

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Душка Товиловића, дипл. инж. ел., за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5023/09-2 од 1.3.2016. године, а на основу закључака и записника са 796. седнице Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду која је одржана 23.2.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Душка Товиловића дипл. инж. ел. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под радним насловом: **„Утицај фотонапонских система и електричних аутомобила на дијаграме оптерећења и планирање развоја електродистрибутивних система“**.

Комисија предлаже промену наслова теме у: **„Утицај фотонапонских система и електричних аутомобила на планирање развоја електродистрибутивних система“**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Душко Товиловић рођен је 11. јануара 1982. године у Добоју, Босна и Херцеговина. Основну школу завршио је у месту Станари, а средњу школу у Добоју. Проглашен је матурантом генерације IV степена Саобраћајне и електро школе у Добоју 2001. године.

Основне студије уписао је 2001. године на Електротехничком факултету Универзитета у Бањалуци које је завршио 2008. године и стекао звање дипломираног инжењера електротехнике на Одсеку за електроенергетику. Наслов теме дипломског рада био је „Прорачуни у мрежама које садрже и једносмјерни пренос“ који је одбранио под менторством проф. др Николе Рајаковића. Основне студије завршио је са просечном оценом 8,10. Током израде дипломског рада боравио је на „*Technische Universität Ilmenau*“, Илменау, Немачка, где се бавио истраживањима у области одређеном темом дипломског рада.

Докторске студије уписао је 2009. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду – смер Електроенергетске мреже и системи. Положио је све испите на докторским студијама са просечном оценом 10.

За време трајања докторских студија објавио је један рад у врхунском научном часопису са *SCI* листе и три рада на домаћим и иностраним конференцијама.

Од 2008. године до 2010. године био је запослен у предузећу „ЕЛНОС БЛ“ из Бањалуке те је у том периоду учествовао у изградњи и реконструкцији више електроенергетских постројења и водова ниског, средњег, високог и врло високог напона. Од 2010. године запослен је у предузећу „ЕФТ-Рудник и Термоелектрана Станари“ из Станара где је учествовао у пројектовању, изградњи и пуштању у рад Термоелектране Станари снаге 300 MW и трансформаторске станице 400/110/35/10 kV Станари, те изградњи и одржавању индустријских мрежа средњег и ниског напона. Такође, учествовао је у изградњи једног фотонапонског система.

Поседује професионалне лиценце за израду техничке документације, извођење радова и надзор над извођењем радова који се односе на електро фазу – инсталације јаке струје и електроенергетска постројења. Члан је стручних удружења *IEEE* и *CIGRE* Србија.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је уписан на докторске студије 3. децембра 2009. године на студијски програм електроенергетске мреже и системи са бројем индекса 5023. Списак десет (10) положених испита кандидата, са просечном оценом 10 и збиром ЕСПБ осамдесет седам (87), дат је у Табели 1. Списак научних и истраживачких обавеза са збиром ЕСПБ тридесет три (33) које је кандидат испунио дат је у Табели 2.

У току свог истраживачког рада кандидат је, у својству стручног надзора, учествовао у изградњи и пуштању у рад једног фотонапонског система инсталисане снаге 15 kW те је вршио мерења показатеља производње и квалитета електричне енергије на месту прикључења тог система на електроенергетску дистрибутивну мрежу, као и мерења у дистрибутивним и индустријским мрежама. Резултате мерења користио је за израду модела фотонапонских система и потрошача те је на основу истих спровео истраживање и публиковао резултате истраживања у врхунском међународном научном часопису.

Табела 1 Списак положених испита кандидата.

Назив	Оцена	ЕСПБ	Датум полагања	Потписао наставник
Енглески језик	10	6	04.07.2014.	Милош Ђурић
Ветроенергетика и соларна енергетика	10	9	30.08.2012.	Јован Микуловић
Интеграција обновљивих извора у дистрибутивни систем	10	9	16.06.2012.	Раде Ћирић
Стабилност електроенергетских система	10	9	09.01.2012.	Зоран Радојевић
Високонапонска постројења	10	9	26.08.2011.	Миленко Ђурић
Планирање рада електроенергетских система у интерконекцији	10	9	01.09.2011.	Бојан Ивановић
Флексибилни регулациони уређаји у електроенергетским преносним мрежама	10	9	01.07.2011.	Предраг Стефанов
Прорачун електроенергетских мрежа	10	9	22.09.2010.	Иван Шкокљев

Високонпонска мерења у електроенергетици	10	9	21.09.2010.	Златан Стојковић
Примена програмских алата у електроенергетици	10	9	12.06.2010.	Златан Стојковић

Табела 2 Списак испуњених обавеза кандидата.

Обавеза	ЕСПБ	Тип обавезе	Датум
Студијски истраживачки рад II	15	студијски истраживачки рад II	26.11.2012.
Научно стручни рад	3	научно стручни рад	26.11.2012.
Студијски истраживачки рад I	15	студијски истраживачки рад I	12.11.2010.

По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија за још два семестра, сагласно члану 92. став 4 Статута Универзитета у Београду.

M20 Радови објављени у научним часописима међународног значаја

1. **D. Tovilović**, N. Rajaković, „*The simultaneous impact of photovoltaic systems and plug-in electric vehicles on the daily load and voltage profiles and the harmonic voltage distortions in urban distribution systems*,“ Renewable Energy, vol. 76, pp. 454-464, 2015, **IF: 3.476**, ISSN: 0960-1481, doi:10.1016/j.renene.2014.11.065, **M21**

M30 Зборници међународних научних скупова

2. **Д. Товиловић**, З. Стојковић, „ПРОФОТОНАПСИС“ – Програмски алат за пројектовање фотонапонских система,“ ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Јахорина, Босна и Херцеговина, 2011, ISBN: 978-99938-624-6-8, **M33**

M60 Зборници скупова националног значаја

3. **Д. Товиловић**, И. Шокљев, „СИМТРЕЛЕН“ – Програмски алат за симулацију процеса трговине електричном енергијом на дерегулисаном тржишту,“ 30. Саветовање CIGRE Србија, Златибор, 2011, ISBN: 978-86-82317-69-2, **M63**
4. **D. Tovilović**, N. Rajaković, „*Zajednički uticaj fotonaponskih sistema i električnih automobila na dijagrame opterećenja i napona u urbanim distributivnim sistemima*,“ 32. Savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor, 2015, ISBN: 978-86-82317-77-7, **M63**

Кандидат Душко Товиловић је 9. марта 2016. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду је јавно усмено бранио предложену тему докторске дисертације, при чему је комисија у саставу:

1. др Јован Микуловић, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
2. др Драган Тасић, редовни професор, Електронски факултет Универзитета у Нишу,
3. др Петар Матавуљ, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,

4. др Слободан Вукосавић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
5. др Жељко Ђуришић, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,

закључила да је кандидат Душко Товиловић на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену **задовољно** и да задовољава потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу резултата које је кандидат постигао у свом досадашњем стручном и научном раду, а од којих бисмо издвојили следеће:

- Кандидат је сакупио сто двадесет (120) ЕСПБ (пологањем испита на докторским студијама и обављањем научно истраживачких обавеза),
- Дана 9. марта 2016. године је јавно одбранио тему докторске дисертације пред Комисијом (проф. др Јован Микуловић, проф. др Драган Тасић, проф. др Петар Матавуљ, проф. др Слободан Вукосавић, проф. др Жељко Ђуришић) формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду на својој седници број 796. од дана 23.2.2016. године,
- Публиковао је укупно четири рада, од којих је један у врхунском међународном часопису, један на међународним и два на домаћим скуповима, што га кфалификује за научни рад,
- Остварио је практично искуство у области коју покрива предложена тема докторске дисертације,

можемо закључити да кандидат Душко Товиловић у сваком погледу испуњава услове који га квалификују да приступи изради докторске дисертације са предложеном темом.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања у овој дисертацији су електроенергетски дистрибутивни (електродистрибутивни) системи (ЕДС-и) у које су интегрисани фотонапонски системи (ФНС-и) за производњу електричне енергије и електрични аутомобили (ЕА-и) са посебним акцентом на истраживање њиховог заједничког утицаја на дијаграме оптерећења и профиле напона у ЕДС-има при радним стањима која се карактеришу значајнијим нивоом прикључења ФНС-а и ЕА-а. Последице интегрисаних ФНС-а и ЕА-а су дефинитивно и промењене околности за планирање развоја ЕДС тако да се и ова проблематика оформила као предмет истраживања. Уопштено, циљ истраживања јесте да се утврде заједнички утицаји ФНС-а и ЕА-а на рад и планирање развоја ЕДС-а узимајући у обзир променљивост и остале карактеристике производње ФНС-а, те прикључење ЕА-а, које карактерише непредвидивост у погледу времена прикључења и количине енергије потребне за пуњење њихових батерија.

Коришћење соларне енергије у будућности биће веома значајно због опредељења друштва да смањи зависност од коришћења фосилних горива и сачува животну средину. ФНС-и врше директно претварање соларне енергије у електричну не загађујући при томе околину те су једноставни, поуздани и имају релативно мале трошкове одржавања [1]. Такође, коришћење разних типова ЕА-а постаје све значајније, [2], што даље може да створи услове за смањење коришћења горива на бази нафте и повећање коришћења електричне енергије из обновљивих извора. Цена и аутономија ЕА-а зависе од капацитета батерије а

обезбеђење једноставнијег начина пуњења ЕА-а омогућило би коришћење ЕА-а са батеријама мањег капацитета што би даље могло да доведе до пораста њиховог коришћења, [3]. Соларна енергија је, у одређеним деловима дана, и у одговарајућој мери, доступна на местима где постоји значајнија потреба за енергијом (урбана и рурална насеља) и где би могла да се искористи за претварање у друге облике енергије, а за разлику од других обновљивих извора који су мање распрострањени и теже доступни у потрошачким центрима. ФНС-и имају једноставну конструкцију, [4-8], и могу да се постављају на кровове и фасаде зграда па је могућа њихова значајнија интеграција чак и у урбаним градским срединама. Повећање коришћења ЕА-а довешће до потребе да се обезбеди могућност пуњења већег броја ЕА-а на паркинзима у урбаним срединама и у домаћинствима у руралним срединама. Досадашња истраживања показују да, појединачно, ФНС-и и ЕА-и могу да имају значајан утицај на рад ЕДС-а и управо ти утицаји могу да ограниче или успоре пораст њиховог коришћења. ФНС-и утичу на токове снага, губитке енергије, напонске прилике и квалитет електричне енергије, [9-11]. У зависности од конфигурације мреже и осталих специфичности утицај на радне величине може да буде позитиван и негативан. Прикључење ЕА-а на ЕДС подразумева потребе за новом производњом електричне енергије, веће оптерећење система као и негативан утицај на квалитет електричне енергије, [12-14]. Утицаји ФНС-а и ЕА-а на ЕДС су, углавном, посматрани посебно док су у раду [15] истражени заједнички утицаји ФНС-а и ЕА-а на дијаграме оптерећења, профиле напона и хармонијска изобличења напона у урбаним дистрибутивним системима. У [15] је показано да је при заједничком раду ФНС-а и ЕА-а могуће постићи радна стања у ЕДС-у која се одликују мањим оптерећењем појединих елемената система и бољим напонским приликама у систему у односу на исти систем у којем су прикључени само ЕА-и. Предности истовременог рада ФНС-а и ЕА-а у току дана у погледу смањења потребе за додатном производњом електричне енергије и смањења потрошње фосилних горива дати су у [3]. Истовременим радом ФНС-а и ЕА-а могу се обезбедити радна стања којима се могу избећи, или умањити, поменути негативни утицаји ових елемената на ЕДС [16]. ЕА-и могу да буду и извори електричне енергије уз промену начина рада предаје електричне енергије ЕДС-у (енгл. *Vehicle To Grid*), [17], те ће у будућности бити један од најзначајнијих управљивих потрошача погодан за коришћење у концепту одзива потрошње (енгл. *Demand Response*), [18]. Због прикључења нових система на постојеће ЕДС-е, узимајући у обзир специфичности њиховог рада, а како би се обезбедио сигуран и економичан рад ЕДС-а у оваквим условима, неопходан је развој модерних ЕДС-а у смеру интелигентних електроенергетских мрежа (ИЕМ-а) (енгл. *Smart Grids*), [18], те је потребан развој и нових методологија за планирање ЕДС-а, [19-22].

Традиционални ЕДС-и су развијени за смер тока електричне енергије од напојних тачака према потрошачима, али интеграција дистрибуираних извора енергије (ДИЕ), који могу да буду и обновљиви (ОДИЕ) и у које спадају и ФНС-и, може да доведе до промене смера снаге и проузрокује радна стања која нису оптимална, [21, 23]. Предности интеграције ДИЕ на рад ЕДС-а могу да буду вишеструке и оне се могу груписати у следеће категорије: технички аспекти (смањење губитака, побољшање напонских прилика и квалитета електричне енергије, одлагање улагања у проширење ЕДС-а, ...), економски аспекти (смањење трошкова система) и аспекти који се односе на очување животне средине. Међутим, да би се искористиле наведене предности ДИЕ неопходно је, минимално, одредити оптимална места у систему за њихово постављање (прикључење) и њихову оптималну величину (инсталисану снагу), [19, 23-26]. Такође, у планирању развоја модерних ЕДС-а неопходно је узети у обзир и нове елементе у дистрибутивном систему попут ЕА-а и система за складиштење електричне енергије, [27-32].

Методологије које су коришћене за планирање традиционалних ЕДС-а подразумевале су одређивање такве конфигурације система која треба да у будућности обезбеди снабдевање електричном енергијом на што економичнији, поузданији и сигурнији начин узимајући у

обзир само промену потрошње, односно вршне снаге, [27, 33]. Традиционално планирање засновано је на прогнозама вршног годишњег оптерећења у систему, али се због наведених праваца развоја ЕДС-а планирање ЕДС-а данас креће у правцу коришћења података о укупној потрошњи (нето потрошњи) на коју утиче производња ДИЕ, [33]. Због тога је неопходно детаљно истражити утицаје ДИЕ, ЕА-а и осталих новијих елемената ЕДС-а на карактеристичне показатеље дијаграма оптерећења како би се на основу тих утицаја унапредила методологија за планирање ЕДС-а. Један од значајнијих проблема који се јавља при прикључењу ДИЕ у ЕДС-е јесте погоршање напонских прилика, које се чешће огледа у повећању напона изнад дозвољених граница, као и регулација напона. Због тога је важно детаљно истражити и заједничке утицаје ФНС-а и ЕА-а на дневне профиле напона у оваквим системима с обзиром да, уз термичка оптерећења елемената система, она представљају утицајна ограничења у оптимизационим задацима који се јављају при решавању проблема планирања ЕДС-а.

Планирање модерних ЕДС-а је веома сложен оптимизациони задатак па се за његово решавање наметнуло коришћење математичких оптимизационих техника као што су: аналитичке, метахеуристичке, технике засноване на вештачкој интелигенцији, технике базиране на генетском алгоритму, хибридне технике и остале [30]. За потребе планирања модерних ЕДС-а посебно је погодно коришћење хеуристичких техника. При планирању ЕДС-а може да се појави захтев да се уваже потребе и циљеви неколико различитих заинтересованих страна (потрошачи, оператор дистрибутивног система, друштвена заједница, ...), који могу да буду и опречни што додатно може да усложни оптимизационе задатке који постају вишециљни [30]. Поједини типови ДИЕ, посебно ОДИЕ попут ФНС-а и ветроелектрана, могу да имају производњу која није довољно прецизно предвидива и управљива те је то, уз промеливост потрошње у времену, разлог отежаног планирања модерних ЕДС-а, [34-36]. У оквирима дугорочног планирања могу да се посматрају статичко планирање, полудинамичко планирање и динамичко планирање, [19, 27, 37], а последњи наведени приступ је и најсложенији у математичком погледу. Поузданост и стабилност производње електричне енергије ФНС-а у току њиховог животног века највише зависе од стања фотонапонских панела који су изложени атмосферским условима средине у којој се налазе. Уочени су разни механизми који доводе до оштећења панела, [38-40]. Због деградације карактеристика појединих елемената ФНС-а, посебно деградације карактеристика панела, долази до смањења производње електричне енергије ФНС-а. Без обзира на гарантоване карактеристике од стране произвођача чак и код проверених модула (у складу са одговарајућим стандардима), показује се да долази до преране деградације и то по правилу више од очекиваног нивоа, што упућује да тестови који су развијени за испитивање модула у лабораторијским условима нису довољни за процене у стварним условима, [38]. Деградација карактеристика фотонапонских модула зависи од технологије у којој су израђени а резултати истраживања показују да за монокристалне и поликристалне модуле израђене од силицијума долази до смањења њихове електричне снаге од око 2 % годишње, у односу на снагу непосредно после монтаже, док за читаве системе долази до смањења излазне снаге од око 1% годишње, [38]. У раду [39] анализиране су вредности стопе деградације за различите технологије израде фотонапонских панела које се данас користе где се закључује да средња вредност стопе деградације за све посматране технологије износи 1,1% годишње.

На основу досадашњих истраживања у области планирања развоја модерних ЕДС-а расположиво је много техника и методологија али још увек не постоји јединствен приступ планирању, [27, 34]. Постојеће методологије планирања ЕДС-а посматрале су углавном управљиве ДИЕ који су у власништву оператора дистрибутивног система. За интеграцију неуправљивих ДИЕ, попут ФНС-а и ветроелектрана које могу да буду у приватном власништву крајњих корисника неопходан је развој унапређених методологија [27]. Како би

се као резултат планирања добила решења најближа оптималним, неопходно је коришћење што прецизнијих модела појединих елемената система те прецизнијих оптимизационих техника, [30]. За развој нових методологија за планирање ЕДС-а најбоље би било постићи чвршћу сарадњу између истраживача и планера који се баве планирањем у реалним ЕДС-има, чиме би се обезбедио развој модела и методологија које би боље задовољиле потребе електродистрибутивних предузећа за стварне проблеме и ограничења која се јављају приликом планирања ЕДС-а [27].

У оквиру предложене теме докторске дисертације детаљно ће бити истражени утицаји прикључења ФНС-а и ЕА-а на карактеристике дневних, сезонских и годишњих дијаграма оптерећења мешовитих и карактеристичних типова потрошача (комерцијални, индустријски, стамбени) у ЕДС-има а у циљу обезбеђења сазнања потребних за развој одговарајућих модела ЕДС-а и нове методологије за планирање развоја ЕДС-а. Такође, биће истражени заједнички утицаји ФНС-а и ЕА-а на дневне дијаграме напона ЕДС-а са циљем да се одреде карактеристични делови дана у којима постоји могућност појаве радних стања која се карактеришу неповољним напонским приликама те дефинисали и одговарајући алгоритми за превазилажење ситуација у којима долази до нарушавања напонских ограничења при решавању оптимизационих проблема у оквиру планирања ЕДС-а. Биће посматрани ФНС-и са непокретним и покретним панелима те ће се при моделовању њихове производње посебно узети у обзир реалистична ситуација у погледу оријентације панела, која често није оптимална код ФНС-а који се постављају на кровове објеката у урбаним и руралним срединама. ЕА-и биће посматрани и као потрошачи и као извори електричне енергије у ЕДС-у узимајући у обзир карактеристике складиштења енергије у батеријама и начин рада предаје електричне енергије електроенергетској мрежи. Гранични режими рада ЕДС-а, у погледу оптерећења система, биће истражени коришћењем приступа који је у литератури познат као одзив потрошње. Код тог приступа управљиви уређаји на страни купаца у садејству са оператором ЕДС-а утичу на смањење потрошње ЕА-а и појединих класа потрошача термостатског типа (грејање и вентилација, фрижидери, замрзивачи, ...). Такође, биће посматрана и карактеристична гранична радна стања ФНС-а са аспекта њихове производње (максимална производња у летњем периоду и минимална производња проузрокована покривеношћу панела снегом у зимском периоду).

Истраживање ће обухватити и постојеће новије методологије за дугорочно планирање ЕДС-а у условима постојања дистрибуираних извора енергије и новијих типова потрошача попут ЕА-а те ће бити иновирани метод за планерске задатке оптималног проширења ЕДС-а у овим промењеним условима заснован на коришћењу метахеуристичких техника за решавање оптимизационих проблема. Развој иновираних методологија биће у смеру прецизније прогнозе вршног годишњег оптерећења ЕДС-а (као кључног показатеља код дугорочних планерских задатака) на које утиче и производња ФНС-а, при чему ће бити узето у обзир смањење производње ФНС-а (узимајући у обзир смањење максималне снаге производње са временом услед деградације карактеристика појединих елемената), повећање производње ФНС-а у посматраном подручју услед прикључења нових производних јединица (на основу анализе планова изградње нових ФНС-а и на основу анализе података о оријентацији и нагибу кровова објеката у посматраном подручју) као и гранична радна стања система у зимском периоду када нема производње ФНС-а услед покривености панела снегом. Такође, модел производње обухватиће и ограничење максималне производње у посматраном подручју које је последица расположивости простора за постављање ФНС-а. Додатно, модел ЕДС-а при истраживању утицаја ФНС-а и ЕА-а на планирање развоја ЕДС-а, укључиће и системе за складиштење електричне енергије.

Утицаји ФНС-а и ЕА-а на ЕДС, као релативно новијих типова елемената ЕДС-а који имају перспективу за значајнију заступљеност у модерним ЕДС-има, углавном су разматрани

одвојено. У овом истраживању детаљно ће бити посматран заједнички утицај ФНС-а и ЕА-а на рад ЕДС-а. Резултати истраживања могли би се користити у оптималном дугорочном планирању развоја ЕДС-а у условима захтева за прикључењем ФНС-а и ЕА-а те у даљем развоју ИЕМ-а. ИЕМ-е треба да обезбеде економичнију и поузданију дистрибуцију електричне енергије те да створе услове за значајније прикључење и рад дистрибуираних извора енергије и ЕА-а. Такође, унапређење управљања потрошњом и производњом (за шта је потребан услов суперпозиција комуникационо - информационог система на конвенционалну електроенергетску мрежу) могло би утицати на оптимално коришћење како појединих елемената ЕДС-а тако и примарних извора енергије. Потенцијал ИЕМ-а да обезбеде повећање енергетске ефикасности и смањење негативних утицаја електроенергетских система на животну средину чини истраживање у области развоја ИЕМ-а веома значајним за развој друштва.

Релевантни библиографски извори:

Најзначајнији библиографски извори који се односе на истраживање из области теме докторске дисертације наведени су у следећој листи:

[1] G.K. Singh, „Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review,” Energy, vol. 53, pp. 1–13, 2013.

[2] K. Clement-Nyns, E. Haesen, J. Driesen, „The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid,” IEEE Transactions on Power Systems, vol. 25, No. 1, pp. 371–380, 2010.

[3] P. Denholm, M. Kuss, R.M. Margolis, „Co-benefits of large scale plug-in hybrid electric vehicle and solar PV deployment,” Journal of Power Sources, vol. 236, pp. 350–356, 2013.

[4] S. A. Kalogirou, „Solar Energy Engineering Processes and Systems,” Second edition, Academic Press an imprint of Elsevier, Kidlington, United Kingdom, 2014.

[5] H. Häberlin, „Photovoltaics System Design and Practice,” John Wiley and Sons Ltd, Chichester, United Kingdom, 2012.

[6] K. Mertens, „Photovoltaics Fundamental, Technology and Practice,” John Wiley and Sons Ltd, Chichester, United Kingdom, 2014.

[7] G. M. Masters, „Renewable and Efficient Electric Power Systems,” Stanford University, John Wiley and Sons Ltd, Hoboken, United States of America, 2004.

[8] A. K. Pandey, V. V. Tyagi, J. A/L. Selvaraj, N. A. Rahim, S. K. Tyagi, „Recent advances in solar photovoltaic systems for emerging trends and advanced applications,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 53, pp. 859–884, 2016.

[9] I.T. Papaioannou, M.C. Alexiadis, C.S. Demoulias, D.P. Labridis, P.S. Dokopoulos, „Modeling and Field Measurements of Photovoltaic Units Connected to LV Grid. Study of Penetration Scenarios,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26, no. 2, pp. 979–987, 2011.

[10] M. Patsalides, A. Stavrou, V. Efthymiou, G.E. Georghiou, „Towards the establishment of maximum PV generation limits due to power quality constraints,” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 42, pp. 285–298, 2012.

- [11] K. Fekete, Z. Klaic, L.J. Majdandzic, „Expansion of residential photovoltaic systems and its harmonic impact on the distribution grid,” *Renewable Energy*, vol. 43, pp. 140–148, 2012.
- [12] R. Garcia-Valle, J. A. P. Lopes, „Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks,” Springer Science+Business Media, New York, 2013.
- [13] J. C. Gomez, M.M. Morcos, „Impact of EV battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 3, pp. 975–981, 2003.
- [14] K. Quian, C. Zhou, M.Allan, Y. Yuan, „Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no. 2, pp. 802–810, 2011.
- [15] D. M. Tovilović, N. L.J. Rajaković, „The simultaneous impact of photovoltaic systems and plug-in electric vehicles on the daily load and voltage profiles and the harmonic voltage distortions in urban distribution systems,” *Renewable Energy*, vol. 76, pp. 454–464, 2015.
- [16] M. S. ElNozahy, M. M. A. Salama, „Studying the feasibility of charging plug-in hybrid electric vehicles using photovoltaic electricity in residential distribution systems,” *Electric Power Systems Research*, vol. 110, pp. 133–143, 2014.
- [17] C. Battistelli, L. Baringo, A. J. Conejo, „Optimal energy management of small electric energy systems including V2G facilities and renewable energy sources,” *Electric Power Systems Research*, vol. 92, pp. 50–59, 2012.
- [18] P. Siano, „Demand response and smart grids—A survey,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, pp. 461–478, 2014.
- [19] E. Naderi, H. Seifi, M. S. Sepasian, „A Dynamic Approach for Distribution System Planning Considering Distributed Generation,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, no. 3, pp. 1313–1322, 2012.
- [20] P. S. Georgilakis, N. D. Hatziargyriou, „A review of power distribution planning in the modern power systems era: Models, methods and future research,” *Electric Power Systems Research*, vol. 121, pp. 89–100, 2015.
- [21] W. El-Khattam, K. Bhattacharya, Y. Hegazy, M. M. A. Salama, „Optimal Investment Planning for Distributed Generation in a Competitive Electricity Market,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 19, no. 3, pp. 1674–1684, 2004.
- [22] S. A. Arefifar, Y. A. I. Mohamed, T. H. M. El-Fouly, „Supply-Adequacy-Based Optimal Construction of Microgrids in Smart Distribution Systems,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 3, pp. 1491–1502, 2012.
- [23] F. S. Abu-Mouti, M. E. El-Hawary, „Optimal Distributed Generation Allocation and Sizing in Distribution Systems via Artificial Bee Colony Algorithm,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 26, no. 4, pp. 2090–2101, 2011.
- [24] W.-S. Tan, M. Y. Hassan, M. S. Majid, H. A. Rahman, „Optimal distributed renewable generation planning: A review of different approaches,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 18, pp. 626–645, 2013.

- [25] R. Viral, D. K. Khatod, „Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 5146–5165, 2012.
- [26] Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, R. Seethapathy, „Optimal Renewable Resources Mix for Distribution System Energy Loss Minimization,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 360–370, 2010.
- [27] P. S. Georgilakis, N. D. Hatziargyriou, „A review of power distribution planning in the modern power systems era: Models, methods and future research,” *Electric Power Systems Research*, vol. 121, pp. 89–100, 2015.
- [28] X. Lin, J. Sun, S. Ai, X. Xiong, Y. Wan, D. Yang, „Distribution network planning integrating charging stations of electric vehicle with V2G,” *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 63, pp. 507–512, 2014.
- [29] A. En-Zonkoly, L. S. Coelho, „Optimal allocation, sizing of PHEV parking lots in distribution system,” *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 67, pp. 472–477, 2015.
- [30] A. Alarcon-Rodriguez, G. Ault, S. Galloway, „Multi-objective planning of distributed energy resources: A review of the state-of-the-art,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1353–1366, 2010.
- [31] M. Sedhi, M. Aliakbar-Golkar, M.-R. Haghifam, „Distribution network expansion considering distributed generation and storage units using modified PSO algorithm” *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 52, pp. 221–230, 2013.
- [32] W. Yao, J. Zhao, F. Wen, Z. Dong, Y. Xue, Y. Hu, K. Meng, „A Multi-Objective Collaborative Planning Strategy for Integrated Power Distribution and Electric Vehicle Charging Systems,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 4, pp. 1811–1821, 2014.
- [33] J. Bebic, „Power System Planning: Emerging Practices Suitable for Evaluating the Impact of High-Penetration Photovoltaics,” *National Renewable Energy Laboratory, Colorado*, 2008.
- [34] F. Ugranli, E. Karatepe, „Multiple-distributed generation planning under load uncertainty and different penetration levels,” *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 46, pp. 132–144, 2013.
- [35] Y. Gao, J. Liu, J. Yang, H. Liang, J. Zhang, „Multi-Objective Planning of Multi-Type Distributed Generation Considering Timing Characteristics and Environmental Benefits” *Energies*, vol. 7, no. 10, pp. 6242–6257, 2014.
- [36] W. Ouyang, H. Cheng, X. Zhang, L. Yao, „Distribution network planning method considering distributed generation for peak cutting,” *Energy Conversion and Management*, vol. 51, pp. 2394–2401, 2010.
- [37] S. Haffner, L. F. A. Pereira, L. A. Pereira, L. S. Barreto, „Multistage Model for Distribution Expansion Planning With Distributed Generation—Part I: Problem Formulation,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 2, pp. 915–923, 2008.
- [38] V. Sharma, S. S. Chandel, „Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 27, pp. 753–767, 2013.

[39] A. Phinikarides, N. Kindyni, G. Markides, G. E. Georghiou, „Review of photovoltaic degradation rate methodologies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 40, pp. 143–152, 2014.

[40] A. Ndiaye, A. Charki, A. Kobi, C. M. F. Kebe, P. A. Ndiaye, V. Sambou, „Degradations of silicon photovoltaic modules: A literature review,” *Solar Energy*, vol. 96, pp. 140–151, 2013.

3. Полазне хипотезе

Истраживање ће бити спроведено како би се провериле следеће полазне хипотезе:

- Истовремено прикључење ФНС-а и ЕА-а утиче на показатеље дијаграма оптерећења у ЕДС-у који су битни за планирање развоја ЕДС-а.
- За оптимално планирање развоја ЕДС-а, у условима постојања ФНС-а и ЕА-а неопходан је развој одговарајућих иновираних методологија.
- Прецизно моделовање производње ФНС-а при планирању развоја ЕДС-а, узимајући у обзир деградацију карактеристика производње и карактеристична гранична радна стања, може да побољша резултате планирања ЕДС-а.

4. Научне методе истраживања

У овом истраживању биће коришћене рачунарске симулације као опште прихваћена метода за анализу постављеног задатка оптималног планирања развоја електродистрибутивне мреже, у контексту ове дисертације са значајнијим нивоима прикључења ФНС-а и ЕА-а. Рачунарске симулације обухватиће релевантне прорачуне неопходне за планерске потребе. За потребе истраживања и тестирања биће развијен карактеристичан електродистрибутивни систем и одговарајући реалистичан модел таквог система. За моделовање овог карактеристичног система биће коришћени подаци о параметрима појединих елемената система који одговарају параметрима стварних ЕДС-а, као што ће се и за моделовање дијаграма оптерећења користити подаци о регистрованим снагама и енергијама који су измерени у стварним ЕДС-има.

Производња електричне енергије ФНС-а биће моделована коришћењем података о интезитету флукса Сунчевог зрачења (соларне ирадијације) и температуре који су доступни на интернету посредством сервиса ПВГИС (*PVGIS*). Статистичко моделовање соларне ирадијације биће изведено коришћењем одговарајућих статистичких функција расподеле. За верификацију моделоване производње, и додатно за дефинисање карактеристичних радних стања ФНС-а за потребе истраживања, биће коришћени подаци о снагама и енергијама једног стварног ФНС-а инсталисане снаге реда 100 kW, који се мере и снимају у претварачима енергетске електронике - инверторима посредством којих су поједине групе фотонапонских панела посматраног ФНС-а прикључене на електродистрибутивну мрежу ниског напона. За моделовање потрошње ЕА-а и режима предаје електричне енергије у ЕДС од стране ЕА-а, биће коришћени технички подаци о стварним комерцијалним аутомобилима ове врсте доступни у литератури.

За прорачуне токова снага биће коришћен рачунарски програмски алат *OpenDSS* док ће за контролу симулација и обраду добијених резултата бити коришћен рачунарски програмски пакет *Матлаб*.

Због специфичности у погледу непредвидивости производње ФНС-а и времена прикључења и трајања пуњења ЕА-а, поједине величине посматраће се као случајне променљиве те ће бити коришћено стохастичко моделовање и стохастички прорачун токова снага базиран на Монте Карло методу.

За решавање оптимизационих проблема за потребе планирања ЕДС-а биће коришћена метахеуристичка метода уз комбиновану примену већ поменутих рачунарских програмских алата.

Истраживање ће се спровести за неколико карактеристичних радних стања ЕДС-а који су одређени релативно значајнијим нивоима прикључења ФНС-а и ЕА-а.

5. Очекивани научни допринос

На основу планираних истраживања очекују се следећи научни доприноси:

- Биће одређени заједнички утицаји фотонапонских система и електричних аутомобила на показатеље дијаграма оптерећења у електродистрибутивним системима који су битни за планирање развоја електродистрибутивних система.
- Биће развијена иновирана метода за дугорочно планирање развоја електродистрибутивних система у условима постојања фотонапонских система и електричних аутомобила.
- Биће развијен нови алгоритам за процену потенцијала производње фотонапонских система за потребе дугорочног планирања развоја електродистрибутивних система.

Практична примена резултата истраживања могла би се огледати у коришћењу развијене методологије и алгоритма при решавању инжењерских задатака у области дугорочног планирања развоја ЕДС-а и развој нових одговарајућих рачунарских програмских алата за процену потенцијала производње фотонапонских система и свеобухватнијих рачунарских програмских алата за потребе планирања ЕДС-а. Закључци на основу истраживања утицаја ФНС-а и ЕА-а на планирање ЕДС-а могли би се користити при одређивању смерница за измену постојећих Правилника из области планирања електроенергетских система са циљем њиховог прилагођења условима рада система у савременим околностима.

6. План истраживања и структура рада

Научноистраживачки рад биће контролисан у неколико карактеристичних тачака и изведен према следећем плану:

- Прикупљање и ажурирање литературе и истраживање и анализа постигнутих резултата из области теме дисертације.
- Прикупљање података за потребе моделовања карактеристичног система на основу мерења из стварних ЕДС-а и ФНС-а и литературе.
- Дефинисање и моделовање карактеристичног ЕДС-а, одговарајућих дијаграма производње ФНС-а и потрошње ЕА-а као и рада система за складиштење електричне енергије. Тестирање модела карактеристичног система.
- Детаљно дефинисање карактеристичних случајева за посматрање.
- Извођење рачунарских симулација, прикупљање резултата симулација и обрада резултата симулација.
- Анализа резултата симулација и дискусија на основу резултата симулација.
- Поређење резултата симулација са постојећим резултатима из области теме дисертације.
- Објављивање резултата истраживања у научним и стручним часописима и приказивање резултата на научним и стручним конференцијама.
- Израда докторске дисертације на основу резултата истраживања.

Преглед области које се предвиђају да буду обрађене у дисертацији су следеће:

- Моделовање ФНС-а и ЕА-а за потребе анализе њиховог утицаја на ЕДС-е.
- Анализа утицаја ФНС-а и ЕА-а на показатеље дијаграма оптерећења и напона у ЕДС-има.
- Развој алгоритма за процену потенцијала ФНС-а за потребе дугорочног планирања развоја ЕДС-а.
- Развој иновираних методе за дугорочно планирање ЕДС-а у условима постојања ФНС-а и ЕА-а.
- Анализа утицаја ФНС-а и ЕА-а на планирање развоја ЕДС-а.

7. Закључак и предлог

На основу свега претходно наведеног Комисија сматра да је кандидат Душко Товиловић задовољио потребне услове и да се квалификовао за научно-истраживачки рад на предложеној теми докторске дисертације са измењеним насловом теме: **„Утицај фотонапонских система и електричних аутомобила на планирање развоја електродистрибутивних система“**. Садржај предложене теме је актуелан у светлу даљег развоја планирања електродистрибутивних система у условима постојања нових типова елемената система попут фотонапонских система, електричних аутомобила и система за складиштење електричне енергије. Због тога би резултати до којих кандидат треба да дође током израде докторске дисертације имали значајан, како научни, тако и практичан допринос у области електроенергетских система. У дисертацији се очекује научни допринос у погледу одређивања заједничког утицаја фотонапонских система и електричних аутомобила на карактеристичне показатеље дијаграме оптерећења у електродистрибутивним системима битних за планирање развоја електродистрибутивних система као и развоја иновираних методологије за дугорочно планирање развоја електродистрибутивних система. Кандидат је приказао предмет и циљеве истраживања и претпоставке везане за проблеме са освртом на одговарајуће библиографске изворе. Кандидат је поставио хипотезе да је за оптимално планирање развоја електродистрибутивних система, у условима постојања прикључених фотонапонских система и електричних аутомобила, неопходан развој одговарајућих модела дијаграма оптерећења у оваквим системима те развој нових метода које треба да узму у обзир прецизније процене потенцијала и ограничења производње електричне енергије фотонапонских система као и деградацију карактеристика производње фотонапонских система. Кандидат је предложио план истраживања са структуром рада.

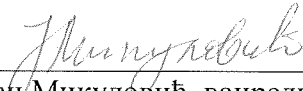
Ужа научна област теме су електроенергетске мреже и системи, за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан. Узимајући у обзир све поменуте чињенице, комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Душку Товиловићу одобри израду докторске дисертације под насловом „**Утицај фотонапонских система и електричних аутомобила на планирање развоја електродистрибутивних система**“. За ментора израде докторске дисертације предлаже др Николу Рајаковића, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 21. априла 2016.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



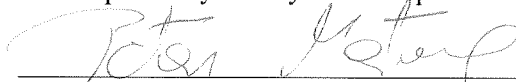
др Никола Рајаковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



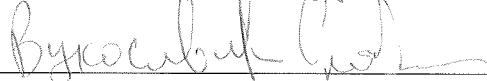
др Јован Микуловић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



др Петар Матавуљ, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Слободан Вукосавић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жељко Ћуришић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет