

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Бојане Шкрбић

Одлуком бр. 997/14 од 04.07.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Бојане Шкрбић, под насловом

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

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

10.11.2015. године Бојана Шкрбић је уписала докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Електроенергетске мреже и системи. Све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских студија положила је са просечном оценом 10.

07.02.2023. године Бојана Шкрбић је пријавила тему за израду докторске дисертације под радним 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*).

14.02.2023. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме упутила Наставно – научном већу на усвајање.

03.03.2023. године Наставно-научно веће именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 338 од 3.3.2023. године) у саставу:

- 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

за ментора је предложен:

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

22.03.2023. године обављена је јавна усмена одбрана теме докторске дисертације на Електротехничком факултету у Београду пред комисијом у саставу:

- 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

На одбрани су били присутни сви чланови Комисије. Комисија је оценила усмену одбрану предложене теме као успешну (оцена „задовољио“).

11.04.2023. године Наставно-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

15.05.2023. године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Бојане Шкрбић 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*) (Решење број 61206-1683/2-23 од 15.05.2023).

19.06.2023. године кандидаткиња Бојана Шкрбић је предала на преглед и оцену докторску дисертацију 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*).

27.06.2023. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

04.07.2023. године Наставно-научно веће Електротехничког Факултета именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (Одлука бр. 997/14 од 04.07.2023. године).

- др Јован Микуловић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Милош Јечменица, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Душан Гордић, редовни професор, Универзитет у Крагујевцу – Факултет инжењерских наука

- др Александар Савић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Горан Добрић, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

1.2. Научна област дисертације

Дисертација кандидаткиње Бојане Шкрбић припада научној области Електротехничко и рачунарско инжењерство, ужа научна област Електроенергетски системи, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. За ментора дисертације одређен је др Жељко Ђуришић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, због истакнутих доприноса у ужој области Електроенергетски системи, а посебно у подобласти обновљивих извора енергија, којом се бави предметна дисертација.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Бојана Шкрбић је рођена у Београду, 22.04.1991. 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). 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 01.04.2015. 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 напоном 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.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је по форми и структури у потпуности усклађена са Упутством о облику и садржају докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду. Докторска дисертација је написана на српском језику, ћириличним писмом, и има укупно 104 стране. Садржи 46 слика, 25 табела, 223 нумерисаних једначина и 105 библиографских референци. Делови дисертације су:

- Насловна страна на српском језику
- Насловна страна на енглеском језику
- Страна са информацијама о ментору и члановима комисије
- Страна са наведеном захвалницом и посветом
- Страна са подацима о докторској дисертацији и сажетак на српском језику
- Страна са подацима о докторској дисертацији и сажетак на енглеском језику
- Садржај
- Списак слика
- Списак табела
- Списак најважнијих скраћеница
- Текст рада по поглављима:
 1. Увод
 2. Нови приступ дугорочном планирању развоја ОИЕ и пратећих флексибилних капацитета
 3. Методологија за решавање проблема дугорочног планирања развоја ОИЕ
 4. Планирање развоја дистрибуираних PV система
 5. Дугорочно планирање развоја варијабилних ОИЕ са циљем потпуне декарбонизације производње електричне енергије у електроенергетским системима
 6. Планирање развоја варијабилних ОИЕ са циљем делимичне декарбонизације производње електричне енергије у електроенергетским системима
 7. Закључак
- Списак коришћене литературе
- Биографија аутора
- Изјава о ауторству
- Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада
- Изјава о коришћењу

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу су наведени основни циљеви и значај предметног истраживања.

У другом поглављу дефинисан је предмет истраживања, дат је преглед литературе и описан је нови приступ планирању развоја ОИЕ и пратећих флексибилних капацитета. У овом поглављу су описани аспекти анализе ресурса сунца и ветра које је потребно уважити приликом процене регионалног техничког потенцијала за изградњу фотонапонских електрана велике снаге и ветроелектрана и дати су резултати анализе ресурса ОИЕ на територији ЕЕС-а Србије. Описана је развијена методологија за моделовање производње

хидроелектрана за потребе дугорочног планирања развоја ОИЕ и дати су резултати примене ове методологије на хидроелектране у ЕЕС-у Србије.

У трећем поглављу описана је методологија решавања проблема дугорочног планирања развоја ОИЕ који су дефинисани као линеарни проблеми најмањих квадрата са линеарним ограничењима. Ово су проблеми велике димензионалности. За решавање ових проблема је примењена егзактна метода која користи декомпозицију матрица по сингуларним вредностима и естимацију нумеричког ранга као би се избегле потенцијалне дегенерисане матрице, што обезбеђује нумеричку стабилност алгорита и високу поузданост резултата.

У четвртном поглављу описана је развијена методологија планирања развоја дистрибуираних фотонапонских система. Анализирани су системски ефекти изградње одређених капацитета дистрибуираних фотонапонских система у погледу утицаја на укупну енергију губитака у дистрибутивној мрежи, појаву контра токова снаге (из дистрибутивне мреже у преносни систем) и резидуални профил укупне бруто потрошње у ЕЕС-у Србије.

У петом поглављу описана је развијена методологија дугорочног планирања развоја варијабилних ОИЕ са циљем потпуне декарбонизације производње електричне енергије у електроенергетским системима и дати су резултати примене ове методологије на ЕЕС Србије. У овом поглављу је описана развијена метода за анализу осетљивости и дефинисање конвексног скупа сценарија у околини оптималног решења који се може применити за економску евалуацију оптималне структуре и алокације производних капацитета варијабилних ОИЕ. Такође је описана развијена метода за анализу сличности профила производње фотонапонских електрана и ветроелектрана у различитим регионима.

У шестом поглављу описана је развијена методологија дугорочног планирања развоја варијабилних ОИЕ са циљем делимичне декарбонизације производње електричне енергије у електроенергетским системима и дати су резултати примене ове методологије на ЕЕС Србије.

У седмом поглављу дат је закључак дисертације и даљи правци истраживања. Сажето су наведени резултати истраживања и истакнути су основни доприноси докторске дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом „Оптимална структура и просторна алокација обновљивих извора енергије у електроенергетском систему са редукованом производњом из термоелектрана” представља оригиналан научноистраживачки рад, који је настао као резултат вишегодишњих истраживања кандидаткиње у области обновљивих извора енергије и њихове интеграције у електроенергетски систем.

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. 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 и фотонапонских електрана, 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. 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. Главни изазов у декарбонизованом производном окружењу је одржавање равнотеже између активних снага производње и потрошње у електроенергетском систему. Из тог разлога, од битног значаја је да се у процесу планирања производних капацитета обновљивих извора минимизује потреба за изградњом и коришћењем складишних капацитета.

У овој докторској дисертацији је развијен оригиналан алгоритам и математички модел за стратешко планирање изградње обновљивих извора електричне енергије. Овај модел омогућава одређивање оптималне структуре и просторне алокације фотонапонских електрана и ветроелектрана у електроенергетском систему. Критеријум оптимизације је минимизација захтева за флексибилношћу у анализираном електроенергетском систему и потреба за разменом енергије са околним електроенергетским системима, за задати профил потрошње и жељени степен редукције производње термоелектрана на угљ. Овим критеријумом се одређује оптимална структура и просторна алокација инсталисане снаге ветроелектрана и фотонапонских електрана при којој постоји најповољнија усклађеност између производње обновљивих извора енергије и профила потрошње у електроенергетском систему.

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.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације, кандидаткиња је детаљно истражила релевантну литературу из научне области којом се бави дисертација. Литература наведена у дисертацији броји 105 библиографских јединица, на основу чега се може закључити да је кандидаткиња остварила темељан увид у резултате досадашњих истраживања у предметној научној области. У оквиру наведене литературе налазе се радови кандидаткиње, од којих је најзначајнији рад публикован у међународном часопису са *Impact Factor*-ом, а који је проистекао из рада на докторској дисертацији. У овом раду је приказана оригиналност

предложене методологије и предности у односу на друге приступе у решавању сличних проблема, као и практична применљивост на примеру електроенергетског система Србије.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања спроведеног у предметној докторској дисертацији је спроведена у неколико фаза.

У првој фази истраживања анализирани су модели за просторну регионализацију електроенергетског система у погледу ресурса за изградњу ветроелектрана и фотонапонских електрана. Анализирани су модели за процену максималних капацитета и прорачун референтних прола специфичне производње ветроелектрана и фотонапонских електрана у сваком региону.

У другој фази истраживања развијен је модел за прорачун референтног профила производње проточних и акумулационих хидроелектрана. Модел се заснива на процени профила производње хидроелектрана на основу природних дотока. Развијени су модели за прорачун референтних регресионих модела за дефинисање зависности производње хидроелектрана при различитим природним дотоцима воде.

У трећој фази је развијен модел за процену референтног дијаграма потрошње који је процењен на основу историсјких података о потрошњи у анализираном електроенергетском систему и прорачунатог оптимизованог профила производње дистрибуираних фотонапонских система. У дисертацији је развијен алгоритам и модел за оптимизацију инсталисане снаге фотонапонских система прикључених на дистрибутивну мрежу за жељени ниво смањења губитака у дистрибутивној мрежи. Модел се заснива на претпоставци о хомогеној распрострањености фотонапонских система у дистрибутивном систему.

У четвртој фази је развијен оригиналан алгоритам и модел за оптимизацију структуре и просторне алокације варијабилних обновљивих извора енергије за потпуну декарбонизацију производње електричне енергије у анализираном ЕЕС-у и оригиналан алгоритам и модел за оптимизацију структуре и просторне алокације варијабилних обновљивих извора енергије за одређени степен делимичне декарбонизације производње електричне енергије у анализираном ЕЕС-у. Задати оптимизациони проблеми припадају класи проблема велике димензионалности са великим бројем променљивих и ограничењима типа неједнакости. За решавање неког од ових проблема било је неопходно развити алгоритам за решавање постављених проблема који је нумерички стабилан, гарантује конвергенцију и у случају да проблем има бесконачно много решење, одређује јединствено решење које минимизира додатни критеријум. За овај, додатни, критеријум изабрана је минимизација Еуклидове норме решења. Математички модели који су развијени у докторској дисертацији формално математички представљају линеарни проблем најмањих квадрата са линеарним ограничењима. Овај проблем је трансформисан у еквивалентан проблем тзв. најмањег растојања коришћењем декомпозиције матрица по сингуларним вредностима, при чему је вођено рачуна о нумеричком рангу матрица, чиме је обезбеђена нумеричка стабилност прорачуна. Затим је применом дуалног приступа, проблем решаван применом LDP и NNLS алгоритама као главних алата, чиме је обезбеђена поуздана конвергенција и јединствено решење проблема са минималном нормом.

У петој фази је развијена метода за анализу осетљивости добијеног оптималног решења у постављеним проблемима у циљу сагледавања оквира прихватљивости одступања

просторне алокације и структуре производних капацитета ветроелектрана и фотонапонских електрана од прорачунате оптималне вредности.

У шестој фази је развијена метода за анализу сличности профила ветроелектрана и фотонапонских електрана у различитим регионима.

Примењена методологија у потпуности одговара проблемима који су решавани у докторској дисертацији, као и стандардима научно-истраживачког рада, а у сагласности је са циљевима дефинисаним на почетку израде дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Један од главних изазова интеграције ОИЕ у електроенергетским системима је повезан са усклађивањем расположиве производње из варијабилних извора и захтева потрошње. Модели за оптимизацију структуре и просторне алокације ОИЕ који су развијени у овој дисертацији представљају оптимизацију физичких токова енергије, тј. усаглашавање природних профила производње из примарних ресурса који зависе од временских прилика (речних токова, ветра и ирадијације) са профилем укупне потрошње у анализираном ЕЕС-у. Развијени модели се заснивају на методи најмањих квадрата која оптимално користи природну комплементарност која постоји између ресурса ветра, сунца и хидроресурса, као и њихову корелисаност са профилем укупне потрошње у будућем ЕЕС-у. Ови модели постижу компромис између максимизације енергије потрошње која се директно (без посредства система за складиштење енергије) снабдева из националних електрана и минимизације захтева за флексибилношћу у ЕЕС-у коју додатни балансни капацитети треба да обезбеде, што је од кључне важности за стабилност ЕЕС-а. Ово такође значи да је минимизирана укупна енергија која би требало да прође кроз системе за складиштење енергије, а тиме је минимизиран потребан енергетски капацитет система за складиштење, као и губици енергије који прате складиштење енергије, што повећава енергетску ефикасност ЕЕС-а. С друге стране, минимизирана је укупна инсталисана снага система за складиштење што заједно са минимизацијом енергетског капацитета доприноси смањењу инвестиционих трошкова у системе за складиштење енергије.

Предложена методологија, која је развијена у овој дисертацији, представља подлогу за стратешко планирање развоја ОИЕ у процесу декарбонизације производње електричне енергије у националним електроенергетским системима. Развијена методологија као основни принцип усваја максимизацију енергетске независности, односно минимизацију потребних прекограничних капацитета за балансирање производње и потрошње електричне енергије у анализираном ЕЕС-у. Овакав приступ обезбеђује сигурност у снабдевању електричном енергијом конзума у националном ЕЕС-у, поузданост пласмана електричне енергије произведене из националних капацитета ОИЕ и независност од поремећаја на тржишту електричне енергије.

Процес декарбонизације електроенергетског система је постепен, па су у дисертацији развијани модели који омогућавају оптимизацију изградње 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 је усмерен ка оптималном ангажовању термоелектрана на фосилна горива уз уважавање захтева за редукијом производње из термоелектрана. Развијена је методологија и алгоритам који одређују оптимални план потискивања производње у термоелектранама у присуству производње из

варијабилних обновљивих извора енергије тако да се постигне дкомпромис између минимизације потребне балансна енергије би минимизације потребне балансне снаге.

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 средњапонску и нисконапонску мрежу. Ови извори могу, кроз правилно планирање, допринети смањењу губитака у дистрибутивним мрежама, што представља потенцијал за унапређење енергетске ефикасности који треба у оптималној мери искористити. У дисертацији је предложен модел за оптимизацију инсталисане снаге фотонапонских система прикључених на одређену дистрибутивну мрежу који за задати профил потрошње резултују жељеним нивоом смањења губитака енергије у мрежи.

Развијени оптимизациони модел је демонстриран на примеру дугорочног развоја ОИЕ са циљем постепене декарбонизације производње електричне енергије у Србији, која подразумева да се у неколико фаза изврши потпуна замена свих постојећих електрана на угљь обновљивим изворима енергије. Показано је да би оптималан развој ОИЕ према развијеној методологији резултовао таквом структуром и просторном алокацијом фотонапонских електрана и ветроелектрана да би се у потпуно декарбонизованом ЕЕС-у Србије 84% енергије потрошње на годишњем нивоу снабдевало директно из електрана без посредства система за складиштење енергије.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самосталан научни рад

Бојана Шкрбић је током докторских студија, као и током целокупног досадашњег рада, показала све особине неопходне за самосталан научноистраживачки рад. У прилог томе сведочи и чињеница да је до сада публиковала укупно 16 научно-стручних радова, од чега су три рада публикована у међународним часописима са импакт фактором, од чега су два рада категорије M21 и један рад категорије M23.

Начин на који је написана докторска дисертација и научни доприноси који су у њој представљени потврђују спремност кандидаткиње за самосталан научни рад, почевши од систематичног прегледа доступне литературе, преко уочавања недостатака и ограничења постојећих метода, до развоја алгоритама и математичких модела који превазилази уочене недостатке. Научни рад кандидаткиње одликује темељан и систематичан приступ решавању научних проблема.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОСИ

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Најзначајнији научни доприноси коју су остварени у оквиру докторске дисертације огледају се у следећем:

- Развијен је алгоритам и математички модел за планирање дистрибуираних извора у ЕЕС-у за циљани ниво смањења губитака енергије у дистрибутивним мрежама.
- Развијен је 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.
- Развијена је 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.
- Развијена је метода за анализу сличности профила производње фотонапонских електрана и ветроелектрана у различитим регионима.
- Развијен је 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.
- Дефинисана је оптимална структура и просторна алокација инсталираних капацитета: ветроелектрана, фотонапонских електрана које се прикључују на преносну мрежу и дистрибуираних фотонапонских система за ЕЕС Србије за сценарије потпуне и делимичне декарбонизације производње електричне енергије.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Алгоритам и математички модел који је развила кандидаткиња Бојана Шкрбић у својој дисертацији представља унапређење постојећих приступа и математичких модела за оптимално планирање и алокацију производних капацитета ОИЕ. Алгоритам полази од физичких профила производње чиме се обезбеђује независност од тржишних и других услова који уносе битну несигурност код дугорочног планирања производних капацитета. Развијени математички модел, који се заснива на методи минимума суме квадрата, обезбеђује поуздану конвергенцију и егактно решење, те не постоји несигурност у добијени резултат каква се јавља код хеуристичких метода које се често користе у литератури. Развијени модел омогућава укључивање економских параметара у оптимизацију кроз анализу осетљивости за коју је дефинисан математички модел и његова примена је потврђена на конкретном примеру. На тај начин је решењу дата одређена флексибилност што је од посебног значаја за практичну примену развијене методологије.

4.3. Верификација научних доприноса

Списак радова у којима је публикован део резултата истраживања у оквиру докторске дисертације кандидаткиње Бојане Шкрбиће је дат у наставку:

Категорија М23:

- [1] **В. Шкрбић**, **Ž. Đurišić**, Novel Planning Methodology for Spatially Optimized RES Development Which Minimizes Flexibility Requirements for Their Integration into the Power System. *Energies* 2023, Vol. 16(7), p. 3251, April 2023, <https://doi.org/10.3390/en16073251>, ISSN1996-1073, Impact Factor: 3.252

Категорија М34:

[1] **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

Категорија M52:

[1] 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

Категорија M63:

[1] **B. Škrbić**, Ž. Đurišić, Analiza optimalne strukture i prostorne dispresivnosti obnovljivih izvora energije u procesu dekarbonizacije elektroenergetskog sistema Srbije, 36. Savetovanje CIGRE Srbija 2023., Zlatibor, 2023, p. STK C1-07.

Категорија M62:

[2] Ž. Đurišić, **B. Škrbić**, Potencijal obnovljivih izvora energije i strateški pravci dekarbonizacije proizvodnje električne energije u Srbiji, Energetska efikasnost i četvrta industrijska revolucija, Savez inženjera i tehničara Srbije, Inženjerska akademija Srbije, Inženjerska komora Srbije, Beograd, Dec, 2021

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидаткиње Бојане Шкрбић под насловом „Оптимална структура и просторна алокација обновљивих извора енергије у електроенергетском систему са редукованом производњом из термоелектрана” у целини је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и испуњава све суштинске и формалне услове предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета.

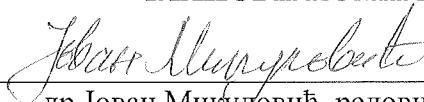
У предметној докторској дисертацији је развијен оригиналан алгоритам и математички модел за стратешко планирање изградње обновљивих извора енергије. Развијени модел омогућава одређивање оптималне структуре и просторне алокације фотонапонских електрана и ветроелектрана са циљем минимизације захтева за флексибилношћу ЕЕС-а, максимизације степена енергетске независности и минимизације потребних прекограничних преносних капацитета за балансирање производње и потрошње у анализираном електроенергетском систему за задати профил потрошње и жељени степен редукације производње термоелектрана на угаљ. Развијени модел има битну практичну применљивост у погледу стратешког планирања изградње варијабилних ОИЕ и омогућава најбоље усклађивање производње и потрошње у националним електроенергетским системима. Практична применљивост развијеног модела је демонстрирана у дисертацији на примеру дугорочног развоја ОИЕ са циљем постепене декарбонизације производње електричне енергије у електроенергетском систему Србије.

Докторска дисертација кандидаткиње Бојане Шкрбић представља резултат њеног вишегодишњег истраживачког рада у области конвенционалних електрана и обновљивих извора енергије и њихове интеграције у електроенергетски систем. Научне доприносе који представљају резултат истраживања у оквиру докторске дисертације кандидаткиња је публиковала у међународном и домаћем часопису, као и на међународној и домаћим конференцијама. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове

Имајући у виду наведено, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Оптимална структура и просторна алокација обновљивих извора енергије у електроенергетском систему са редукованом производњом из термоелектрана” кандидата Бојане Шкрбић изложи на увид јавности, прихвати и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 12.07.2023. године

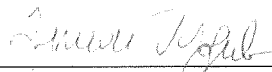
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



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



др Милош Јечменица, доцент,
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



др Александар Савић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Горан Добрић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет