

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Ане Петровић за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр.: 5017/13-1 од 24.12.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ане Петровић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом:

Оптимално планирање електроенергетске инфраструктуре ветроелектрана великих снага (енг. „*Optimal planning of electrical infrastructure of large wind power plants*”).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Ана М. Петровић је рођена 18.09.1989. године у Крагујевцу. Основну школу „Мирко Јовановић” у Крагујевцу је завршила 2004. године, а након тога и Прву крагујевачку гимназију. Током основног и средњег образовања је учествовала на државним такмичењима из математике, физике и српског језика.

Студије на Електротехничком факултету у Београду уписала је 2008. године. Завршила је одсек Енергетика, смер Електроенергетски системи и током студија је остварила просечну оцену 9,22. Дипломски рад „Моделовање стационарних карактеристика уземљивача” одбранила је 2012. године. Мастер студије је уписала 2012. године на Електротехничком факултету у Београду, на модулу Електроенергетски системи. Током мастер студија је постигла просечну оцену 10, а мастер рад под називом „Идејно решење за побољшање енергетских и еколошких карактеристика клима уређаја” одбранила је 2013. године. Ментор на изради дипломског и мастер рада био је доц. др Жељко Ђуришић. Докторске студије је уписала исте године на Електротехничком факултету у Београду, модул Електроенергетске мреже и системи, где је положила све испите са просечном оценом 10.

Одрадила је стручну праксу у предузећу Електромреже Србије. Од 2014. године је запослена у компанији Global Substation Solutions, где се бави пословима пројектовања и испитивања високонапонских трафостаница.

Области научноистраживачког рада којима се до сада бавила су: обновљиви извори енергије, интеграција обновљивих извора енергије у електроенергетски систем, ветроенергетика и соларна енергетика, енергетска ефикасност, уземљивачки системи. Аутор/коаутор је на 15 радова (2 рада у међународном часопису са SCI листе, 1 рад на међународној конференцији, 2 рада у домаћим часописима и 10 радова на домаћим/регионалним конференцијама).

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Ана Петровић је уписала докторске студије на Електротехничком факултету у Београду школске 2013/2014. године на модулу Електроенергетски системи. Током докторских студија испунила је све обавезе и положила испите предвиђене наставним планом.

	Назив предмета/обавезе	Оцена	ЕСПБ
1	Високонапонска расклопна опрема	10	9
2	Мерне спреге и мерни трансформатори	10	9
3	Високонапонска постројења	10	9
4	Стабилност електроенергетских система	10	9
5	Енглески језик	10	6
6	Интеграција обновљивих извора у дистрибутивни систем	10	9
7	Уземљивачки системи	10	9
8	Ветроенергетика и соларна енергетика	10	9
9	Фактор снаге и методе за поправку фактора снаге у присуству виших хармоника	10	9
10	Поузданост електроенергетских система	10	9
11	Студијски истраживачки рад I		15
12	Студијски истраживачки рад II		15
13	Научно стручни рад		3
	Укупно		120

Досадашњи научни резултати кандидата приказани су кроз два рада публикована у врхунским међународним часописима (M21), два рад публикована у домаћем часопису (M51), један рад на међународниом скупу који је штампан у целини (M33) и десет радова на домаћим скуповима који су штампани у целини (M63). У даљем тексту је наведен списак публикација кандидата Ане Петровић.

Радови објављени у научним часописима међународног значаја M20

1. **Đorđević, A., Đurišić, Ž.:** *General mathematical model for the calculation of economic cross sections of cables for wind farms collector systems*, IET Renewable Power Generation, Vol. 12, pp. 901-909, June 2018, (DOI: [10.1049/iet-rpg.2017.0420](https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2017.0420) ISSN 1752-1416, IF 3,894) (M21).
2. **Đorđević, A., Đurišić, Ž.:** *Mathematical model for the optimal determination of voltage level and PCC for large wind farms connection to transmission network*, IET Renewable Power Generation, Vol. 13, pp. 2240-2250, August 2019, (DOI: [10.1049/iet-rpg.2018.5913](https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2018.5913) ISSN 1752-1416, IF 3,894) (M21).

Зборници међународних научних скупова М30

1. Stanojević, J., Đorđević, A., Mitrović, M.: *Influence of battery energy storage system on generation adequacy and system stability in hybrid micro grids*, Proceedings of the 2016 4th International Symposium on Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA), Belgrade, Serbia, 2016, (ISSN: 00002016, ISBN: 978-150-90074-9-3) (M33).

Радови објављени у научним часописима националног значаја М50

1. Ђорђевић, А., Грујић, Д., Микуловић, Ј.: *Симулација електричног лука у високонапонским прекидачима*, Енергетика, Економија, Екологија бр. 1-2, стр. 355-360, 2016, (ISSN 0354-8651) (M51).
2. Милошевић, Д., Митровић, М., Станојевић, Ј., Ђорђевић, А., Биорац, Р.: *Динамичко подешавање релејне заштите у дистрибутивној мрежи са дистрибуираним генерисањем*, Енергетика, Економија, Екологија, бр. 3-4, стр. 328-335, 2017, (ISSN 0354-8651) (M51).

Зборници домаћих научних скупова М60

1. Ђорђевић, А., Ђуришић, Ж.: *Идејно решење за побољшање енергетских и еколошких карактеристика клима уређаја*, Међународни научно-стручни симпозијум Енергетска ефикасност ENEF-БАЊА ЛУКА, стр. 40-44, 2013, (ISBN 978-99955-46-18-2) (M63).
2. Кушић, Ј., Ђорђевић, А., Ђуришић, Ж.: *Утицај засенчења на производњу фотонапонских панела*, Међународни научно-стручни симпозијум ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, вол. 13, стр. 299-303, 2014, (ISSN 978-99955-763-6-3) (M63).
3. Ђорђевић, А., Кушић, Ј., Ђуришић, Ж.: *Анализа дугорочног потенцијала енергије ветра у региону Баната*, Међународни научно-стручни симпозијум ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, вол. 14, стр. 223-228, 2015, (ISSN 978-99955-763-6-3) (M63).
4. Ђорђевић, А., Кушић, Ј., Ђуришић, Ж.: *Ефекти хидроизолације темеља на карактеристике темељних уземљивача*, 32. саветовање за велике електричне мреже - CIGRE Србија, Златибор, 2015, (M63).
5. Ђорђевић, А., Ђуришић, Ж.: *Генерални математички модел за прорачун економског пресека каблова за прикључење ветроелектрана на електроенергетски систем*, 10. саветовање о електродистрибутивним мрежама, CIREД, Врњачка Бања, 2016, (M63).
6. Станојевић, Ј., Ђорђевић, А.: *Складиштење енергије као подршка интеграцији ветроелектрана у електроенергетски систем*, 10. саветовање о дистрибутивним мрежама, CIREД, Врњачка Бања, 2016, (M63).
7. Ђорђевић, А., Станојевић, Ј.: *Утицај конструкције и услова полагања на струјно оптерећење кабловског вода*, 10. саветовање о дистрибутивним мрежама, CIREД, Врњачка Бања, 2016, (M63).
8. Ђорђевић, А., Станојевић, Ј., Кушић, Ј.: *Анализа губитака у елементима једножилних енергетских каблова*, 33. саветовање за велике електричне мреже - CIGRE Србија, Златибор, 2017, (M63).
9. Милошевић, Д., Ђорђевић, А.: *Примена балансне импедансе за одржавање стабилности дистрибуираних генератора*, Међународни научно-стручни симпозијум ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, вол. 17, стр. 162-167, 2018, (M63).
10. Ђорђевић, А., Милошевић, Д., Ђуришић, Ж.: *Анализа оптималне структуре интерне кабловске мреже ветроелектране*, 11. саветовање о дистрибутивним мрежама, CIREД, Копаоник, 2018, (M63).

Дана 25.01.2021. године на Електротехничком факултету у Београду, Ана Петровић је имала јавни усмени испит о подобности теме и кандидата пред комисијом у саставу:

1. др Јован Микуловић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
2. др Александар Чукарић, ванредни професор, Факултет техничких наука у Косовској Митровици
3. др Зоран Радаковић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
4. др Дејан Тошић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Комисија је једногласно закључила да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације и оценила испит оценом задовољно.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада кандидата Ане Петровића и узимајући у обзир претходно наведене чињенице, Комисија је стекла увид у способности и научно-истраживачки рад кандидата, те констатује да је кандидат:

- Положио све испите и завршио све обавезе предвиђене наставним планом и програмом и тиме остварио 120 ЕСПБ бодова.
- Јавно одбранио тему докторске дисертације 25.01.2021. године пред комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду.
- Публиковао укупно петнаест радова, од којих је два публиковано у врхунским међународним часописима, два у домаћем часопису, један на међународном научном скупу и десет на скуповима националног значаја, што је квалификује за научни рад.
- Има вишегодишње искуство у пројектовању електроенергетских инфраструктурних објеката за домаће и страна тржишта, где је учествовала у пројектовању трансформаторских станица и колекторских кабловских система за ветроелектране великих снага. Тиме је остварила практично искуство у области коју покрива предложена тема докторске дисертације.

Комисија закључује да кандидат Ана Петровић у сваком погледу испуњава услове за рад на предложеној теми.

2. Предмет, циљ и значај истраживања

Ветроенергетика је област енергетике, која, уз соларну енергетику, бележи највећи тренд развоја у последњих десет година. Прогнозе глобалног развоја енергетике у свим сценаријима уважавају ветроенергетику као једну од главних грана у области производње електричне енергије у будућности. Из тог разлога, у перспективи се очекује развој значајног броја пројеката ветроелектрана (ВЕ) велике снаге, како на националном, тако и на глобалном нивоу. Главни задатак у процесу планирања ВЕ великих снага ја оптимално усклађивање инфраструктуре ВЕ са параметрима ветра на циљној локацији, као и са расположивим капацитетима прикључне електроенергетске мреже. У том погледу од кључне важности је правилан избор ветроагрегата (ВА), интерне кабловске мреже и прикључног постројења.

За исту класу ветра, на тржишту се нуде ВА у широком дијапазону висина стуба, пречника ветротурбина и називних снага ветрогенератора. Оптималан избор ВА је један од кључних задатака у фази планирања и пројектовања ВЕ [1]–[4]. Брзина ветра расте са висином изнад тла, а како је снага ветра пропорционална трећем степену брзине ветра, чак и најмање повећање висине стуба може допринети значајном повећању годишње производње електричне енергије ВА. Повећањем пречника ветротурбине мења се крива снаге ВА, тако да се називна снага ветрогенератора достиже при мањим брзинама ветра, односно, повећава се годишња производња електричне енергије ВЕ. Ипак, повећање висине стуба, пречника ветротурбине или називне снаге ветрогенератора је повезано са значајним повећањем инвестиционих и експлоатационих трошкова. Перформансе ВА истих габарита и називних снага које се нуде на тржишту су релативно сличне, тако да је проблематика оптималног избора висине стуба, пречника турбине и називне снаге ветрогенератора практично независна од произвођача. Оптималан избор компоненти ВА представља важан планерски задатак који је потребно решавати у раној фази планирања пројекта, јер је за развој урбанистичког пројекта, сагледавање утицаја на животну средину, анализу услова прикључења на електроенергетски систем, израду пројекта путне инфраструктуре и остале пројектне документације за изградњу ВЕ неопходно прецизирати висину стуба, пречник турбине и називну снагу ветрогенератора.

У предложеној докторској дисертацији биће развијен математички модел за оптимизацију избора ВА за познату статистику и параметре ветра. Основни елементи при оптимизацији избора ВА су: висина стуба, пречник ветротурбине и називна снага ветрогенератора. У предложеном моделу биће варијани кључни параметри и вршиће се прорачун укупних актуелизованих трошкова ВА, као и годишње производње електричне енергије. Оптималне вредности елемената ВА су оне при којима се постиже минимум трошкова по јединици произведене електричне енергије ВА. У наведеном оптимизационом проблему постоје техничка ограничења у погледу минималних и максималних вредности параметара које намеће сам произвођач опреме. С обзиром да у задатом оптимизационом задатку променљиве узимају дискретне вредности, погодна је користити неку у од хеуристичких метода. У дисертацији ће предложени модел бити базиран на генетском алгоритму, како би након одређеног броја итерација дошао до оптималних резултата која ће задовољити и функцију циља и задата ограничења. Развијени алгоритам и математички модел ће имати општи карактер. То значи да ће бити применљив за оптимизацију избора ВА за локације са различитим параметрима ветра. Као улазни подаци биће коришћени параметри Вејбулове статистике ветра и висински коефицијент смицања ветра. Главни резултат ће бити математички модел који ће омогућити да се за задату Вејбулове параметре статистике ветра и задати висински коефицијент смицања ветра (*wind shear*) одреди оптимална јединична снага ВА, пречник турбине и висина стуба. Развијени модел ће имати значајну практичну применљивост у погледу оптимизације ВЕ. На конкретним примерима ВЕ на локацијама са различитом климатологијом ветра, коришћењем реалних мерних података о параметрима ветра биће демонстрирана практична употребљивост предложеног математичког модела.

ВЕ представљају скуп ВА који имају заједничку тачку прикључења и чине једну функционалну целину. Због ефекта заветрине, ВА унутар ВЕ се налазе на релативно великим међусобним удаљеностима које, код ВА велике снаге, могу износити и више од 2 km. Због овакве просторне разуђености ВА унутар ВЕ, колекторска електроенергетска мрежа обично бива дугачка и преко сто километара код ВЕ великих снага (>50 MW). Из тог разлога, колекторска мрежа у ВЕ представља значајну електроенергетску инфраструктуру која битно утиче на трошкове производње и поузданост рада ВА унутар ВЕ. Колекторска мрежа се обично реализује као кабловска подземна мрежа. С обзиром на укупну дужину кабловске мреже у њој постоје значајни губици. У зависности од цене електричне енергије коју пласира

ВЕ, власнику ВЕ се често исплати инвестиција у каблове већег попречног пресека, јер се тиме смањују губици произведене електричне енергије. Ово посебно добија на значају узимајући у обзир животни век ВЕ који је реда 25-30 година. Кумулативни ефекат смањених губитака на овом временском периоду може довести до вишеструког повраћаја инвестиције у већи попречни пресек каблова у односу на пресек који је одређен техничким ограничењима. Из тог разлога, планирање и оптимизација интерне кабловске мреже представља предмет значајног интересовања у научним круговима у области планирања ВЕ. Оптимизација кабловске мреже ВЕ се битно разликује од оптимизације кабловских прикључака у дистрибутивним мрежама. Оптерећење кабловске мреже ВЕ је директно зависно од статистике ветра, а његова максимална снага оптерећења је унапред позната и дефинисана снагом ВА који су прикључени на њој. Са друге стране, у дистрибутивној мрежи снага је диктирана профилем потрошње који има изражену периодичност.

У традиционалним дистрибутивним мрежама се сматрало да је економски оправдано кабл струјно оптерећивати до његових техничких граница, односно термичке границе, тако да је пресек кабла одређен максималном очекиваном трајно дозвољеном струјом кабла, топлотним импулсом струје кратког споја и дозвољеним падом напона услед оптерећења у перспективној мрежи. Губици обично нису параметар који се уважава приликом избора попречног пресека кабла. Интерна кабловска мрежа ВЕ је обично напонског нивоа 20 kV, 33 kV или 35 kV, а ретко 10 kV, јер су јединичне снаге ВА реда неколико мегавата, а растојања између њих релативно велика, па се минимизација губитака и падова напона у интерној кабловској мрежи постиже коришћењем већих напонских нивоа. Како су губици у интерној кабловској мрежи ВЕ значајни, коришћење већих пресека каблова у односу на техничке захтеве је често оправдано за власника ВЕ. Развој нових метода и алгоритама за оптимизацију кабловске мреже представља актуелну проблематику бројних радова у стручној литератури [5]–[8]. Недостатак методологија приказаних у наведеним радовима је што не дају егзактан математички модел којим се може одредити оптималан попречни пресек каблова за сваку деоницу кабловске мреже.

У предложеној докторској дисертацији биће развијен нови практичан математички модел који омогућава прорачун оптималног пресека кабла у интерној мрежи ВЕ [9]. У предложеном моделу вршиће се оптимизација односа инвестиционих и експлоатационих трошкова, тј. трошкова услед губитака по јединици дужине кабла. С обзиром да се инвестициони трошкови издвајају на почетку, односно у фази изградње ВЕ, а трошкови губитака се генеришу током експлоатације у свакој години, потребно је извршити актуелизацију трошкова, односно користити динамички економски модел. Са повећањем пресека проводника повећава се компонента инвестиционих трошкова, али се смањује компонента експлоатационих трошкова, пошто се смањују губици енергије у каблу. Оптимална вредност пресека кабла је она при којој је варијабилна компонента укупних сведених трошкова минимална. Овако прорачунати пресек кабла је потребно проверити са аспекта техничких ограничења (трајно дозвољеног оптерећења и дозвољеног топлотног импулса при кратким спојевима, као и дозвољене промене напона у погонским условима). Као улазни подаци у модел биће коришћени временски сет података о брзини ветра на висини гондоле ВА, крива снаге ВА и временски сет података о ценама електричне енергије. Као излазни подаци биће дефинисани актуелизовани трошкови по дужном метру кабла за различите попречне пресеке проводника и одговарајуће вредности просечне годишње снаге губитака по јединици дужине кабла. Применом развијеног модела у планерској фази развоја пројекта ВЕ, може се оптимизовати сваки од прикључних фидера на који је прикључен произвољан број ВА, што чини овај модел врло практичним. На конкретном примеру ВЕ у Банату, биће демонстрирана практична употребљивост развијеног модела и показано да се оптималним избором пресека кабла могу значајно смањити трошкови производње, односно значајно повећати укупан профит током

животног века ВЕ. У предложеној докторској дисертацији биће извршена и компаративна анализа различитих топологија интерне мреже ВЕ са аспекта поузданости пласмана енергије за сваки од ВА. Предност представљеног модела је што су прорачуни оптималне топологије и пресека каблова распрегнути, односно могу се решавати одвојено.

Основни услов за планирање изградње ВЕ на одређеној локацији је постојање технички искористивог енергетског потенцијала ветра. Дакле, ВЕ великих снага су смештене на ветровитим локацијама које су често удаљене од електроенергетске преносне мреже и неколико десетина километара. Из тог разлога, прикључење ВЕ на преносну мрежу представља битан корак у планирању изградње ВЕ. Избор оптималне прикључне тачке ВЕ представља захтеван задатак који мора обухватити анализе расположивог капацитета прикључне мреже у свим потенцијалним прикључним тачкама, поузданост пласмана електричне енергије из ветроелектране за свако од варијантних решења прикључења, трошкове изградње прикључног далековода и постројења са трансформаторском станицом, утицај на животну средину, трошкове одржавања и друге техничке, економске и еколошке параметре. У великом броју случајева прикључења ВЕ на преносну или дистрибутивну мрежу постоје конкурентне тачке прикључења, па се поставља питање избора оптималне тачке у којој ће ВЕ бити прикључена и пласирати произведену енергију током експлоатације. Потенцијалне тачке прикључења могу се разликовати по удаљености, али и у погледу напонског нивоа, па се избор тачке прикључења проширује и у погледу избора напонског нивоа на који ће бити прикључена ВЕ. Прикључење ВЕ на виши напонски ниво захтева веће специфичне инвестиционе и експлоатационе трошкове. Ветар, као примарни енергент, се не може складиштити, па свака немогућност пласмана електричне енергије представља губитак прихода са становишта инвеститора. По правилу, нерасположивост мреже је већа за ниже напонске нивое, па је са аспекта поузданости пласмана енергије из ВЕ оправдано њено прикључење на виши напонски ниво. Избор оптималне тачке прикључења је предмет значајног броја радова у стручној литератури [10]–[13]. Међутим, већина предложених модела проналази оптималну тачку прикључења одређивањем најкраћег растојања између трансформаторске станице и преносне мреже.

Део истраживања у докторској дисертацији биће посвећен развоју практичног математичког модела за избор оптималног напонског нивоа и оптималне тачке прикључења ВЕ великих снага на преносну мрежу [14]. Предложени математички модел врши прорачун укупних актуелизованих инвестиционих и експлоатационих трошкова прикључења на преносну мрежу у функцији удаљености од прикључне тачке узимајући у обзир напонски ниво прикључне тачке. Поред трошкова одржавања, у експлоатационе трошкове ће бити сврстани и трошкови неиспоручене електричне енергије услед нерасположивости мреже. Оптималан напонски ниво и оптимална тачка прикључења биће одређени прорачуном критичних удаљености конкурентних прикључних тачака ВЕ одређене инсталисане снаге за које су трошкови прикључења једнаки. Овакви прорачуни имају практичан значај приликом разматрања напонског нивоа на који ће бити прикључена одређена ВЕ, јер је довољно познавати само удаљеност постојеће мреже одређеног напонског нивоа од локације ВЕ. На примеру реалног инжењерског проблема прикључења ВЕ Чибук 1 у Банату биће демонстрирана практична употребљивост предложеног математичког модела. Предложени математички модел омогућава операторима преносног система, као и инвеститорима, да оптимално сагледају и планирају прикључење ВЕ на преносну мрежу.

Генерални циљ претходно побројаних модела за оптимизацију елемената електроенергетске инфраструктуре ВЕ великих снага је побољшање економских показатеља ВЕ. Избор оптималне електроенергетске инфраструктуре ВЕ је значајан за све субјекте који учествују у развоју пројекта ВЕ. Избором оптималних габарита и снаге ВА обезбеђује се оптимално искоришћење потенцијала ветра на одређеној локацији, а такође обезбеђује и већи профит

власнику ВЕ. Оптимална прикључна мрежа омогућава повећање ефикасности ВЕ, што је у интересу власника ВЕ, али помаже и оператору преносног система да постигне што је могуће ниже трошкове одржавања прикључних далекова и постројења, као и минимизацију негативних ефеката рада ВЕ у електроенергетском систему. На крају, оптимизација прикључења ВЕ подразумева и уважавање одређених ефеката изградње прикључног постројења и далекова на животну средину, те је и са еколошког аспекта битна оптимизација енергетске инфраструктуре ВЕ.

Практични значај истраживања се огледа у развоју релативно једноставних математичких модела чијом би се имплементацијом унапредили економски и технички услови планирања и изградње ВЕ. Математички модели, које ће бити развијени у предметној дисертацији, имају оригиналан приступ и допринос унапређењу методологија за оптимизацију елемената електроенергетске инфраструктуре ВЕ велике снаге.

Научни значај и актуелност истраживања, која су предмет предложене докторске дисертације, може се сагледати и кроз значајан број научно-истраживачких радова који су у последњих пет година публиковани у водећим међународним научним часописима и научно-стручним конференцијама. Само неки од ових радова су издвојени из предвиђене библиографије ове дисертације и приказани су у наставку.

Релевантни радови из области истраживања

- [1] H. Yang, J. Chen, X. Pang: Wind Turbine Optimization for Minimum Cost of Energy in Low Wind Speed Areas Considering Blade Length and Hub Height, *Applied Sciences*, 8 (2018) 1202
- [2] A. Stanley, A. Ning, K. Dykes: Optimization of turbine design in wind farms with multiple hub heights, using exact analytic gradients and structural constraints, *Wind Energy*, (2019) 1–15
- [3] S. Haiying., Y. Hongxing., G. Xiaoxia: Investigation into spacing restriction and layout optimization of wind farm with multiple types of wind turbines, *Energy*, 168 (2019) 637–650
- [4] N. Charhouni, M. Sallaou, K. Mansouri: Realistic wind farm design layout optimization with different wind turbines types, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 10 (2019) 307–318
- [5] A. Wedzik, T. Siewierski, M. Szykowski: A new method for simultaneous optimizing of wind farm's network layout and cable cross-sections by MILP optimization, *Appl. Energy*, 182 (2016) 525–538
- [6] P. Hou, W. Hu, Z. Chen: Optimization for offshore wind farm cable connection layout using adaptive particle swarm optimization minimum spanning tree method, *IET Renew. Power Gener.*, 10 (2016) 694–702
- [7] R. Jin, P. Hou, G. Yang, Qi, et al: Cable routing optimization for offshore wind power plants via wind scenarios considering power loss cost model, *Applied Energy*, 254 (2019)
- [8] Z. Tengjun, M. Ke, T. Ziyuan, T. Yang, et al: Offshore wind farm collector system layout optimization based on self-tracking minimum spanning tree, *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, (2018)
- [9] A. Đorđević, Ž. Đurišić: General mathematical model for the calculation of economic cross-sections of cables for wind farms collector systems, *IET Renew. Power Gener.*, 12 (2018) 901–909
- [10] H. Smail, R. Alkama, A. Medjdoub: Optimal design of the electric connection of a wind farm, *Energy*, 165 (2018) 972–983

- [11] O. Dahmani, S. Bourguet, M. Machmoum, et al: Optimization of the connection topology of an offshore wind farm network, IEEE Syst. J., 9 (2015) 1519–1528
- [12] L. Vasconcelos, P. Filho, A. João, et al: Optimal Connection of Offshore Wind Farm with Maximization of Wind Capacity to Power Systems considering Losses and Security Constraints, Journal of Electrical & Computer Engineering, (2019) 1-14
- [13] P. Hou, W. Hu, C. Cong, et al: Overall Optimization for Offshore Wind Farm Electrical System, IEEE Trans. Sustain. Energy, 20 (2017) 1017–1032
- [14] A. Đorđević, Ž. Đurišić: Mathematical model for the optimal determination of voltage level and PCC for large wind farms connection to transmission network, IET Renew. Power Gener., 13 (2019) 2240–2250

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе као предмет истраживања предложене докторске дисертације су:

- Постоји оптимална усклађеност између пречника ветротурбине, висине стуба и називне снаге ветрогенератора при којој су актуелизовани трошкови производње електричне енергије у ВЕ минимални.
- Оптимална усклађеност елемената ВА се може дефинисати на основу познавања статистичких параметара ветра и висинског профила брзине ветра на циљној локацији ВЕ.
- Трошкови производње електричне енергије у ВЕ се могу значајно смањити кроз оптимизацију напонског нивоа и попречног пресека појединих секција интерне кабловске мреже ВЕ.
- Оптималан пресек проводника у колекторској мрежи ВЕ се може дефинисати на основу познавања статистичких параметара ветра, параметара ВА и цене електричне енергије произведене у ВЕ.
- У случају када постоје конкурентне тачке прикључења ВЕ веће снаге на преносну мрежу, прорачуном актуелизованих трошкова прикључења могу се одредити критична растојања ВЕ од преносне мреже различитих напонских нивоа за које су трошкови прикључења једнаки.

4. Научне методе истраживања

У предметној докторској дисертацији истраживања ће бити спровођена кроз моделовања, анализе и експерименте.

Биће развијени оригинални алгоритам и математички модел за оптимизацију кабловске инфраструктуре ВЕ. Оптимизација избора компоненти ВА биће вршена применом генетског алгоритма. Моделовање статистичких параметара ветра ће бити вршено применом Вејбулове функције густине расподеле вероватноће. Испитивање и верификација развијених модела биће вршена на реалним примерима ВЕ коришћењем реалних мерних података о параметрима ветра, као и реалним техничким карактеристикама комерцијалних ВА. За обраду и приказ резултата биће коришћен програмски пакет MATLAB.

5. Очекивани научни доприноси

Очекивани научни доприноси предложене докторске дисертације:

- Биће развијен нови модел за оптималан избор главних компоненти ВА: висине стуба, пречника ветротурбине и називне снаге ветрогенератора.
- Биће развијен нови модел за одређивање оптималног пресека каблова у колекторској мрежи ВЕ.
- Биће извршена компаративна анализа различитих топологија колекторске мреже ВЕ и предложена оптимална топологија са аспекта губитака и поузданости пласмана електричне енергије.
- Биће развијен нови модел за избор оптималног напонског нивоа и оптималне тачке прикључења ВЕ великих снага на преносну мрежу.
- Биће извршена примена и верификација предложених алгоритама и модела на примерима реалних пројеката ВЕ коришћењем реалних мерних података о параметрима ветра.

6. План истраживања и структура рада

Основни кораци у истраживању у оквиру предложене докторске дисертације:

- Преглед и систематизација најновијих истраживања везаних за оптимизацију електроенергетске инфраструктуре ВЕ.
- Упознавање са кључним проблемима при оптимизацији кабловске мреже, избору оптималне тачке прикључења и оптимизацији главних компоненти ВА.
- Развој модела за оптималан избор главних компоненти ВА: висине стуба, пречника ветротурбине и називне снаге ветрогенератора.
- Развој модела за одређивање оптималне топологије, напонског нивоа и пресека каблова у колекторској мрежи ВЕ.
- Развој модела за избор оптималног напонског нивоа и оптималне тачке прикључења ВЕ великих снага на преносну мрежу.
- Тестирање развијених модела коришћењем мерених података о брзини ветра и упоредна анализа нових модела са постојећим моделима.

Текст докторске дисертације биће написан на српском језику.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације и непосредног увида у досадашњи рад кандидата Ане Петровић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија закључује следеће:

1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду и Статутом Електротехничког факултета у Београду за израду докторске дисертације.
2. Предложена тема **„Оптимално планирање електроенергетске инфраструктуре ветроелектрана великих снага”** (енглески: *„Optimal planning of electrical infrastructure of large wind power plants”*) је научно заснована, а резултати до којих ће се доћи израдом ове докторске дисертације представљаће значајан и оригиналан допринос. Тема припада ужој научној области Електроенергетски системи.

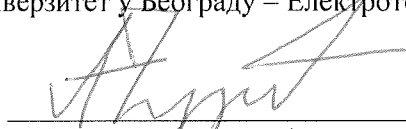
На основу претходно изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Ани Петровић одобри израду докторске дисертације под називом **„Оптимално планирање електроенергетске инфраструктуре ветроелектрана великих снага”** (енглески: *„Optimal planning of electrical infrastructure of large wind power plants”*), а под менторством др Жељка Ђуришића, ванредног професора Електротехничког факултета у Београду.

У Београду, 20. 02. 2021.

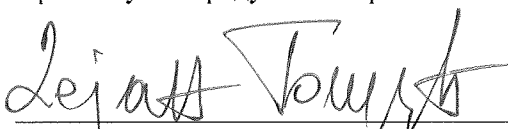
Чланови комисије


др Жељко Ђуришић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


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


др Александар Чукарић, ванредни професор
Факултет техниких наука у Косовској Митровици


др Зоран Радаковић, редовни професор,
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Дејан Тошић, редовни професор,
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет