптерећења и утицаја поремећаја (овде: примене DSM/DR програма), уз моделовање успореног засићења раста вршне снаге помоћу ланчаног индекса. Коришћењем ове методе симулиран је и приказан раст вршног годишњег оптерећења конзума ЕДБ, до планског хоризонта, у условима реализације предложеног DSM/DR пројекта. За примену

у мањим конзумним подручјима посебно погодна може бити метода симулирања нових услова у прошлости. У оквиру ње, предложена је и једна нова прогностичка функција, за моделовање успореног раста вршне снаге.

- X Методологија за одређивање висине исплативих трошкова DSM/DR модула осмишљена је и изложена у десетом поглављу дисертације. Суштина методологије је у поређењу трошкова двеју планерских варијанти – увођења савременог система за управљање оптерећењем и изградње нових електроенергетских објеката, која је потребна уколико нема управљања оптерећењем и последичног смањења вршне снаге. Разлика у вршној снази која би се имала на крају периода увођења DSM/DR, еквивалентирана је новим електроенергетским објектима (потребним за подмирење те снаге) и њиховим капиталним трошковима сведеним на садашњу вредност. Овај износ представља горњу границу исплативости увођења DSM/DR пројекта, у том истом временском периоду. Са друге стране, срачунати су и на садашњу вредност сведени трошкови увођења DSM/DR пројекта. Они су срачунати како за усвојене референтне тако и за максималне претпостављене јединичне цене и број свих елемената система за управљање оптерећењем. Показано је да је у првом случају DSM/DR пројекат упола јефтинији од изградње нових капацитета, док је она нешто исплативија у другом (мало вероватном) случају. Спроведена је и анализа осетљивости, мењајући вредност једног по једног улазног параметра, док су остали задржавали своје референтне вредности. Показује се да је опција DSM/DR пројекта повољнија од изградње нових капацитета, у широком опсегу промене улазних параметара.
- XI У завршном, једанаестом поглављу дисертације, изнети су кључни закључци свих спроведених истраживања и сумирани њихови резултати.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

На основу прегледане докторске дисертације Комисија сматра да она обрађује веома актуелну проблематику управљања потрошњом у савременим електродистрибутивним системима, који су у све већој мери аутоматизовани и изложени упливу дисперговане производње, најчешће из обновљивих извора снажно флукутирајуће снаге. Актуелност и значај истраживања у овој области појачани су чињеницом да у таквим околностима управљање оптерећењем може да поприми и функцију складиштења вишкова енергије у систему и да допринесе оптимизацији његовог рада.

С обзиром на различите и често опречне оцене успешности примене програмâ за управљање оптерећењем и одзива потрошње, на које се може наићи у расположивој литератури, истражени су узроци и закључено је да је један од важних, првих корака добро иницијално процењивање капацитета управљивог оптерећења у посматраном конзумном подручју. Због тога су у првом делу дисертације истражене могућности примене различитих метода процене удела управљивог оптерећења. На основу доступности, релевантности и конзистентности улазних података, посебно је сугерисана примена једне нове, веома једноставне, практичне методе, која се заснива на поређењу хронолошких дневних дијаграма оптерећења неког подручја, забележених истог (или приближног) датума у две или више календарских година, са различитим метеоролошким приликама. Додатно, ова метода је унапређена нормализацијом вредности утврђених разлика оптерећења, што доводи до сужавања опсега оптерећења у коме треба тражити износ управљивог капацитета (потенцијала). Примена ове методе је у дисертацији илустрована на примеру интегралног конзумног подручја Београда, за кога је квантификован зимски капацитет управљивог оптерећења (који лежи махом у ТА-пећима и акумулационим бојлерима), као и летњи (капацитет расхладних уређаја).

У оквиру истраживања вршног летњег капацитета управљивог оптерећења, изложена је и оригинална методологија за одређивање износа електричне снаге коју је потребно додатно ангажовати по степену повишења средње дневне температуре. Ова величина названа је специфични расхладни капацитет просторија, и може се директно користити при моделовању конкретних програма за управљање оптерећењем, што је у дисертацији и илустровано, на примеру конзумног подручја једне ТС 10/0,4 kV. Сама методологија одређивања расхладног капацитета заснива се на моделовању зависности вршног оптерећења од спољашње температуре у најтоплијим летњим месецима, упросечавању забележених вредности оптерећења по унапред утврђеном кораку опсега температуре (овде: 2 °C), и на потоњој линеаризацији добијене функције. Нагиб добијене праве (у kW/°C) представља специфични расхладни капацитет (свих) просторија на посматраном конзумном подручју.

Надаље је у дисертацији конципиран модел и дат предлог техничке изведбе система за управљање потрошњом, који се заснива на примени савремених уређаја, концепата и система комуникације. Користиле би се „паметне“ утичнице, динамички моделовани термостати и/или додатни уређаји за прикључење крајњих трошила и за подешавање нивоа селективности њиховог даљинског укључивања/искључивања, „капије“ подручја кућне мреже (Gateway, Home Area Network), ZigBee концепт, PLC, концентратори података, модеми, GPRS/Internet веза.

У дисертацији је изложен и предлог методологије за оцену исплативости увођења и примене једног оваквог система за управљање потрошњом. Методологија се базира на поређењу трошкова увођења тог система са инвестиционим трошковима нових електроенергетских објеката, који би морали да се граде у случају изостанка примене овог система и – последично – изостанка ефекта стагнације или смањења вредности годишњег вршног оптерећења.

Да би се коректно квантификовали енергетски ефекти евентуалне примене предложеног система за управљање потрошњом, у дисертацији је предложена и елаборирана алтернативна метода прогнозе вршног оптерећења, примењива у условима значајног и дуготрајнијег смањења вредности годишњег вршног оптерећења. Предложена је и једна нова, оригинална прогностичка функција, којом се може моделовати успорени раст вршног оптерећења.

Утицај обновљивих извора са интермитентном производњом на балансирање оптерећења, илустрован је примером конзумног подручја ТС 10/0,4 kV (истог оног за кога је утврђен специфични расхладни капацитет просторија), на коме је симулиран погон варираног броја фотонапонских панела, који би били постављени на крововима тамошњих зграда. Размотрени су резултати симулација балансирања снага са и без присуства одговарајућег програма управљања потрошњом. На основу добијених резултата и прорачуна смањења укупних губитака у посматраном делу дистрибутивног система, закључено је да се оптималан број фотонапонских панела има за највеће релативно смањење губитака, тј. када су губици активне снаге минимални.

С обзиром на комплексност и актуелност теме, као и на свеобухватност, обим и резултате обављених истраживања, Комисија закључује да је урађена дисертација по свом значају на научном нивоу који задовољава све стандарде за израду докторске дисертације и да добијени резултати представљају научни и практични допринос у односу на постојеће стање и да отварају простор за даља истраживања, као и ширу примену предложених метода.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат је у дисертацији користио савремену и релевантну литературу и коректно је навео доступне референце, које су у вези са темом дисертације. Коришћена литература у потпуности испуњава захтеве доброг покривања области истраживања, адекватности и савремености спроведених анализа најновијих резултата и трендова у области истраживања.

Наведено је, по поглављима, укупно 105 референци, од тога 89 различитих, од којих се њих 13 појављује у два или више поглавља у дисертацији. На списку референтне литературе је седам књига (пет страних и две домаће), 26 чланака (25 из страних часописа са SCI листе и један из домаћег), 29 радова са конференција (24 са међународних и пет са домаћих), једно предавање по позиву са међународне конференције, шест студија (страних), седам техничких докумената (четири страна и три домаћа прописа, препоруке, директиве и сл.), два међународна (IEC) стандарда, једна скрипта за наставу и десет извора података за прорачуне извршене током спроведених истраживања.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Основна полазна поставка истраживања које је спроведено у циљу израде ове дисертације јесте потреба за што прецизнијим алатима за иницијалну процену капацитета неког конзумног подручја за управљање оптерећењем. Наиме, од прецизности ове процене умногоме зависи и укупна ефикасност одабраног програма управљања потрошњом. Други важан моменат је пажљив одабир одговарајућих програма и мера за управљање потрошњом, трећи – прецизно сагледавање ефеката примене ових програма, а коначни – коректна техно-економска анализа исплативости увођења и ширења једног оваквог програма.

Стога су истраживања у оквиру дисертације заснована на развоју методологија: за процену удела управљивог оптерећења у укупном оптерећењу, за прогнозу раста вршног годишњег оптерећења у измењеним условима деловања програма управљања потрошњом и за евалуацију исплативости увођења и примене једног таквог програма. Предложене методе се заснивају на коришћењу доступних, поузданих и конзистентних података. Њихова примена тестирана је како на мањим узорцима мреже, тако и на целокупном конзумном подручју ЕДБ. Истражени су и зимски и вршни летњи режим рада дистрибутивног система ЕДБ.

Поступак израде ове докторске дисертације може се сумирати кроз следећи низ извршених активности:

- 1) Систематизовано прикупљање и проучавање доступне литературе и анализа постојећих научних резултата из области десертације;
- 2) Критичка анализа проблематике успешности постојећих начина процене капацитета управљивог оптерећења и програмâ и мераâ управљања потрошњом;
- 3) Конципирање и примена што једноставнијих метода за процену капацитета управљивог оптерећења, које би користиле лако доступне и поуздане улазне податке;
- 4) Конципирање модела програма управљања оптерећењем и одговарајућег техничког решења, примерених постојећим условима и расположивим технологијама, који би били изводљиви и техно-економски оправдани тј. конкурентни као опција при оптимизацији рада електродистрибутивног система и при дугорочном планирању његовог развоја;
- 5) Симулирање ефеката примене одабраног модела управљања оптерећењем у условима веће примене дистрибуираних обновљивих извора са интермитентном производњом;
- 6) Симулација дугорочних ефеката примене одабраног модела управљања оптерећењем на смањење годишње вршне снаге;
- 7) Изналажење и симулација примене алтернативне методе прогнозе вршног оптерећења у условима његовог осетнијег и дугорочнијег смањења, које би се имало применом одабраног модела управљања потрошњом;

- 8) Осмишљавање и примена методологије за техно-економску процену ефикасности одабраног модела управљања оптерећењем.

Анализом, поређењем и проценом квалитета развијених метода и решења предложених у овој дисертацији, даје се подстицај за даљи развој методâ из наведених области и система за управљање оптерећењем. На основу анализе садржаја ове докторске дисертације може да се закључи да примењене научне методе и технике, по свом значају и структури, одговарају теми дисертације и спроведеним истраживањима, описаним и приказаним у дисертацији.

3.4. Применљивост остварених резултата

Рад на овој докторској дисертацији инициран је практичним и теоријским потребама анализе рада електродистрибутивних система, посебно оних са диспергованим изворима варијабилне снаге производње, у којима се планира примена мера и програмâ управљања потрошњом. Резултати приказани у овој дисертацији и, посебно, поједине предложене методе, могу имати веома значајну и широку примену у пракси електродистрибутивног предузећа. Они могу да допринесу како оптимизацији рада електродистрибутивног система, тако и дугорочном, стратешком планирању његовог развоја, доносећи значајне уштеде и користи оператерима дистрибутивног система. Осим тога, управљање потрошњом може донети добит и крајњим корисницима, а у условима све либералнијег тржишта електричном енергијом, и осталим учесницима на њему.

С обзиром да је у дисертацији предложено и конкретно техничко решење система за управљање потрошњом, које подразумева примену савремених уређаја и концепата, као и делимичну реконфигурацију постојеће SCADA, реално се отварају могућности даљих истраживања и развоја овог решења и његових елемената, као и могућности њихове евентуалне комерцијализације у будућности.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У току израде докторске дисертације, кандидат је показао способност да сагледа задату проблематику истраживања са више аспеката и да креативно приступи њеном решавању. Уочио је главне проблеме постојећих метода и приступâ (за процену капацитета управљивог оптерећења, за прогнозу вршног оптерећења у условима примене програма управљања потрошњом и за евалуацију њихове ефикасности и исплативости), и предложио нове и унапређене методе. Резултати ових истраживања верификовани су кроз примену ових метода на реалним примерима електродистрибутивне мреже, и публиковани су у два међународна часописа и зборницима радова са три међународне и једне домаће конференције.

Свеобухватан и систематизован преглед стања у области задатог истраживања, анализа постојеће праксе, самостално уочавање кључних проблема и отворених питања, и предлози за њихово решавање или ублажавање, који су приказани у овој дисертацији, указују на то да кандидат поседује потребно знање и искуство за самосталан научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Израда ове дисертације доприноси анализи услова за примену програмâ и мера управљања потрошњом, кроз креирање и развој нових методологија, применљивих у различитим фазама њиховог планирања. Комисија сматра да следећи научни резултати представљају допринос унапређењу научне мисли (знања) у овој области истраживања:

- Указано је на предност коришћења методологије поређења регистрованих дневних дијаграма оптерећења за исти (или приближан) датум при различитим метеоролошким приликама, у односу на најчешће коришћене приступе „одоздо - навише“ за процену износа управљивог оптерећења. Ова практична метода користи, као улазне, веома поуздане, лако доступне и расположиве податке са средњенапонске SCADA, дајући најпрецизније резултате.
- Нормализацијом добијених вредности разлике оптерећења, заснованом на коришћењу одговарајуће разлике у потрошњи, додатно се повећава прецизност претходне методе.
- Уведен је појам специфичног капацитета за управљање оптерећењем, а предложена методологија за његово квантификовање одликује се особином да се специфични и укупни капацитет који постоји у одређеној врсти уређаја могу да одреде без познавања њиховог броја и појединачних назначених снага.
- При широј примени дистрибуираних обновљивих извора са интермитетном производњом, самосталном или комбинованом са програмима и мерама за управљање потрошњом, као критеријум за одређивање оптималног броја производних јединица, треба користити минимизацију укупних губитака у посматраној мрежи, као циљну функцију.
- Одговарајуће конципиран програм управљања потрошњом може да смањи флукуације снаге и стрмине у профилима оптерећења и да допринесе оптимизацији рада мреже, укључујући и смањење губитака активне снаге у њој.
- Указано је на то да су најбољи кандидати за програме управљања потрошњом купци подведени под систем даљинског читавања бројила (AMR), првенствено због постојања инфраструктуре која омогућава комуникацију „паметних“ бројила и Центра управљања оператера дистрибутивног система.
- Ипак, уколико AMR систем није довољно развијен или није у задовољавајућој мери поуздан, за процену нивоа управљивог оптерећења и за симулације његове и примене обновљивих интермитентних извора, боље је користити податке са средњенапонске SCADA и предложену компаративну методу.
- Предложена је ефикасна, алтернативна метода прогнозе вршног годишњег оптерећења, којом се решава проблем значајнијег и дуготрајнијег смањења вршне снаге, а који онемогућава примену најчешће коришћених, екстраполационих метода. Применом предложене методе веома прецизно се могу квантификовати енергетски ефекти примене једног програма за управљање потрошњом.
- Применом методе за евалуацију трошкова и ефикасности програма управљања оптерећењем, која је такође предложена у дисертацији, показано је да програми управљања потрошњом представљају озбиљну алтернативу градњи нових електродистрибутивних капацитета, у широком опсегу промене вредности улазних параметара (броја и јединичних цена елемената система за управљање потрошњом).

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Кандидат је у дисертацији размотрио проблеме који могу да умање ефективност и ефикасност програмâ за управљање потрошњом. Применом предложене компаративне методе за утврђивање опсега управљивог оптерећења, добијају се прецизнији резултати, него коришћењем приступа „одоздо - навише“, у којима се користе мање поуздана мерења на ниском напону или узорковање и агрегација недовољног броја купаца, за које се не може поуздано тврдити да су типични репрезенти анализираног конзума. У дисертацији предложена методологија користи већ агрегиране вредности оптерећења, регистроване

мерењима на средњем напону, једноставна је и погодна за примену и даје веома прецизне резултате.

Методe за алтернативно прогнозирање раста вршне годишње снаге, чија се примена такође предлаже у овој дисертацији, успешно превазилазе не само проблем осетнијег и дуготрајнијег тренда смањења годишњег вршног оптерећења, него и неке друге, опште проблеме прогнозе снаге, као што су нпр. „трансфери“ оптерећења (промене граница напајања током година на међуповезним водовима између изворишних ТС $x/10$ kV).

Метода за процену исплативости примене програма за управљање потрошњом заснована је на техно-економском поређењу ове варијанте развоја електродистрибутивног система са класичном варијантом изградње нових ТС и водова, неопходних у случају ако нема примене програма управљања потрошње и последичног смањења годишње вршне снаге. Стога је и ова методологија једноставна и изискује само што прецизније јединичне цене елемената системâ – како оног за управљање потрошњом, тако и самог електродистрибутивног система.

Истраживачки рад, спроведен за потребе израде ове дисертације, заснован је на анализи постојећих научних резултата и имао је за циљ да се унапреде постојеће методе за иницијално одређивање могућности, као и за вредновање успешности примене програмâ и мера за управљање потрошњом. Притом је требало осигурати да предложени приступ доведе до високог нивоа тачности спроведених прорачуна, уз коришћење што поузданијих и доступнијих улазних података. Анализирана је обимна литература, као и различите методе и приступи.

Увидом у постављене хипотезе, учињене апроксимације, одабране приступе и добијене резултате прорачуна, Комисија констатује да је кандидат успешно одговорио постављеним задацима, који су од значаја за ову област истраживања. Квалитет предложених метода и приступа је верификован на реалним примерима електродистрибутивне мреже, у разним оперативним условима и током две типичне сезоне (зима/лето).

Ова докторска дисертација указује на потребу озбиљнијих анализа могућности управљања делом оптерећења крајњих корисника електродистрибутивног система, на важност што прецизније идентификације врсте и износа управљивог оптерећења, пажљиво моделовање одговарајућих програма и мера, прорачуне и уважавање ефеката њихове примене, коришћењем адекватних и прецизних прогностичких метода, као и на значај коректног вредновања ефикасности и оправданости увођења система за управљање потрошњом.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат је аутор/коаутор следећих радова који су резултат истраживања у вези са темом докторске дисертације:

Категорија M21:

1. **Shiljkut, V.**, Rajakovic, N.: Demand response capacity estimation in various supply areas, - *Energy*, 2015, (IF=4.159) (ISSN 0360-5442), доступно од 29.5.2015. на: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.007>
2. Maksimovich, S., **Shiljkut, V.**: The Peak Load Forecasting Afterwards Its Intensive Reduction, - *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.24, No.3, pp. 1552-1559, July 2009, (IF=1.657) (ISSN 0885-8977).

Категорија M33:

1. Rajakovic, N., **Shiljkut, V.**, Misovic, D., Milosavljevic, S.: "Power Transformer Monitoring and AMR System Support for Combined Operation of Distributed RES and Demand Side

- Management,” -*Proceedings of the CIRED Workshop 2014: Challenges of Implementing Active Distribution System Management*, Rome, Italy, 2014., paper No. 103.
2. Rajakovic, N., **Shiljkut, V.**: “Demand Side Management Capacity Estimation,” -*Proceedings of the 1st South East European Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems – SEE SDEWES*, Ohrid, FYROM, 2014., paper No. 120.
 3. Rajakovic, N., **Shiljkut, V.**: “Determination of the amount of cost-effective DSM/DR module,” -*Proceedings of the 9th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission Distribution and Energy Conversion*, Athens, Greece, 2014., paper No. 113.

Категорија М63:

1. **Шиљкут, В.**, Рајаковић, Н., Стевић, Ј., Шушгран, М.: “Одређивање капацитета за управљање оптерећењем у циљу складиштења енергије и смањења вршне снаге,” – *Зборник радова са Деветог саветовања о електродистрибутивним мрежама Србије CIRED Србије*, Врњачка Бања, 2014, рад R-5.11.
2. **Шиљкут, В.**, Рајаковић, Н., Дилпарић, М., Батас Бијелић, И.: “Утврђивање специфичног расхладног капацитета просторија при моделовању програма управљања оптерећењем,” – *Зборник радова са Деветог саветовања о електродистрибутивним мрежама Србије CIRED Србије*, Врњачка Бања, 2014, рад R-5.12.
3. Рајаковић, Н., **Шиљкут, В.**, Максимовић, С.: “Прогноза годишњег вршног оптерећења у околностима примене програма управљања оптерећењем,” – *Зборник радова са Деветог саветовања о електродистрибутивним мрежама Србије CIRED Србије*, Врњачка Бања, 2014, рад R-6.01.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега претходно наведеног, Комисија констатује да Дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и да задовољава све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторских дисертација на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Владимира М. Шилкута, дипл.инж.ел, садржи оригиналне научне доприносе који могу имати значајну практичну применљивост у области управљања потрошњом у савременим електродистрибутивним системима.

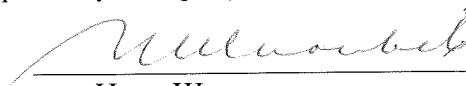
На основу свега изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „**Управљање потрошњом у интелигентним енергетским мрежама са варијабилном производњом**“ кандидата Владимира М. Шилкута, дипл.инж.ел, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 05.08.2015. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



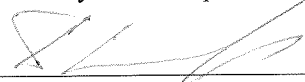
др Никола Рајаковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Иван Шкокљевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Драган Тасић, редовни професор
Универзитет у Нишу – Електронски факултет



др Предраг Стефановић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жељко Ђуришић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет