

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Бојане Шкрбић за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр.: 338 од 3.3.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Бојане Шкрбић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом:

Оптимална структура и просторна алокација обновљивих извора енергије у електроенергетском систему са редукованом производњом из термоелектрана

(енг. „ *Optimal structure and spatial allocation of renewable energy sources in a power system with reduced thermal power plants energy generation* ”).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Бојана Шкрбић је рођена у Београду, 22.4.1991. године. Основну школу "Јелена Тетковић" у Београду завршила је као носилац Вукове дипломе и ученик генерације 2005/6, а потом и Шесту београдску гимназију, природно-математички смер, као носилац Вукове дипломе и ученик генерације 2009/2010. Током средњошколског образовања постигла је изузетне резултате из математике, физике и руског језика. У периоду 2008-2010. године освојила је једну другу и две прве награде на државном такмичењу из математике. Била је учесник Српске математичке олимпијаде 2009. и 2010. године. За освојену II награду на државном такмичењу из руског језика награђена је од стране Министарства просвете, Друштва за стране језике и књижевност Србије, Руског центра за науку и културу у Републици Србији и Славистичког друштва Србије боравком у Москви у Институту за стране језике А. С. Пушкин.

Основне академске студије на Електротехничком факултету у Београду уписала је 2010. године. Дипломирала је 2014. г. остваривши просечну оцену 10,00 са укупно 55 положених испита од којих је 50 редовних и 5 факултативних испита (укупно 256 ЕСПБ). Током четврте године основних студија стекла је тромесечно радно искуство у ЈП Електромрежа Србије, Центар за инвестиције. Дипломски рад на тему "Прорачун склопних пренапона у мрежама високог напона" одбранила је у септембру 2014. године. Ментор приликом израде дипломског рада био је проф. др Златан Стојковић. Мастер академске студије на Електротехничком факултету у Београду уписала је 2014. године (модул Електроенергетски системи – смер Постројења и опрема). Од 1.4.2015. г. ангажована је на Катедри за електроенергетске системе Електротехничког факултета у Београду као сарадник у настави са пуним радним временом. Током мастер студија остварила је просек оцена 10,00. Мастер рад на тему "Упоредна анализа поступака за испитивање изолације опреме високим напонем индустријске учестаности" одбранила је у септембру 2015. г. Ментор приликом израде мастер рада био је проф. др Златан Стојковић. Докторске академске студије на

Електротехничком факултету у Београду уписала је 2015. г. (модул Електроенергетске мреже и системи). Као студент докторских студија положила је све испите са просечном оценом 10,00. У априлу 2016. г. је изабрана за асистента са пуним радним временом, а у априлу 2019. г. је реизабрана за асистента са пуним радним временом.

Награђивана је од стране Електротехничког факултета као најбољи студент на модулу Енергетика 2011, 2012, 2013. и 2014. године. Добитник је награде из Фонда професора Мирка Милића за најбољег студента завршне године основних академских студија Електротехничког факултета у Београду. Добитник је друге награде ETF BAFA USA за најбољи дипломски рад на основним академским студијама на Електротехничком факултету Универзитета у Београду у школској 2013/2014. години. Компанија Siemens д.о.о. Београд доделила јој је награду као најбољем дипломираном студенту на модулу Енергетика. Током студија била је стипендиста ETF BAFA USA (*ETF Belgrade Alumni & Friends Association, USA*) за школску 12/2013. г, била је стипендиста града Београда, DAAD (*Deutsche Akademische Austausch Dienst*) као и Фонда за младе таленте.

Течно говори енглески и руски језик.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је уписао докторске студије на Електротехничком факултету у Београду школске 2015/2016. године на модулу Електроенергетске мреже и системи. Током докторских студија испунио је све обавезе и положио испите предвиђене наставним планом.

	Назив предмета/обавезе	Оцена	ЕСПБ
1	Флексибилни регулациони уређаји у електроенергетским преносним мрежама	10	9
2	Стабилност електроенергетских система	10	9
3	Управљање електроенергетским системима	10	9
4	Класификација и естимација сигнала	10	9
5	Високонапонска расклопна опрема	10	6
6	Увод у научни рад	10	9
7	Ветроенергетика и соларна енергетика	10	9
8	Планирање рада електроенергетских система у интерконекцији	10	9
9	Интеграција обновљивих извора у дистрибутивни систем	10	9
10	Фактор снаге и методе за поправку фактора снаге у присуству виших хармоника	10	9
11	Студијски истраживачки рад I		15
12	Студијски истраживачки рад II		15
13	Научно стручни рад		3
	Укупно		120

У даљем тексту је наведен списак публикација кандидата Бојане Шкрбић.

Радови публиковани у научним часописима међународног значаја	Категорија
1. B. Škrbić , J. Mikulović, T. Šekara, <i>Extension of the CPC power theory to four-wire power systems with non-sinusoidal and unbalanced voltages</i> , INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER AND ENERGY SYSTEMS, Vol. 105, pp. 341 - 350, Feb, 2019, ISSN 0142-0615, Impact Factor 4.418	M21
2. J. Mikulović, B. Škrbić , Ž. Đurišić, <i>Power definitions for polyphase systems based on Fortescue's symmetrical components</i> , INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER AND ENERGY SYSTEMS, Vol. 98, pp. 455 - 462, Jun, 2018, ISSN 0142-0615, Impact Factor 3.610	M21
Радови саопштени на међународним конференцијама	Категорија
3. B. Škrbić , M. Žarković, Z. Stojković, <i>PV power plant transformer energization under distorted voltage supply</i> , The 25th EEUG2019 Meeting - European EMTP-ATP Conference, 23-25 September 2019, Cluj-Napoca, Romania, Sep, 2019	M33
4. Jovan Mikulović, Tomislav Šekara, Bojana Škrbić , <i>Currents' Physical Component (CPC) Power Theory for Three-Phase Four-Wire Systems</i> , The Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion, Belgrade, Serbia, Nov, 2016	M33
5. B. Škrbić , D. Kotur, Ž. Đurišić, <i>An Optimal Mix of Wind and Solar Power Plant in a Microgrid</i> , Wind Europe Summit 2016, Hamburg, Germany, 2016	M34
Радови у часописима ван SCI листе	Категорија
6. Ž. Đurišić, B. Škrbić , <i>Potencijal energije sunca i vetra za strateško planiranje dekarbonizacije proizvodnje električne energije u Srbiji</i> , ENERGIJA, EKONOMIJA, EKOLOGIJA, No. 4, pp. 1 - 11, 2022, doi: 10.46793/EEE22-4.01D	M52
7. B. Škrbić , Ž. Đurišić, <i>Komparativna analiza tehničkih, ekonomskih i ekoloških pokazatelja različitih modela prozjumer a sa fotonaponskim panelima na primeru zgrade Tehničkih fakulteta u Beogradu</i> , ENERGIJA, EKONOMIJA, EKOLOGIJA, Vol. XXIII, No. 4, pp. 8 - 15, Dec, 2021, doi: 10.46793/EEE21-4.08S	/
8. B. Škrbić , J. Mikulović, <i>Uporedna analiza definicija reaktivne snage u prisustvu viših harmonika</i> , TEHNIKA, No. 4, pp. 547 - 552, 2017	M51
9. B. Škrbić , J. Stojković, G. Dobrić, <i>Dekompozicija potrošnje u sektoru domaćinstva primenom tehnike veštačkih neuralnih mreža</i> , ENERGIJA, EKONOMIJA, EKOLOGIJA, No. 3-4, pp. 7 - 14, Mar, 2016	M51
Предавање по позиву на скупу националног значаја	
10. Ž. Đurišić, B. Škrbić , <i>Potencijal obnovljivih izvora energije i strateški pravci dekarbonizacije proizvodnje električne energije u Srbiji</i> , Energetska efikasnost i četvrta industrijska revolucija, Savez inženjera i tehničara Srbije, Inženjerska	M62

akademija Srbije, Inženjerska komora Srbije, Beograd, Dec, 2021	
Радови саопштени на домаћим конференцијама	Категорија
11. Ђ. Lazović, B. Škrbić , K. Džodić, Ž. Đurišić, <i>Dekarbonizacija transportnog sektora kroz integraciju fotonaponskih sistema i električnih vozila</i> , XXXV Međunarodno savetovanje ENERGETIKA 2020, Zlatibor, Jun, 2020	M63
12. B. Škrbić , M. Жарковић, <i>Lokalizacija parcijalnih pražnjenja u simuliranom kablovskom sistemu metodom impulsne reflektometrije</i> , XV Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEN-JAHORINA 2016, Jahorina, 2016	M63
Пројекти и студије	
1. Интелигентне енергетске мреже, пројекат III42009, реализатор: Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, наручилац: Министарство просвете, науке и технолошког развоја, Београд, 2015-2020 (учешће на пројекту у трајању од 8 истраживач-месеци)	
2. Интелигентне енергетске мреже-НАСТАВАК, пројекат III42009, реализатор: Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, наручилац: Министарство просвете, науке и технолошког развоја, Београд, 2020-данас (учешће на пројекту у трајању од 8 истраживач-месеци)	
3. Програм развоја ЈП ЕМС "SMARTER GRID" – студија потенцијала управљања потрошњом и могући утицаји на преносни систем ЈП ЕМС, реализатори: Parsons Brinckerhoff Београд, Електротехнички институт "Никола Тесла", Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, наручилац: ЈП ЕМС, 2016. (учешће у студији)	
4. Пројекат за грађевинску дозволу ветропарка Костолац, реализатор: Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, наручилац: ЈП ЕПС, 2017. (учешће на пројекту)	
5. Пројекат "Развој дијагностичког модула за ефикасно управљање трансформатором", реализатор: Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, наручилац: "COMEL" д.о.о, Београд, 2019. (учешће на пројекту)	
6. Пројекат "Дигитализација разводних постројења и уређаја релејне заштите (ДПРПЗ)", реализатор: Универзитет у Београду - Електротехнички факултет, наручилац: Министарство просвете, науке и технолошког развоја, 2022. (учешће на пројекту)	
7. ТЕКО В3 : Konsultantske usluge iz elektroenergetike, telekomunikacija i sistema upravljanja, реализатор: Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, наручилац: ЈП ЕПС, 2020. (учешће на пројекту)	
8. Студија "Унапређење начина оптимизације ангажовања производних јединица ЈП ЕПС ради балансирања ЕЕС у условима интеграције обновљивих извора енергије с освртом на захтеве и могућности унапређења постојећег регулаторног оквира", реализатори: Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, Електротехнички институт "Никола Тесла", Енергопројект Ентел А.Д. Београд, наручилац: ЈП ЕПС, 2021. (учешће у студији)	
9. Елаборат "Анализа потенцијала енергије сунца и ветра и стратешко планирање сценарија декарбонизоване производње електричне енергије у Србији", Наручилац: Електротехнички институт "Никола Тесла", Београд, 2021. (коаутор елабората)	

Дана 22.03.2023. године на Електротехничком факултету у Београду, Бојана Шкрбић 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 Душан Гордић, редовни професор, Универзитет у Крагујевцу – Факултет инжењерских наука
3. др Милош Јечменица, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
4. др Горан Добрић, доцент, 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 Бојане Шкрбић 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 22.03.2023. године пред комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду.
- Публиковао укупно дванаест радова, од којих је два публиковано у врхунским међународним часописима, четири у домаћим часописима, три на међународним скуповима и три на скуповима националног значаја, што га квалификује за научни рад.
- Има вишегодишње искуство у наставно-научном раду на Електротехничком факултету Универзитета у Београду где је учествовао у извођењу наставе из предмета: Електране, Интеграција обновљивих извора у ЕЕС, Системи за складиштење енергије, Софтвер за обновљиве изворе енергије, Квалитет електричне енергије и Разводна постројења, као и у истраживачком раду на пројектима у вези са стратешким планирањем производних капацитета електричне енергије и балансирањем електроенергетског система.

Комисија закључује да кандидат Бојана Шкрбић у сваком погледу испуњава услове за рад на предложеној теми.

2. Предмет, циљ и значај истраживања

Одржива производња електричне енергије представља главни изазов савремене енергетике. Перманентни тренд пораста потражње за електричном енергијом захтева инсталацију нових производних капацитета. Са друге стране, еколошки проблеми, са којима је суочена производња електричне енергије из фосилних горива, захтевају смањење учешћа термоелектрана на фосилна горива у производној структури, односно декарбонизацију производње електричне енергије. Процес декарбонизације производње електричне енергије је један од најургентнијих и најважнијих процеса одрживог развоја јер је производња електричне енергије у термоелектранама на фосилна горива један од главних узрочника климатских промена изазваних емисијом великих количина угљен-диоксида из оваквих постројења [1]-[3]. Поред глобалног проблема емисије угљен диоксида, термоелектране на

фосилна горива су суочене и са локалним проблемима загађења ваздуха услед емисије других штетних гасова који доводе до високих концентрација штетних материја у ваздуху у ширем региону термоелектране. Проблеми глобалног и локалних загађења животне средине, узрокованих радом термоелектрана, су у многим регионима из године у годину све израженији због исцрпљености резерви угља, што доводи до експлоатације и сагоревања угља лошег квалитета који додатно повећава специфичне емисије штетних гасова.

Процес декарбонизације производње електричне енергије довео је до интензивног развоја обновљивих извора енергије (ОИЕ) на глобалном нивоу, пре свега ветроелектрана [4] и фотонапонских електрана [5], које треба да надоместе производњу термоелектрана на фосилна горива у декарбонизованом окружењу. С обзиром на то да је учешће термоелектрана на фосилна горива у глобалној производњи електричне енергије доминантно, процес декарбонизације захтева изградњу заменских капацитета ветроелектрана и фотонапонских електрана. Да би процес замене термоелектрана на фосилна горива обновљивим изворима енергије био у техничком, еколошком, економском и сигурносном погледу оптимално избалансиран потребно је развити одговарајуће националне стратегије изградње ОИЕ, капацитета који треба да обезбеде биланс између произведене и утрошене електричне енергије (билансни капацитети) и капацитета који треба да обезбеде регулацију фреквенције и снага размене (балансни капацитети).

Главни проблем замене термоелектрана обновљивим изворима енергије је варијабилност производње ОИЕ. Производња електричне енергије из ветроелектрана и фотонапонских система није диспечабилна јер је диктирана примарним енергентом (ветром и инсолацијом), што доводи до низа проблема оперативног планирања рада електроенергетских система са високим степеном пенетрације варијабилних обновљивих извора енергије [6]. Главни изазов у декарбонизованом производном окружењу је одржавање равнотеже између активних снага производње и потрошње у електроенергетском систему која се постиже ангажовањем и диспечингом одговарајућих биланских капацитета кроз оперативно планирање на различитим временским хоризонтима (годишње, месечно, недељно, дневно, па чак и унутардневно). Изградња флексибилних производних и складишних капацитета којима би се вршило билансирање производње и потрошње битно утиче на цену коштања енергије у систему [7], [8]. Осим инвестиционих трошкова у изградњу оваквих система и проблема њиховог утицаја на животну средину, свако складиштење енергије носи са собом и одређене губитке који могу битно смањити ефикасност електроенергетског система. Из тог разлога, од битног значаја је да се у процесу планирања производних капацитета обновљивих извора минимизује потреба за изградњом и коришћењем складишних капацитета.

Циљ истраживања у овој докторској дисертацији је развој алгоритама и математичких модела за стратешко планирање изградње обновљивих извора. С обзиром на то да је производња из ветроелектрана и фотонапонских електрана, и на сезонском и на дневном нивоу, у значајној мери комплементарна, један од задатака у докторској дисертацији биће одређивање оптималне структуре [9] и просторне алокације фотонапонских електрана и ветроелектрана у електроенергетском систему. На основу историјских мерних података о потенцијалу енергије ветра и инсолацији биће процењени профили производње перспективних ветроелектрана и фотонапонских електрана за сваки регион у анализираном електроенергетском систему [10]. На основу процењених профила производње у свим анализираним регионима, биће извршена оптимизација инсталираних капацитета фотонапонских електрана и ветроелектрана за сваки регион. Критеријуми оптимизације биће минимизација билансне енергије у анализираном електроенергетском систему за задати профил потрошње и жељени степен редукције производње термоелектрана на угаљ. Овај критеријум заправо представља оптималну структуру и просторну алокацију инсталисане снаге ветроелектрана и фотонапонских електрана при којем постоји најповољнија усклађеност између производње обновљивих

извора енергије и профила потрошње у електроенергетском систему. Очекује се да развијени алгоритми и математички модели могу имати значајну практичну применљивост, да могу послужити као подлога за развој националних стратегија изградње обновљивих извора енергије и увођење система селективног подстицаја производње електричне енергије из обновљивих извора која ће подстаћи дисперзивност изградње обновљивих извора на националним нивоима.

Процес декарбонизације електроенергетског система мора бити постепен, па је потребно развијати modele који ће оптимизовати изградњу фотонапонских електрана и ветроелектрана за различите степене декарбонизације у процесу енергетске транзиције. Велики степен пенетрације варијабилних обновљивих извора енергије суштински мења услове ангажовања агрегата у конвенционалним електранама у електроенергетском систему. Део истраживања у предложеној докторској дисертацији биће усмерен ка оптималном ангажовању термоелектрана на фосилна горива уз уважавање захтева за редукцијом производње из термоелектрана. Основна идеја је да се развију методологије и алгоритми који ће омогућити оптимални план потискивања производње у термоелектранама у присуству производње из варијабилних обновљивих извора енергије тако да се постигне да потребна билансна енергија буде минимална.

Фотонапонски системи и ветроелектране се развијају као велике централизоване јединице, инсталисане снаге од неколико десетина мегавата до неколико стотина мегавата, које су прикључене на преносну мрежу. Алокација ових капацитета је доминантно одређена расположивим потенцијалом у погледу примарног енергента и расположивим простором. Изградња и ојачавање преносне мреже се подразумева као део недостајуће инфраструктуре неопходне за интеграцију обновљивог извора енергије у електроенергетски систем. Са друге стране, значајни су капацитети за изградњу дистрибуираних извора, пре свега фотонапонских електрана, инсталисане снаге од неколико десетина киловата до неколико мегавата, који су прикључени на дистрибутивну средњенапонску и нисконапонску мрежу. Ови извори могу, кроз правилно планирање, допринети смањењу губитака у дистрибутивним мрежама, што је потенцијал за унапређење енергетске ефикасности који треба у оптималној мери искористити. У дисертацији ће бити анализирана оптимална структура и инсталисана снага фотонапонских система прикључених на одређену дистрибутивну мрежу који за задати профил потрошње резултују жељеним нивоом смањења губитака енергије у мрежи.

Математички модели за решавање анализираних задатака биће представљени као линеарни проблеми најмањих квадрата са линеарним ограничењима. Линеаран проблем најмањих квадрата са линеарним ограничењима може се трансформисати у еквивалентан проблем тзв. најмањег растојања [11], [13] коришћењем декомпозиције матрица по сингуларним вредностима и водећи рачуна о нумеричком рангу матрица, чиме се обезбеђује нумеричка стабилност прорачуна. Затим се применом дуалног приступа, који су користили Lawson and Hanson [12], Cline [13], Haskell and Hanson [14], проблем решава применом LDP [12] и NNLS [12] алгоритама као главних алата. Ови алгоритми увек конвергирају. Решење овог проблема увек постоји. У општем случају овај проблем може да има бесконачно много решења (уколико је матрица система непотпуног ранга), али је чак и тада могуће одредити јединствено решење са минималном нормом, што је добро јер у постављеним проблемима представља решење са најмањом укупном инсталисаном снагом електрана.

Значај и актуелност истраживања, која су предмет докторске дисертације, може се сагледати и кроз значајан број научно-истраживачких радова који су у последњих шест година публиковани у водећим међународним научним часописима. Само неки од ових радова су издвојени из предвиђене библиографије ове дисертације и приказани у наставку ([15]-[20]).

- [1] International Energy Agency, Net Zero by 2050 – A roadmap for the Global Energy Sector, 2021.
- [2] Tong, D. et al. Committed emissions from existing energy infrastructure jeopardize 1.5 °C climate target. *Nature* 572, 373–377 (2019).
- [3] Luderer, G. et al. The role of renewable energy in climate stabilization: results from the EMF27 scenarios. *Clim. Change* 123, 427–441 (2014).
- [4] Global Wind Energy Council, Global Wind Report 2022, 2022
- [5] Solar Power Europe, Global Market Outlook for Solar Power 2022-2026, 2022.
- [6] Heptonstall, P.J., Gross, R.J.K. A systematic review of the costs and impacts of integrating variable renewables into power grids. *Nat Energy* 6, 72–83 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41560-020-00695-4>
- [7] Strbac, G. & Aunedi, M. Whole-system Cost of Variable Renewables in Future GB Electricity System, Joint Industry Project with RWE Innogy, Renewable Energy Systems and Scottish Power Renewables. (E3G,; 2016).
- [8] Hirth, L., Ueckerdt, F. & Edenhofer, O. Integration costs revisited—an economic framework for wind and solar variability. *Renew. Energy* 74, 925–939 (2015)
- [9] B. Škrbić, D. Kotur, Ž. Đurišić, An Optimal Mix of Wind and Solar Power Plant in a Microgrid, Wind Europe Summit 2016, Hamburg, Germany, 2016
- [10] Ž. Đurišić, B. Škrbić, Potencijal energije sunca i vetra za strateško planiranje dekarbonizacije proizvodnje električne energije u Srbiji, ENERGIJA, EKONOMIJA, EKOLOGIJA, No. 4, pp. 1 - 11, 2022, doi: 10.46793/EEE22-4.01D.
- [11] Björck, Å. Chapter 5 Constrained Least Squares Problems. In *Numerical Method for Least Squares Problems*, SIAM: Philadelphia, USA, 1995; pp. 194–197.
- [12] Lawson, C. L.; Hanson, R.J. *Solving Least Squares Problems*, Prentice-Hall: Englewood Cliffs, New Jersey, 1974; pp. 154–196.
- [13] Cline, A.K. The transformation of a quadratic programming problem into solvable form, Tech. Report ICASE 75-14, NASA, Langley Research Center: Hampton, VA., 1975.
- [14] Haskell, K.H.; Hanson, R.J. Algorithm for linear least squares problems with equality and nonnegativity constraints, *Math Programming*, Volume 21, 1981, pp. 98-118.
- [15] Drechsler, M., Egerer, J., Lange, M. et al. Efficient and equitable spatial allocation of renewable power plants at the country scale. *Nature Energy* 2, 17124 (2017). <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.124>
- [16] Tong, D., Farnham, D.J., Duan, L. et al. Geophysical constraints on the reliability of solar and wind power worldwide. *Nature Communications* 12, 6146 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26355-z>
- [17] Lohr, C., Schlemminger, M., Peterssen, F., Bensmann, A., Niepelt, R., Brendel, R. and Hanke-Rauschenbach, R., Spatial concentration of renewables in energy system optimization models. *Renewable Energy*, 198, 2022, pp.144-154.
- [18] Lombardi, F., Pickering, B., Colombo, E. and Pfenninger, S., Policy decision support for renewables deployment through spatially explicit practically optimal alternatives. *Joule*, 4(10), 2020, pp.2185-2207.
- [19] Simshauser, P., Billimoria, F. and Rogers, C., Optimising VRE capacity in Renewable Energy Zones, *Energy Economics*, 113, 2022, p.106239.
- [20] Verástegui, F., Lorca, Á., Olivares, D. and Negrete-Pincetic, M., Optimization-based analysis of decarbonization pathways and flexibility requirements in highly renewable power systems. *Energy*, 234, 2021, p.121242.

3. Полазне хипотезе

Полазне претпоставке на основу којих ће бити спроведена истраживања која су предмет ове докторске дисертације су:

- Профили производње ветроелектрана и фотонапонских електрана су у одређеној мери комплементарни и на сезонском и на дневном нивоу.
- Постоји оптимална структура и просторна алокација инсталисаних капацитета фотонапонских електрана и ветроелектрана при којој је потребна билансна енергија у систему минимална.
- За задати степен редукције производње из термоелектрана постоји оптимална структура и просторна алокација инсталисаних капацитета фотонапонских електрана и ветроелектрана који могу да надоместе потиснуту производњу из термоелектрана уз оптимални диспечинг термоелектрана, а тако да потребна билансна енергија у систему буде минимална.
- Инсталирањем дистрибуираних фотонапонских система део енергије потрошње се производи локално због чега се може постићи смањење губитака енергије у дистрибутивној мрежи.

4. Научне методе истраживања

У предметној докторској дисертацији истраживања ће бити спровођена применом следећих метода:

- Профили производње ветроелектрана и фотонапонских електрана биће процењивани за сваки идентификовани регион са технички искористивим потенцијалном енергије ветра и соларног зрачења на основу расположивих метеоролошких података (средњих сатних вредности брзине ветра, ирадијације, амбијенталне температуре и притиска), као и карактеристика комерцијалних фотонапонских модула и ветроагрегата.
- Планерски профили производње за хидроелектране ће бити формиран на основу вишедеценијских података о протоцима у речним токовима од интереса као и подацима о производњи хидроелектрана за вишегодишњи период.
- Оптимална просторна алокација и процена инсталисаних капацитета ветроелектрана и фотонапонских електрана биће вршена уз претпоставку реалних ограничења у погледу расположивих ресурса енергије ветра и сунца, расположивог простора.
- Математички модели анализираних проблема биће решавани применом методе најмањих квадрата са линеарним ограничењима која се може трансформисати у еквивалентан проблем тзв. најмањег растојања. Затим се применом дуалног приступа, који су користили Lawson and Hanson, Cline, Haskell and Hanson, проблем решава применом LDP и NNLS алгоритама као главних алата.
- Прорачун, обрада и приказ резултата ће бити вршени применом програмског пакета MATLAB, PVGIS, WAsP.
- Демонстрација практичног значаја и применљивости предложених алгоритама и модела биће спроведена кроз рачунарске симулације на реалном електроенергетском систему коришћењем реалних улазних метеоролошких и других података.

5. Очекивани научни доприноси

Очекивани научни доприноси предложене докторске дисертације су:

- Биће развијен алгоритам и математички модел за планирање дистрибуираних извора у ЕЕС-у за циљани ниво смањења губитака енергије у дистрибутивним мрежама.
- Биће развијен алгоритам и математички модел за прорачун оптималне структуре и просторне алокације варијабилних обновљивих извора енергије са циљем потпуне декарбонизације производње електричне енергије у одређеном електроенергетском систему.
- Биће развијена метода за анализу осетљивости и дефинисање конвексног скупа сценарија у околини оптималног решења који може бити коришћен за економску евалуацију оптималне структуре и алокације производних капацитета варијабилних ОИЕ.
- Биће развијена метода за анализу сличности профила производње фотонапонских и ветроелектрана у различитим регионима.
- Биће развијен алгоритам и математички модел за прорачун оптималне структуре и просторне алокације варијабилних ОИЕ и оптимални диспечинг електрана на фосилна горива за захтевани ниво редукције производње из термоелектрана у одређеном ЕЕС-у.
- Биће дефинисана оптимална структура и просторна алокација инсталисаних капацитета: ветроелектрана, фотонапонских електрана које се прикључују на преносну мрежу и дистрибуираних PV система за ЕЕС Србије за сценарије потпуне и делимичне декарбонизације производње електричне енергије.

6. План истраживања и структура рада

Основни кораци истраживања у оквиру предложене докторске дисертације су:

- Дефинисање основних принципа декарбонизације производње електричне енергије у електроенергетским системима.
- Дефинисање модела за прорачун производње електричне енергије из варијабилних обновљивих извора енергије.
- Сагледавање принципа и механизма за билансирање производње и потрошње у електроенергетском систему са обновљивим изворима енергије.
- Дефинисање модела за оптималну просторну алокацију обновљивих извора енергије.
- Дефинисање модела за прорачун оптималног ангажовања термоелектрана у електроенергетском систему са обновљивим изворима енергије и захтеваном редукцијом производње из термоелектрана.
- Демонстрација ефеката развијених модела на реалном електроенергетском систему.
- Демонстрација развијеног модела за планирање дистрибуираних извора за циљани ниво смањења губитака енергије на реалној дистрибутивној мрежи.

Текст докторске дисертације биће написан на српском језику.

7. Закључак и предлог

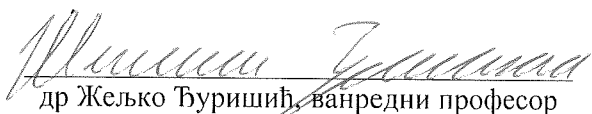
На основу приложене документације и непосредног увида у досадашњи рад кандидата Бојане Шкрбић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија закључује следеће:

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 „Оптимална структура и просторна алокација обновљивих извора енергије у електроенергетском систему са редукованом производњом из термоелектрана” (енглески: „*Optimal structure and spatial allocation of renewable energy sources in a power system with reduced thermal power plants energy generation*”) 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.

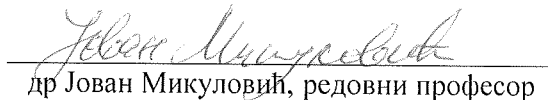
На основу претходно изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Бојани Шкрбић одобри израду докторске дисертације под називом „Оптимална структура и просторна алокација обновљивих извора енергије у електроенергетском систему са редукованом производњом из термоелектрана” (енглески: „*Optimal structure and spatial allocation of renewable energy sources in a power system with reduced thermal power plants energy generation*”), а под менторством др Жељка Ђуришића, ванредног професора Електротехничког факултета у Београду.

У Београду, 27. 03. 2023.

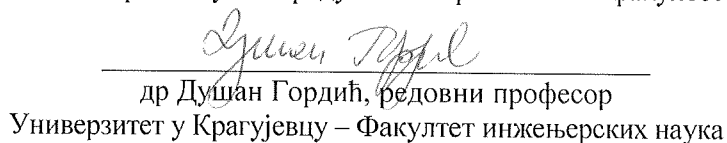
Чланови комисије

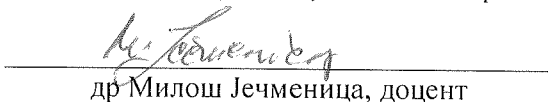

др Жељко Ђуришић, ванредни професор

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Јован Микуловић, редовни професор

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Душан Гордић, редовни професор
Универзитет у Крагујевцу – Факултет инжењерских наука


др Милош Јечменица, доцент

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Горан Добрић, доцент

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет