

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

Иван С. Стевовић

**Интердисциплинарни модели стратешких
интеграција обновљивих извора енергије**

Докторска дисертација

Београд, 2022.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

Ivan S. Stevović

Interdisciplinary models of strategic integrations of
renewable energy sources

Doctoral dissertation

Belgrade, 2022.

Ментор:

Др Обрадовић Владимир

Редовни професор Факултета организационих наука

Универзитет у Београду

Чланови комисије:

Др Наташа Петровић, председник комисије

Редовни професор Факултета организационих наука

Универзитет у Београду

Др Зорица Богдановић

Редовни професор Факултета организационих наука

Универзитет у Београду

Др Марија Тодоровић

Ванредни професор Факултета организационих наука

Универзитет у Београду

Др Илија Батас Бијелић, спољни члан

Научни сарадник Института техничких наука

Српске академије наука и уметности, Београд

Др Иван Ракоњац

Доцент, Факултет безбедности

Универзитет у Београду

Датум одбране:

Захвалност

Захваљујем се свим професорима са Факултета организационих наука за пружена знања која су била неопходна као полазиште за истраживања спроведена у овој дисертацији.

Посебно се захваљујем ментору проф. др Владимиру Обрадовићу, председнику комисије проф. др Наташи Петровић и члановима комисије проф. др Зорици Богдановић и проф. др Марији Тодоровић са Факултета организационих наука и спољним члановима др Илији Батас Бијелићу, научном сараднику из Техничког института САНУ и проф. др Ивану Ракоњу са Факултета за безбедност, Универзитета у Београду, за експертско вођење при изради и за све позитивне сугестије у току финализације ове дисертације.

Захваљујем се Јелени Ранић, дипл. графичком дизајнеру на помоћи за естетску профињеност прилога.

Интердисциплинарни модели стратешких интеграција обновљивих извора енергије

Апстракт:

Предмет истраживања докторске дисертације је формирање и интердисциплинарно истраживање различитих модела интеграције обновљивих извора енергије (ОИЕ), са циљем доприноса остварењу енергетских стратегија до 2050-е, а у складу са критеријумима еколошког менаџмента и одрживог развоја. Интердисциплинарним приступом се анализирају, интегришу и хармонизују истраживања из области стратешког менаџмента, управљања ресурсима, циркуларне економије, енергетике, еколошког менаџмента и одрживог развоја у кохерентну целину, кроз физичке и математичко статистичке симулационе моделе.

Централни проблем који се анализира је испитивање иновативних могућности интеграције технологија ОИЕ, са задатком повећања економских и енергетских бенефити, а истовремено уз унапређење квалитета животне средине и смањење емисија гасова стаклене баште у пројектном друштву које мора бити одрживо. Циљ дисертације је да се истражи са којим степеном интеграције технологије ОИЕ се постижу максимални синергијски позитивни ефекти за локалну заједницу и за целокупну друштвену заједницу, уз хармонизацију конфликтних интереса.

Циљ истраживања се реализује развојем триангулационог модела и природом инспирисаног оптимизационог модела

мултидимензионалних генетских алгоритама, најпре у односу на корелациони мултидимензионални модел интеграције ОИЕ у 28 земаља Европе, уз уважавање друштвено економског окружења, а затим поново холистички у оквиру реалног електро енергетског система.

Резултати који се постижу развојем холистичких интердисциплинарних модела ОИЕ могу да буду подршка доносиоцима одлука и свим заинтересованим странама, на дугачком путу до остварења стратешког циља декарбинузујећег друштва. Резултати ових истраживања могу помоћи при доношењу адекватнијих управљачких одлука и при изради стратешких студија и пројеката.

Кључне речи: *менаџмент, интердисциплинарност, стратегија декарбонизације, вишедимензионални модели, обновљиви извори енергије, животна средина, одрживост, циркуларна економија.*

Научна област:

Организационе науке

Ужа научна област:

Интердисциплинарна истраживања у менаџменту

УДК број:

***Interdisciplinary models of strategic integrations
of renewable energy sources***

Abstract:

The subject of this doctoral thesis is the development and interdisciplinary research of various models for integration of renewable energy sources (RES), with the aim of contribution to the achievement of energy strategies until 2050. in accordance with the criteria of environmental management and sustainable development. The interdisciplinary approach analyzes, integrates and harmonizes researches in the field of strategic management, resource management, circular economy, energy, environmental management and sustainable development into a coherent integrity, by physical and mathematical statistical simulation models.

The central problem analyzed is the research of innovative possibilities of integration of RES technologies, with the task to increase economic and energy benefits, and at the same time improve environmental quality and reduce greenhouse gas emissions, in project society which has to be sustainable. The aim of this dissertation is to research which degree of integration of RES, is giving maximum synergistic positive effects for the local community and for the entire community, harmonizing the conflicting interests.

The aim of the research is realized by the development of a triangulation model and by the nature-inspired optimization model of multidimensional genetic algorithms, first within the correlation multidimensional model for integration of RES in 28 European countries, taking into account the socio-

economic environment, and then again holistically within the real power system.

The results achieved by the development of holistic interdisciplinary models for integration of RES can be support to decision makers and all stakeholders, on the long path to the realization strategic goal of decarbonizing society. The results of this research can help in making more adequate management decisions and in the development of strategic studies and projects.

Key words: *management, interdisciplinary, decarbonisation strategy, multidimensional models, renewable energy sources, environment, sustainability, circular economy.*

Scientific field:

Organizational sciences

Scientific subfield:

Interdisciplinary research in management

UDK number:

САДРЖАЈ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. Уводна разматрања	12
1.1. Проблеми и мотивација за истраживање	12
1.2. Дефинисање предмета и обима истраживања	15
1.3. Циљеви истраживања и постављени модели	16
1.4. Полазне хипотезе	20
1.5. Методологија истраживања	22
1.6. Структура и организација дисертације	24
2. Преглед стања у области и критичка евалуација	27
2.1. Преглед учених проблема у литератури	27
2.2. Критичка евалуација постојећих приступа и решења	31
2.3. Садашње стање и перспективе интеграције ОИЕ	34
2.4. ОИЕ као императив одрживог развоја	37
2.5. Императив интердисциплинарности	40
3. Развој интердисциплинарног триангулационог модела	41
3.1. Интердисциплинарни МДЛР модел интеграције ОИЕ	44
3.2. Економски метод УТЕЕ	46
3.3. Јавно мњење, експертско мишљење и микс метод анкета интервју	47
3.4. Провера теоријских поставки на студији случаја	50
3.4.1. Резултати МДЛР модела за пет регресора	52
3.4.2. Резултати МДЛР модела за осам регресора	57
3.4.3. Резултати метода УТЕЕ	65
3.4.4. Резултати истраживања узорка опште популације	66

3.4.5. Резултати истраживања узорка експерата	68
3.4.6. Анализа осетљивости	69
3.5. Дискусија резултата триангулационог модела	72
4. Развој интердисциплинарног модела МДГА	77
4.1. Дефиниција улазних параметара	80
4.2. Објективне критеријумске функције	80
4.3. Провера теоријских поставки на студији случаја	86
4.4. Четири сценарија интеграције ОИЕ	86
4.4.1. Резултати предложеног модела МДГА	88
4.4.2. Анализа осетљивости	97
4.4.3. Анализа корелације између доминантних резултата	98
4.4.4. Регресија у скупу доминантних резултата МДГА модела	99
4.5. Дискусија о моделу МДГА	103
5. Анализа општости развијених модела	107
5.1. Критичка евалуација развијених модела	107
5.2. Временска валидност развијених модела	107
5.3. Просторна валидност развијених модела	108
5.4. Дискусија	108
6. Иновативна решења и будућност интеграције ОИЕ	110
6.1. Партикуларни физички модели ОИЕ и пратећи проблеми	110
6.2. Хибридни физички модели и синергијска решења	111
6.3. Стратегија развоја паметних мрежа	112
6.4. Управљање променама навика потрошача	113
6.5. Анализа повезаности људи, процеса и технологије кроз менаџмент знања	114

7. Доприноси докторске дисертације	115
7.1. Научни и стручни доприноси докторске дисертације	116
7.2. Верификација научних доприноса докторске дисертације	117
8. Препоруке за даља истраживања	120
9. Закључак	122
10. Списак табела, слика и прилога	124
11. Номенклатура	127
12. Прилози	128
13. Референтна литература	131
14. Биографија аутора	140
15. Списак објављених радова аутора	142

1. Уводна разматрања

1.1. Проблеми и мотивација за истраживање

Један од најистакнутијих проблема у 21. веку је питање стратегије управљања енергетским ресурсима на планети Земљи. На планети нема довољно ресурса за постојећу популацију, који би се могли трансформисати у енергију и у оквиру до сада познатих технологија и модела адекватно интегрисати у систем (de Chalendar & Benson, 2019). Истовремено, постојеће технологије производње електричне енергије и енормна потрошња стварају неприхватљив степен емисија гасова стаклене баште и деградације животне средине (S. Khan et al., 2021), са последицама глобалног загревања, што је негативна спирала, јер повратно повећава потрошњу.

Присутан је и проблем: да ли се актуелним технологијама произведена енергија, може транспортовати потрошачима задовољавајућег квалитета и са одговарајућом динамиком испоруке (Lokeshgupta & Sivasubramani, 2019), или се морају тражити нова решења. Очигледно је да се проблем снабдевања потрошача протеже у више различитих научних дисциплина и да је за доношење дугорочно исправних одлука и одговарајућих стратешких решења за постизање декарбонизујућег друштва, потребно ангажовање мултидисциплинарних тимова.

Дакле, глобални проблем је у конфликту између пораста потражње за електричном енергијом, са једне стране, смањења тренутних резерви необновљивих енергетских ресурса, са друге стране, као и негативних последица на животну средину од постојећих технологија производње енергије, повећаним емисијама гасова са ефектом стаклене баште и последично повећаном глобалном загревању, са треће стране.

Стратегије решавања овог глобалног проблема повећаних потреба за енергијом, затим недостатка енергије, као и негативних последица на животну средину у току процеса производње енергије, се углавном развијају у домену:

- Промена структуре потрошње;
- Промена структуре производње;
- Иновација технологија производње и акумулисања енергије.

Стратегија промена потрошње подразумева штедњу енергије и/или енергетску ефикасност процеса и поступака, у функцији смањења губитака већ произведене енергије. У домену промена производње

стратешка решења се могу тражити у повећању степена интеграције обновљивих извора енергије (ОИЕ), јер ОИЕ су произвођачи енергије са минималним емисијама гасова стаклене баште и минималним негативним утицајима на животну средину, због чега су и тема овде спроведеног истраживања. Нове технологије обухватају и истраживања нових начина акумулисања произведене енергије из интермитентних ОИЕ и њихове флексибилности, као што је приказано у литератури (Pfeifer et al., 2021).

У оквиру напред наведених комплексних проблема, нижу се следећа конкретна питања:

- Како се постојећи енергетски ресурси користе и које су последице тренутно познатих технологија за производњу електричне енергије на потрошаче, привреду, општи развој и квалитет животне средине данашњих и будућих генерација?
- Постоји ли довољан ниво знања и вештина, да би решења у процесу доношења одлука, по питању стратегија управљања енергетским ресурсима, била исправна?
- Да ли су нам краткорочни и дугорочни планови подржани одговарајућим методама и моделима?
- Да ли се холистички приступа проблему управљања енергетским ресурсима у односу на потрошаче и животну средину, са главним и најизраженијим конфликтом у односу на стратегију коришћења обновљивих и необновљивих извора енергије?
- Јесмо ли из зоне мултидисциплинарности прешли у област интердисциплинарности?
- Имамо ли довољно адекватних модела за симулацију овако комплексних међузависности и методолошких поступака за доношење одговарајућих одлука?

Светски научници, инжењери и доносиоци одлука, су дефинисали ограничења у контексту критеријума за смањење глобалног загревања за све земље, како би се постигла одржива будућност планете (Child et al., 2018). У Европи се већ деценијама дефинишу критеријуми заштите животне средине и усклађују се са енергетским политикама (Knodt, 2018). Кроз време, постављени критеријуми се превазилазе и замењују још оштријим оквирима и ограничењима, најчешће у смислу максималне дозвољене емисије гасова стаклене баште (Plessmann & Blechinger, 2017). Данас је највећи број земаља усвојио своје стратегије развоја да буду у функцији циљева нове Енергетске политике 2050-е и постизања декарбонизујућег друштва (Hoarcă, 2021, Yang et al., 2016, Khoodaruth et al., 2017, Rodrigo, 2016).

На нашој планети живи преко 7 милијарди људи, уз процену да ће до 2050-е године број становника порасти на око десет милијарди, према подацима из литературе (Wallerstein, 2020). Тачност ове процене може да се испитује, али за овде спроведена истраживања она и није много битна, јер без обзира на различитост у примењеним методама, остаје сигуран закључак да ће број становника да порасте, а то ће додатно повећати притисак на природне ресурсе.

Развој технологије и уопште начин живота узрокују да последично и потребе потрошача за енергијом расту. Према литератури (Simon, 2019) потребе за енергијом расту експоненцијално, тако да је тема холистичког истраживања могућности повећања степена интеграције ОИЕ и шире примене чистих технологија врло актуелна.

Имајући у виду дефинисани императив одрживог развоја, државе света су договориле лимите емисија гасова стаклене баште, са циљем да се допринесе смањењу глобалног загревања. Бројна међународна стратешка документа су потписана на ту тему. Чињеница је да у њима интеграција обновљиве енергије све више улази у фокус. (Jäger-Waldau et al., 2020).

Висока стохастичка компонента и специфична расположивост хидро, соларне или ветроенергије, везана за њихову варијабилност и питање сигурности снабдевања потрошача (Liebensteiner & Wrienz, 2020), чини проблем врло комплексним, захтевајући холистички приступ тражењу синергијских решења у комбинацији свих елемената енергетских система који су у корелацији.

Зато је мотивација истраживања у докторској дисертацији да се развију нови интердисциплинарни модели, који могу бити генератори доношења стратешких одлука. Идеја је да нови модели помогну у разјашњењу концепта и процеса интеграције и да у оквиру задате стратегије постизања смањења емисија гасова стаклене баште и смањења глобалног загревања, поред квалитативних методолошких унапређења, дају и конкретне одговоре на следећа питања:

- Колико у оквиру постојећег друштвено економског статуса једне земље/региона може максимално да се планира интеграције ОИЕ и каква је перспекција развоја, тј. шта треба унапредити, или развити да би се максимални могући степен интеграције повећао?
- Колико један национални енергетски систем државе може да интегрише ОИЕ, имајући у виду актуелне захтеве конзума и услове и ограничења скупа постојећих произвођача?

- Како се степен интеграције ОИЕ одражава на промену укупног коштања производње електричне енергије у систему?
- Како се степен интеграције ОИЕ одражава на смањење укупних емисија гасова стаклене баште у систему из свих произвођача електричне енергије?
- Да ли је друштвена заједница довољно информисана, едукована и спремна да прихвати интензивнију интеграцију ОИЕ?
- Да ли локална заједница зна које би све предности могла остварити преко додатних сопствених капацитета ОИЕ?
- Да ли је економска цена производње електричне енергије у Републици Србији паритетна у односу на продајну?

Основни мотив за ова истраживања је у идеји да се развојем нових интердисциплинарних модела интеграције ОИЕ доносиоцима одлука пружи конкретна подршка у остварењу стратешких циљева декарбонизације друштва у оквиру Нове Енергетске Политике Европске Уније до 2050-е године.

1.2. Дефинисање предмета и обима истраживања

Из прегледа учених проблема проистекли су предмет и циљеви истраживања.

Предмет истраживања ове докторске дисертације је развој и холистичко истраживање интердисциплинарних модела стратешких интеграција ОИЕ. Интердисциплинарним приступом се анализирају, интегришу и хармонизују истраживања из области стратегијског менаџмента, оцене и управљања ресурсима, економије, енергетике, еколошког менаџмента и одрживог развоја у кохерентну целину, кроз физичке и математичке статистичке симулационе моделе.

Централни проблем који се анализира у дисертацији је испитивање иновативних могућности интеграције технологија ОИЕ у једном реалном друштвеном систему и електро енергетском систему, како би се повећали економски и енергетски бенефити, а истовремено унапредио квалитет животне средине, смањиле емисије гасова стаклене баште, обезбедила одрживост система и одговорност у односу на будуће генерације.

Основни проблем који треба решити је интеграција развијеног интердисциплинарног модела снабдевања зеленом обновљивом енергијом, али уз хармонизацију конфликтних циљева, императив декарбонизације и одрживо нелинеарно коришћење ресурса,

укључујући рециклажу и поновну употребу до повратка животне средине на нулто стање.

1.3. Циљеви истраживања и постављени модели

Из претходно анализираних стања у литератури и пракси, проистиче потреба да се истражи да ли постоји и у којим доменима се може повећати интеграција обновљиве чисте зелене енергије у Републици Србији, а аналогно томе и у другим земљама Балкана и света, као и какве ефекте повећана интеграција има у односу на стратегију инкорпорације Нове енергетске политике 2050-е. Може се поставити питање зашто до сада у Републици Србији није више инвестирано у интеграцију обновљивих извора и које су то препреке и изазови који утичу на ширу примену овог одрживог концепта на путу ка остварењу стратегије декарбонизујућег друштва.

Циљ овога истраживања је био и да се научним методама допринесе ширењу знања у области и отварању опција за интензивнију интеграцију ОИЕ у свим њеним иновативним решењима, у функцији одрживог развоја и одрживе привреде. Циљ истраживања је био и да се, после анализа на нивоу општости, допринесе препознавању онога шта се дешава у Републици Србији и како усмерити експертске интердисциплинарне тимове, имајући у виду да се Република Србија у задовољењу потреба конзума двотрећински ослања на производњу електричне енергије из угља, што је прљава технологија, а и за 50 година га више уопште неће бити.

Конкретно, циљ дисертације је да се истражи са којим степеном интеграције модула обновљивих ресурса се реализују какви енергетски, економски и еколошки резултати, тј. са којим степеном интеграције технологије обновљивих извора енергије, уз укључење критеријума еколошког менаџмента и одрживог развоја и принципа циркуларне економије, се постижу максимални синергијски позитивни ефекти за локалну заједницу и за целокупну друштвену заједницу, у смислу:

- Смањења емисија гасова стаклене баште;
- Повећања квалитета животне средине;
- Повећања енергетске производње;
- Смањења коштања производње електричне енергије и
- Повећања енергетске независности локалних заједница.

Како се у анализираној литератури (Adedeji et al., 2020) уочава, производња енергије има највећи удео у загађењу животне средине и

емисијама гасова стаклене баште и како је циљ декарбонизација, избор области управљања енергетским ресурсима је адекватан, јер се у њој могу постићи најзначајнији резултати. Конкретно у Републици Србији је проблем емисије гасова стаклене баште екстремно изражен, због термо сектора који је укључен са 70% у укупној производњи електричне енергије (Batas-Bjelić et al., 2015). Према подацима са званичне интернет странице, на дан израде ових анализа, Србија емитује од 58 до 62 x 10⁶ t еквивалентног угљендиоксида годишње¹. У ЕУ, на тржишту карбон кредита и пенала, 1t емитованог угљендиоксида у систему трговине емисијама наплаћивана је око 41\$², у тренутку писања приступног рада за ову дисертацију. Годину дана касније, у периоду финализације докторске дисертације, вредност 1t емитованог угљендиоксида повећана је дупло, са даљом прогнозом пораста, према усаглашеним подацима са званичних интернет страница наведених у фусноти и на крају списка литературе.

Са циљем остварења декарбонизујућег друштва кроз стратегију Нове Енергетске Политике ЕУ 2050-е, Република Србија се обавезала да ће до 2050-е године дати свој допринос реализацији ублажавања климатских промена (Todić, 2020), тј. да ће смањити емисију гасова стаклене баште за 80-95% у односу на референтни ниво емисија из 1990-е године (Young, 2021). Постављени циљ захтева озбиљне промене и унапређења у свим привредним гранама, као и експертска и високо специјализована знања у функцији доношења исправних стратешких одлука. Није рационално да се средства троше на плаћање пенала. Оправдано је инвестиције усмерити ка широј интеграцији ОИЕ. Предложено истраживање представља решење дела дефинисаног комплексног проблема.

Циљеви истраживања се реализују развојем триангулационог модела и природом инспирисаног оптимизационог модела мулти димензионалних генетских алгоритама (МДГА). Тиме се интердисциплинарно истражује оправданост предложеног концепта интеграције ресурса обновљиве енергије, најпре у односу на вишекритеријумски корелациони модел интеграције исте енергије у 28 земаља Европе, а затим поново холистички у оквиру целог електро енергетског система Републике Србије, уз инкорпорирање свих услова и ограничења реалног система.

Имајући у виду Нову Енергетску Политику ЕУ за 2050-у годину, као и друге потписане споразуме и обавезујућа документа, како је наведено у литератури (Milenković & Pešterić, 2021), јасан је значај и нужност

¹ <https://www.electricitymap.org/map>

² <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/republic-serbia/vulnerability>

истраживања теме веће интеграције ОИЕ у Републици Србији. Међутим, интеграција није линеарна функција, нити је проста замена термо постројења са увођењем обновљивих извора енергије. Интегрисање нових ОИЕ у реалан друштвено економски систем је комплексна и вишезначна појава. У оквиру спроведених истраживања термин интеграција се користи у најширем смислу те речи, почев од:

- техничког аспекта интегрисања у енергетски систем, преко
- интегрисања у свест и мотиве потрошача, кроз управљање потражњом, на путу ка декарбонизацији, до
- интеграције у комплетно социо економско окружење и законодавно правне оквире.

Исто тако се термин „модел” и „моделовање” у овом истраживању користе у најширем значењу. Развијају се, не само:

- Математичко статистички модели, већ се
- Моделују и компонента заштите животне средине и компонента одрживости и дискутују се и
- Бихевиористички модели и
- Модели управљања променама навика потрошача.

Зато се развијају модели са обавезним контекстом интердисциплинарности, да би интегрисали све релевантне улазне варијабле из више различитих научних области, у којима постоје утицаји комплексног разматраног проблема.

Развијени модели, пре свега смештају проблем у његов садашњи друштвено економски оквир, а затим кроз прорачуне и анализе хармонизују све утицаје, до нивоа могућег степена интеграције, тј. задовољавајућег / компромисног / оптималног / за доносиоца одлуке препорученог решења. Кроз призму управљања променама свести и навика потрошача дају се смернице за додатна повећања степена интеграције и за даља истраживања.

Циљ је да се регресионом анализом добијени максимални могући инсталирани капацитет интегрисања и хармонизује у оквиру реалних ограничења, реалног електро енергетског система, као кохерентне целине. Хармонизован је рад електрана ОИЕ за разне нивое инсталисане снаге. У овом истраживању је одлучено да то буду нивои интеграције: 0MW, 60MW, 300MW и 600MW. Степен интердисциплинарности је обухваћен низом улазних варијабли, као репрезентима енергетских параметара, циркуларне економије, еколошког менаџмента, заштите животне средине, стратешког управљања ресурсима и одрживог развоја. На овај начин се

дефинише и квантификује оптималан степен инсталације електране ОИЕ, који представља оптимум између конфликтних циљева за потребом повећања производње електричне енергије, смањења коштања исте и смањења емисија гасова стаклене баште, у оквиру реалног социо економског окружења.

Циљ је и да се пронађу и представе примери добре праксе из света о могућим моделима примене ОИЕ у производњи електричне енергије. Доказује се и шира употребљивост и општост модела развијених и тестираних на нумеричком примеру студије случаја интеграције соларне енергије.

На основу анализе литературе која се односи на истраживану тему, може се закључити да су досадашња истраживања углавном раздвојена на више различитих подобласти. Досадашња истраживања су најчешће усмерена на употребу и унапређења појединачних технологија производње енергије ОИЕ, на одвојено разматране теме менаџмента, екологије, економије, енергетике, одрживог развоја (Stankevičiūtė & Kunskaја, 2021). У овој дисертацији се интердисциплинарно изводе докази о значају и неспорној оправданости интеграције капацитета ОИЕ и даје мера степена интеграције, са условима и ограничењима који уважавају критеријуме еколошког менаџмента и одрживог развоја и принципе циркуларне економије, на актуелном нивоу развоја друштвено економске заједнице.

Развој и примена модела са електранама обновљивих извора енергије има бројне позитивне утицаје. Позитивни ефекти оваквих модула снабдевања електричном енергијом су посебно изражени у државама са огромним, често пустињским просторствима. То су случајеви удаљених локалних заједница од државне далеководне мреже, ткзв. острвски системи.

Примарни циљ истраживања је да се применом савремених истраживачких метода развију модели интеграције ОИЕ у постојећи технички, социо економски и правни систем и да се испитају, докажу и квантификују енергетски, економски и еколошки бенефити у снабдевању обновљивом, чистом, зеленом енергијом.

Циљеви који у оквиру студије случаја се постижу вишим степеном интеграције соларне енергије, као једног од видова ОИЕ, су:

- Квантификовање и анализа неискоришћеног потенцијала у Србији;

- Дефинисање модела снабдевања соларном / обновљивом енергијом различитог обима и одређивање оптималног;
- Могуће проширење обима инсталације у функцији нове енергетске политике ЕУ планиране за 2050-у годину;
- Синергијски ефекти на повећању енергетске самосталности појединачних објеката/локалних заједница;
- Диверзификација извора снабдевања електричном енергијом у Републици Србији у контексту повећања стабилности и сигурности електро енергетског система;
- Повећање економских и еколошких бенефита.

1.4. Полазне хипотезе

У оквиру истраживања ове комплексне интердисциплинарне проблематике, више подтема је отворено и истражено, али се најважније могу сагледати кроз скуп две главне и 14 помоћних хипотеза. Прва главна хипотеза се доказује кроз скуп од осам помоћних, а друга главна кроз скуп од шест помоћних хипотеза.

Главне хипотезе су:

Хипотеза Х1: Постоји потреба за развојем интердисциплинарног триангулационог модела за одређивање реално остваривог степена стратешке интеграције ОИЕ у друштвено економски систем.

Хипотеза Х2: Могуће је развити природом инспирисани оптимизациони интердисциплинарни мултидимензиони модел генетских алгоритама (МДГА) за истраживање ефеката интеграције капацитета ОИЕ у електро енергетском систему.

Помоћне хипотезе истраживања су:

Хипотеза Х1.1: У Републици Србији постоји много већи потенцијал за интеграцију соларних капацитета, него што се тренутно користи.

Хипотеза Х1.2: Могуће је развити мултидимензионални линеарни регресиони модел (МДЛР) за одређивање реално остваривог степена интеграције ОИЕ.

Хипотеза Х1.3: Развијени МДЛР модел није осетљив на укључивање и искључење екстремних вредности.

- Хипотеза Х1.4: Смањење економске цене производње електричне енергије из фотонапонских панела у Републици Србији утиче на повећање степена интеграције соларне енергије.
- Хипотеза Х1.5: Јавно мњење и експертско мишљење у Републици Србији су позитивни у односу на повећање степена интеграције соларне енергије.
- Хипотеза Х1.6: Могућности шире интеграције соларне енергије у Републици Србији се налазе у домену технолошких, економских, правно регулаторних и процедуралних побољшања.
- Хипотеза Х1.7: Повећање степена интердисциплинарности, преко повећања броја регресора у МДАР моделу утиче на повећање степена интеграције ОИЕ
- Хипотеза Х1.8: Развијени триангулациони модел тестиран нумеричким експериментом на студији случаја интеграције соларне енергије у Републици Србији је применљив и за друге видове ОИЕ.
- Хипотеза Х2.1: Степен интеграције соларних електрана је у негативној корелацији са емисијама гасова са ефектом стаклене баште.
- Хипотеза Х2.2: Увођење додатних соларних капацитета у електроенергетски систем доноси користи кроз смањење укупних трошкова система и кроз смањење емисије ГСБ из целог система
- Хипотеза Х2.3: Моделом МДГА се могу препознати ограничења степена интеграције соларних капацитета, до којих се у реалном електро енергетском систему смањују и трошкови производње и емисије.
- Хипотеза Х2.4: Модел МДГА може да се прилагоди реалним критеријумима еколошког менаџмента, одрживог развоја и циркуларне економије у реалном окружењу.
- Хипотеза Х2.5: Развијени модел МДГА тестиран нумеричким експериментом на студији случаја интеграције

соларне енергије у Републици Србији је применљив и за друге видове ОИЕ.

Хипотеза Х2.6: Примена МДГА доприноси исправнијем доношењу стратешких одлука и омогућава одрживо управљање ресурсима, уз смањење емисија гасова стаклене баште.

1.5. Методологија истраживања

Методолошки холистички приступ истраживања у овој дисертацији, обухвата сложен и организован поступак, полазећи од логичких начела и принципа по утврђеним фазама. У сврху израде ове дисертације, користе се следеће опште и посебне научне методе:

- Систематизовано прикупљање и анализа најновијих постојећих, у свету признатих научних резултата из области оцене и управљања ОИЕ, стратедијског менаџмента, екологије, циркуларне економије и одрживог развоја;
- Методе индукције и дедукције, анализе и синтезе, као и метод аналогije;
- Метод анкете и микс метод анкета – интервју, за истраживање јавног и експертског мишљења;
- Корелациони модел вишедимензионалне регресионе анализе;
- За анализу економских параметара користи се метод уједначеног трошка електричне енергије;
- Природом инспирисани оптимизациони мултидимензионални метод генетских алгоритама;
- Прикупљени подаци обрађују се статистичким методама помоћу програмских пакета *Microsoft Excel* и *IBM SPSS Statistics 24*.

Сваки примењени метод је теоријски, појединачно и детаљније описан у поглављу где је и примењен.

У експерименталном делу је извршена евалуација развијених модела на студији случаја интеграције соларне енергије, као једног од стратешки постављених циљева развоја декарбонизујућег друштва на нивоу шире друштвене заједнице/Србије и ЕУ.

Теоријске поставке и тестирање функционалности развијених модела анализира се и доказује на студији случаја интеграције соларне енергије због постојећег феномена да у Републици Србији има много више соларног потенцијала него у земљама Средње и Северне Европе, а да је степен искоришћења исте много нижи, односно скоро потпуно

запостављен. Шири значај развијене методологије и функционалност модела потврђена је и код осталих ОИЕ.

Интердисциплинарни триангулациони приступ је изабран да се истражи могући степен интеграције обновљивих извора енергије. Објашњен је најпре теоријски, а затим доказан и његова применљивост проверена на студији случаја у Републици Србији. Истичу се три димензије модела:

- Истраживање јавног мњења и експертског мишљења је обављено кроз социолошко истраживање методом анкета допуњена интервјуом;
- Методом уједначеног трошка електричне енергије (УТЕЕ), као према литератури (Yao et al., 2021) се одређује економски параметар кроз јединичну цену производње струје;
- Интердисциплинарно формиран модел мултидимензионалне линеарне регресионе анализе је кроз избор улазних варијабли (регресора) обухватио области стратегијског менаџмента ресурсима, енергетике, економије, еколошког менаџмента, одрживог развоја и правно регулаторних предуслова.

Уз помоћ модела мултидимензионалне линеарне регресионе анализе, који се развија за 28 земаља ЕУ и за Србију, неискориштени потенцијал се доказује и квантификује. Резултати се пореде са тренутним капацитетом термо блокова за могућу замену и са тренутно доступним површинама земљишта за евентуално ангажовање.

Након тога се креира симулација интеграције тог неискориштеног потенцијала кроз развој природом инспирисаног оптимизационог интердисциплинарног модела мултидимензионалних генетских алгоритама. Одређује се укупан трошак производње електричне енергије у систему и укупна емисија гасова стаклене баште у једном најхладнијем дану јануара 2020-е године, са степеном дискретизације од једног сата. Модел се развија кроз четири сценарија, тј. варијанте интеграције ОИЕ:

- Локална заједница са сопственим извором снабдевања - електраном ОИЕ од 0 MW;
- Локална заједница са сопственим извором снабдевања - електраном ОИЕ од 60 MW;
- Локална заједница са сопственим извором снабдевања - електраном ОИЕ од 300 MW;
- Локална заједница са сопственим извором снабдевања - електраном ОИЕ од 600 MW.

Методолошки поступак изложен у овом истраживању, кроз два модела и више метода, дат је теоријски, а тестиран је и на нумеричком примеру. Дате су објективне формуле и шеме истраживачког процеса, које важе за све различите облике ОИЕ. Модели се нумерички тестирају на проблему интеграције соларне енергије у електро енергетски систем Републике Србије. Диск истраживањем се доказује применљивост модела на друге видове ОИЕ. У дисертацији се емисије гасова стаклене баште, у тексту и у прорачунима постављених модела, изражавају и презентују у тонама еквивалентног угљендиоксида ($eq\ t\ CO_2$), као адекватном репрезенту емисије гасова стаклене баште.

1.6. Структура и организација дисертације

У уводним разматрањима дисертације је најпре описан проблем и мотивација за истраживање, чиме је направљена подлога за синергијско интердисциплинарно истраживање. Изабран је конкретан проблем и изложен план његовог решавања. Дефинисани су предмет, циљ и обим истраживања. Дате су полазне хипотезе, структура и организација целе дисертације.

У првом поглављу је обрађена и методологија истраживања са свим примењеним методама и развијеним моделима: индукција и дедукција, анализа и синтеза, метод аналогije, метод анкете, микс метод анкета – интервју, интердисциплинарни триангулациони модел, корелациони модел вишедимензионалне регресионе анализе, метод уједначеног трошка електричне енергије, модел природом инспирисаних оптимизационих мултидимензионалних генетских алгоритама и статистичке методе.

Затим је у другом поглављу урађен преглед уочених проблема у области у литератури. Дат је преглед литературе за области стратeгијског менаџмента ресурсима, интеграције ОИЕ, економије, еколошког менаџмента и одрживог развоја, уз критичку евалуацију постојећих приступа и решења. Урађен је и упоредни преглед постојећих приступа и решења конкретног проблема интеграције ОИЕ и образложени су избор и овде предложени концепт решавања проблема.

У другом поглављу су дате и позитивна теорија и пракса из области интеграције обновљивих извора енергије, садашње стање и перспективе интеграције ОИЕ, као императива одрживог развоја и императива интердисциплинарности. Из стања у области и критичке евалуације постојеће литературе и из нужности холистичког и интердисциплинарног концепта, образложеног у другом поглављу,

проистекао је смисао и концепт развијања модела интеграције, описаних у наредним поглављима.

Тако се у трећем поглављу развија холистички интердисциплинарни триангулациони модел за одређивање реално остваривог степена интеграције обновљивих ресурса, урађен као корелациони модел у односу на 28 земаља ЕУ, а према низу од пет, или осам улазних варијабли које интердисциплинарно покривају више области. Триангулационим приступом се за актуелни друштвено економски оквир, анализира реално остварив степен интеграције обновљивих извора енергије у Србији, аналогно са степеном интеграције у ЕУ, а према интердисциплинарно усвојеним регресорима. У оквиру овог модела је истражено и јавно мњење и спремност грађана у Србији, као и експертско мишљење о проблемима и перспективама интеграције обновљивих извора енергије у Србији.

У четвртом поглављу се формира интердисциплинарни модел мултидимензионалних генетских алгоритама за четири сценарија снабдевања електричном енергијом. Квантификоване су предности и бенефити интеграције обновљивих извора енергије на локалном и глобалном друштвеном нивоу, чиме је одређен оптимални обим интеграције обновљивих извора енергије у Србији. Даје се предикција могућег степена декарбонизације у Србији, корелационо у односу на укупно коштање производње у систему.

Пето поглавље је критичка евалуација развијених модела и добијених решења. Како су у претходним поглављима развијени модели тестирани на нумеричком примеру више различитих степени интеграције соларне енергије, у овом поглављу се анализира општост развијених модела и доказује њихова временска и просторна валидност.

У шестом поглављу се анализирају иновативна решења позитивне светске праксе у области интеграције обновљивих извора енергије, као појединачни и хибридни физички модели. Такође се дискутује будућност интеграције ОИЕ кроз синергијска решења, стратегију развоја паметних мрежа, управљање променама навика потрошача и анализу повезаности људи, процеса и технологија кроз менаџмент знања.

Седмо поглавље су научни и стручни доприноси докторске дисертације уз верификацију истих. У осмом поглављу су дате препоруке за даља истраживања. Девето поглавље чине закључна разматрања. У њему су дефинисани научни и стручни доприноси дисертације. Изнета је и верификација научног доприноса. Десето

поглавље су спискови табела, слика и прилога. У једанаестом поглављу је дата номенклатура. У дванаестом поглављу су прилози. Референтна литература је у тринаестом поглављу. Четрнаесто поглавље је биографија аутора и петнаесто поглавље је списак објављених радова аутора.

2. Преглед стања у области и критичка евалуација

2.1. Преглед уочених проблема у литератури

У литератури се срећу различити приступи управљању пројектима и различите стратегије утицаја које примењују доносиоци одлука и све заинтересоване стране (Свијовић et al., 2021). Сукобљени интереси који најчешће проистичу из евидентног пораста броја становника, повећане потребе за енергијом и тежње за профитом, као цивилизацијским циљевима, са једне стране, насупротив проблемима емисије гасова стаклене баште, глобалног загревања и одрживости са друге стране, су предмет низа различитих истраживачких студија (Михић et al., 2015, Радојчић et al., 2012).

У досадашњој литератури и садашњој пракси, решења проблема пораста потрошње енергије и пратећих негативних последица, се често траже и налазе у штедњи енергије (Ху et al., 2021), или повећању енергетске ефикасности (Лү et al., 2021), или унапређењу у управљању пројектима енергетске ефикасности (Михић et al., 2012). Резултати ових истраживања су значајни, али главне и најкрупније резултате треба тражити кроз стратешко доношење одлука и усмеравање на одрживе обновљиве изворе, или друге нове изворе енергије и чистије технологије, са мањим негативним утицајем на животну средину за данашње и будуће генерације, узимајући у обзир и оптимизујући све припадајуће ефекте.

Кина, САД, Индија, Русија, Јапан, Немачка, Јужна Кореја, Канада, Иран и Велика Британија су десет земаља које су произвеле 67% укупних емисија ЦО₂ на Земљи, према литератури (Eluwole et al., 2020). Било да емисије долазе из резиденцијалног сектора или из индустрије, примесено је да развијене земље поклањају већу пажњу у односу на неразвијене и да више инвестирају у развој и побољшања технологија за интеграцију обновљивих извора енергије, са циљем да се смањи глобална емисија на земаљској кугли (Teng et al., 2020). Истраживачи света анализирају и предвиђају развој, структуру и облик будућих дијаграма оптерећења потрошње и утицаје на националне електроенергетске системе, са дефинисаним стратешким циљевима (Şahin, 2021, Telli et al., 2021, Kühnbach et al., 2021, Sowinski, 2021, Priesmann et al., 2021).

Различите земље имају различите енергетске ресурсе на располагању. На путу ка остваривању циљева Нове енергетске политике ЕУ 2050-е,

оне развијају своје сопствене стратегије и политике. Земље ткзв. Старе Европе (Чешка, Мађарска, Пољска и Словачка) релативно касне у усклађивању одрживих стратегија енергетског развоја, као нпр. Пољска, приказано у литератури (Strielkowski et al., 2021), или нпр. Балтичке државе, у литератури (Petrichenko et al., 2021). Свугде је присутан исти проблем: како постићи стабилност система, одрживост интеграције ресурса уз социјалну прихватљивост и како смањити емисије гасова стаклене баште. Стратешки усклађена решења се могу наћи у већем увођењу обновљивих извора и анализа литературе показује да се она у том смеру најчешће и траже (Jankowska et al., 2021, Gökgöz & Yalçın, 2021).

Због тога данас више од 75 земаља света спроводи разне финансијске субвенције и као један од мотивационих фактора, примењује фидинтарифе - *feed in tariffs (FITs)*, како би стимулисале произвођаче који су вољни да инвестирају и производе електричну енергију из обновљивих извора (Yang et al., 2021). Да би ускладили субвенције, у циљу смањења емисија CO₂ и заштите животне средине, како је приказано у литератури (Hoicka, Lowitzsch, et al., 2021), „Заједница обновљивих извора енергије“ (RECs) је прерадила директиве о обновљивој енергији (Besançon et al.), чиме је створен оквир за државе чланице Европске уније да их прерађене могу унети у своје законе.

Растућа популација и урбанизација имају последице не само у повесању обима укупне потрошње енергије, већ и у пиковима на дневном дијаграму оптерећења потрошње. У литератури (I. Khan et al., 2021) се предлаже управљање потрошњом (*DSM – Demand side management*), што би могао да буде приступ за осмишљавање циљаних *DSM* стратегија.

У *OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development – Организација за економску сарадњу и развој)* обновљива енергија и рециклирање су у свим земљама важни фактори стратегије одрживог економског развоја. Циљани резултат је допринос смањењу климатских промена (Serqueira et al., 2021). Проблем додатног инвестирања у ОИЕ је посебно изражен у земљама у развоју (Nair et al., 2021). Зато је решење постављених циљева - да се постигну захтеви декарбонизације у складу са Новом енергетском политиком ЕУ 2050-е, још теже пронаћи.

Неке од земаља у развоју, које имају природне предуслове за имплементацију обновљивих извора енергије, су већ развиле своје сопствене стратешке планове, како би се постигао захтев Нове енергетске политике ЕУ 2050-е, нпр. Македонија (Dedines et al., 2016).

Неке земље, као што је Србија, тренутно се већински ослањају на преосале резерве лигнита. У Србији је угаљ углавном лошег квалитета, са високом емисијом CO₂ и проценом на краткорочну расположивост, не много година дуже од 2050. Србија се двотрећински ослања на угаљ и једном трећином на хидро потенцијал, са плановима за повећање нивоа учешћа обновљивих извора енергије у финалној потрошњи енергије (Рајакović & Вјелић, 2018). Неке развијене земље као што је Русија ослањају се на гас, кога имају довољно за сопствене потребе и истовремено га извозе (Steblyanskaya et al., 2021).

Било која земља или континент да је у питању и без обзира на тренутну структуру и учешће њихових извора енергије у систему (термо енергија, нуклеарна енергија, хидро, ветар, соларна енергија, енергија биомасе, геотермална енергија, енергија плиме, таласа), једно од решења проблема снабдевања потрошача одрживом енергијом би се могло претраживати у оријентацији према обновљивим изворима енергије на нивоу локалних заједница и у смеру ка диверсификацији извора снабдевања електричном енергијом, чиме би се смањили укупни захтеви потрошача на нивоу државе и растеретио електро енергетски систем и далеководна мрежа.

Обновљива енергија која се примењује на нивоу локалних заједница је социо-технички систем који има за циљ оптимизацију експлоатације природних ресурса. Друштвене детерминанте су такође важне, јер грађани, тј. потрошачи и други крајњи корисници све више постају партнери у производњи електричне енергије. Задатак смањења емисија гасова са ефектом стаклене баште и постизањем већег степена енергетске ефикасности довела је до стварања енергетских планова заједнице, где се одлуке које су раније биле препуштане регионалним или државним енергетским агенцијама разматрају и на нивоу локалне заједнице, као што је нпр. пракса у Канади (Hoiska, Savic, et al., 2021). Теоретски, управљање локалним нивоом је пожељно јер задате циљеве постиже кроз побољшање у следећим областима:

- енергетска ефикасност;
- конзервација енергије;
- прелазак на ОИЕ.

Једна локална заједница која инвестира у снабдевање из властитих обновљивих извора енергије, може да стекне одређени ниво независности од електроенергетског система државе. Истовремено, када постоји вишак производње енергије из обновљивих извора, који се односи на потребе потрошње локалне заједнице, могуће је да се енергија “извезе” из локалне заједнице у систем државе и да се оствари профит као бенефит на локалном нивоу.

Одређене географске локације су удаљене од електроенергетског система државе, а екстраполација мреже је скупље решење, а у неким случајевима и организационо неизводљиво. Тада производња обновљиве енергије на локалном нивоу, у оквиру локалне заједнице постаје јединствена могућност за снабдевање енергијом. У овом случају то се назива изоловани енергетски систем.

У неким крајевима света, може се рећи да оваква решења и пројекти воде и ка смањењу енергетског сиромаштва, као нпр. у афричким селима, како је приказано у литератури (Simpson et al., 2021), уз посебно истицање *AMP (awareness, motivation and pathways)* оквира: свест, мотивација и путеви. У сваком случају, мора се обезбедити компатибилност између децентрализоване обновљиве опције за производњу електричне енергије на локалном нивоу и државном систему електричне енергије. Иако постоји независност локалне заједнице, потребна је синергија локалног и државног нивоа. Могући услови, тренутни изазови и будуће перспективе такве децентрализоване опције представљају нове велике изазове (Ortega-Arriaga et al., 2021).

Проблем са квалитетом обновљивих извора енергије, на пример произведене из енергије ветра или сунца, као интермитентних извора енергије, испрекидане и стохастичке расположивости, појављује се у усклађеном покривању дневног дијаграма потрошње система. Њиме је дефинисан ткзв. конзум. То је графички приказ сумарних потреба, захтева за електричном енергијом у систему, у пракси познат као дневни дијаграм оптерећења. Да би потрошачи континуално имали потребну енергију, врхови дневног дијаграма оптерећења морају у сваком тренутку бити покривени.

Зато је у процесу производње електричне енергије неопходан предуслов да постоји флексибилност енергетских објеката у систему. Флексибилност система се може постићи интеграцијом већег броја хидроелектрана, чије су перформансе такве да могу брзо и лако да се укључују и искључују из процеса производње. Хидроакумулације, у случају да топографски и хидролошки предуслови то дозвољавају у одређеном региону, или држави, могу бити простор за изравнавање варијација ветро и соларног потенцијала.

Зато се у свету данас хидро акумулације називају и зелени акумулатори (Canales et al., 2021). Могуће реалне ситуације су да нпр. има сунца, соларне електране раде, или ветар дува, ветроелектране раде и као повлашћени произвођачи и једне и друге дају енергију у систем. Проблем настаје ако тог тренутка конзум нема потребе за том

енергијом. Тада посебно долазе до изражаја реверзибилне пумпно акумулационе хидроелектране. Вишак енергије се може потрошити за пумпање воде у горњу акумулацију, а да се после тога у систем врати у складу са динамиком потреба потрошача.

Због тога хидроенергија и хидроакумулације добијају још више на значају балансирања електро енергетског система (ЕЕС) и стабилности снабдевања потрошача, посебно у условима додатних интеграција и нових енергетских стратегија увођења извора енергије, као што су електране које користе ресурс ветра или сунца.

2.2. Критичка евалуација постојећих приступа и решења

Свест о ограниченим ресурсима на планети Земљи, алармантним загађењима и повећању глобалних загревања, оправдано усмерава истраживачке потенцијале савремене науке ка области развоја и интеграције обновљивих извора енергије. Како би се избегли најгори штетни утицаји, неопходно је до 2050-е. практично елиминисати емисију гасова стаклене баште из произвођача електричне енергије, као највећег загађивача и узрочника емисија. То захтева радикалне привредне промене у корист смањења/елиминисања зависности од необновљивих извора енергије и оријентацију ка обновљивим.

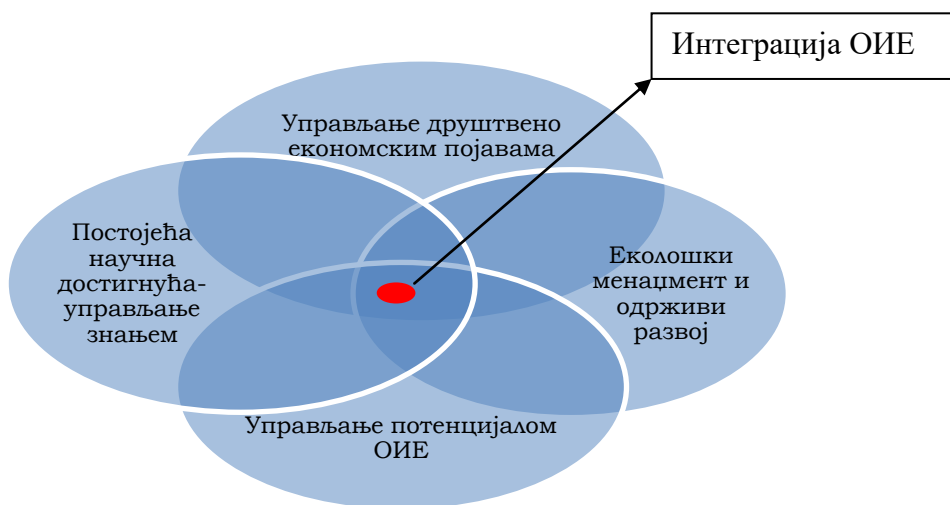
Осим тога необновљивим ресурсима и пратећим прљавим технологијама се ближи крај, тако да се постојећи приступи и решења неминовно морају мењати. Преостале рекогносциране резерве фосилних горива на планети Земљи, покривају 46 година потрошње нафте, 58 година природног гаса и скоро 150 година угља (Sribna et al., 2019). У Србији се резерве угља, иначе веома лошег квалитета, процењују на још свега 50ак година. Све је то из угла трајања човечанства веома кратак период.

За разлику од необновљивих извора, нпр. сунчева енергија прикупљена само у току једне године, уколико би целокупна могла да се сачува и конвертује у електричну, покрила би 6000 година укупне потрошње енергије на земаљској кугли (Kabir et al., 2018). Када би се само једна десетина соларне енергије прикупила и расподелила, проблеми снабдевања енергијом на планети Земљи би потпуно нестали. Проблем је што наука још увек нема одговоре на сва комплексна питања интеграције те енергије, у оквиру постојећих приступа и решења.

Развој интеграције производње електричне енергије на бази обновљивих извора енергије треба да се посматра

интердисциплинарно из угла односа технички искористивог потенцијала за производњу електричне енергије и његовог искоришћења, као синергија са функцијом управљања постојећим потенцијалом обновљивих извора енергије, управљања друштвено економским појавама, управљања знањем, критеријумима еколошког менаџмента и одрживог развоја и постојећим научним достигнућима и инжењерским решењима, слика 1.

Из негативне корелације између технички искористивог потенцијала и реалног искоришћења имплицира још већи значај изучавања ове теме и области у целом свету. Истовремено, у Србији је још присутнији него у ЕУ и проблем загађења животне средине и глобалног загревања, због позиције стањеног озонског омотача изнад региона. Евидентно је и смањење расположивих необновљивих ресурса, пре свега угља, а изражена је и потреба да се осигура енергетска независност државе, из које би дефинитивно проистекао и већи степен економске и политичке независности.



Слика 1. Развој интеграције обновљивих извора енергије као синергијска опција

Постојећи приступи процени максимално могућег потенцијала обновљивих ресурса за интеграцију су се углавном ослањали на разматрање природног и технички искористивог потенцијала. Није уважавано реално друштвено економско окружење, које је посебно у Републици Србији лимитирајући, некада и елиминаторан фактор, јер локалне самоуправе и грађани нису у могућности да прате прописану потребну динамику.

Могући максимум и анализу стратешког повећања интеграције ОИЕ и перспективе за развој у Републици Србији, истраживане су до сада најчешће техно економским анализама (Potić et al., 2021), уз евентуалну парцијалну надоградњу са уважавањем утицаја на животну средину (Stevović & Nestorović, 2016).

Евалуацијом до сада урађених студија и истраживања (Nag & Sarkar, 2021, Do et al., 2021, Uwineza et al., 2021, Ugwoke et al., 2021, Solangi et al., 2021, Kabir et al.) уочава се да не постоје модели који интегришу све дисциплине и све факторе од утицаја на решење проблема. Евалуација постојећих студија показује да је у њима углавном анализиран технички искористив потенцијал за интеграцију, највише дводимензионалним приступом.

Многе релевантне интердисциплинарне улазне варијабле нису инкорпориране, истовремено са техничким параметрима. Да би анализе интеграције и трансфера технички искористивог потенцијала у економски искористив потенцијал биле валидне, потребно је да се уваже сви елементи друштвено економског система, као битни фактори од утицаја на реалан степен интеграције. Анализе економске сигурности за инвеститоре требало би да су урађене паралелно са техничком документацијом пројеката. Такође се морају урадити одговарајуће студије утицаја на животну средину, као пратећа документација техничких пројеката. Предложена решења би требало да су у синергији са животном средином. Нужно је и да законска регулатива иде у корак са иновацијама примене ОИЕ. Истовремено, сви пројекти интеграције ОИЕ морају бити конципирани у сагласности са принципима одрживог развоја.

У прегледаној литератури се уочава да су неки од ових елемената система донекле партикуларно изучавани. Међутим, постојећи приступи и решења изучавани су:

- Одвојеним стратешки неусаглашеним студијским истраживањима и пројектима;
- Временски и простоно раздвојених тимова;
- Никада једновремено;
- Никада сви релевантни фактори на почетку процеса доношења одлука;
- Без холистичког квантификовања варијабле утицаја на животну средину и без инкорпорирања истих у оптимизационе моделе;
- Без разматрања варијабле коштања одрживости;
- Без квантификовања варијабле одрживости и без инкорпорирања исте у оптимизационе моделе.

Детаљне анализе указују, да у постојећој литератури, само у региону Балкана постоји низ пројеката и решења интеграције обновљивих извора енергије, који су урађени од:

- фазе израде стратешких развојних докумената, преко
- фаза студијских истраживања,
- идејних решења, до
- фазе идејних пројеката, па чак и
- главних пројеката.

Без обзира на степен обраде тих пројеката и потрошена финансијска средства, пројекти нису прешли у фазу израде извођачких пројеката, нити доживели своју реализацију.

Предузећа и друштвена заједница су инвестирала огромна финансијска средства за израду тих фаза пројеката, али пројекти су одбачени, иако су представљали интеграцију значајних обновљивих извора енергије. Одбачени су после одвојено урађене Студије утицаја на животну средину и/или јавне расправе. Данас је израда Студије утицаја на животну средину обавезна, али се и даље израђује тек после неких, већ урађених фаза пројеката, у које се већ инвестирало, са ризиком одбацивања пројекта на јавној расправи.

Последица тога да се стејкхолдерима и читавом низу сложених активности и фаза пројеката не приступа ни једновремено, ни холистички, ни интердисциплинарно, је да се обезвређују бројне инвестиције друштвене заједнице, које су претходиле изради те, касније одбачене Студије утицаја на животну средину.

2.3. Садашње стање и перспективе интеграције ОИЕ

Према Глобалном извештају из 2021. године о статусу обновљивих извора енергије у свету, учешће ОИЕ у укупној финалној потрошњи енергије је у 2019-ој години порасло на само 11.2%, у односу на 8.7% у 2009-ој години, док је учешће других извора енергије пало за 2.5%, а учешће фосилних горива у укупној финалној потрошњи је још увек на приближно истом нивоу, тј. на катастрофално високих 80.2%.³

Према истом извештају укупна производња хидроенергије је од 2010-е године до 2020е порасла са 5% на 7%, док је производња из других ОИЕ порасла у истом периоду са 1% на 5%, што се првенствено односи на енергију сунца и ветра.

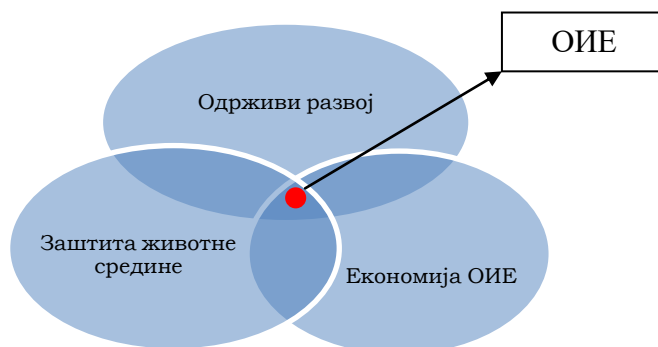
³ <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

Thomas A. Edison је 1916-е године рекао: “Треба знати искористити природне силе и на тај начин добити сву потребну енергију. Сунчеви зраци су облик енергије, ветар и морске струје су такође енергија. Користимо ли их? О, не! Палимо шуме и угаљ, као да подстанари пале улазна врата наше куће за грејање. Живимо као дивљи досељеници који не схватају да ова богатства припадају свима нама.”

Укупна количина технички искористивог хидро поенцијала на земаљској кугли је коначна, ветра слично. Међутим, енергија сунца је огромна. Зато је интеграција соларне енергије у односу на друге видове ОИЕ један од приоритетних циљева. Истовремено, сунчева енергија је као ресурс бесплатна. Потребна су само средства за технологију производње. То су разлози зашто се развијани модели тестирају на нумеричком примеру интеграције соларне енергије.

Сунце као звезда у нашем планетарном систему емитује огромну количину енергије. Око 885 милиона терават сати (TWh) годишње стигне на површину Земље, што представља 4200 пута више енергије, него што ће људи потрошити 2035-е године према проценама Интернационалне енергетске агенције (IEA) (Moncada et al., 2013). То заправо значи да је сунцу потребан један сат и 25 минута да пошаље количину енергије која се потроши у току једне године. „Сунце ће бити гориво будућности“, рекао је анонимни аутор, још давне 1876-е године .

Дакле, у истраживању повећања коришћења соларне енергије и свих њених иновативних модалитета, у домену технолошких, економских и регулаторних варијабли, се налазе решења многих глобалних проблема данашњице. Слика 2 шематски приказује све услове које позитивно испуњавају ОИЕ приликом интеграције.



Слика 2. Примена ОИЕ као синергија три фактора

Са тренутним степеном енергетске ефикасности фото напонских панела (ФНП), ови обновљиви извори могу без сумње да буду оптимално решење, али и допунски извор енергије у врло специфичном окружењу за места без цивилизацијске инфраструктуре – викендице, острва, или високе планине, где нема далековада. Производња електричне енергије из ФНП уз интеграцију у систем и укључење на мрежу, је проблем који је у овом истраживању решава. Као што је могуће видети у објављеним истраживањима (Ahmad Ludin et al., 2021), цене фотонапонских панела у свету континуално падају. Тако се, са и даље очекиваним повећањем цене електричне енергије у Србији, повећава и исплативост у улагање у соларне фотонапонске системе.

Позитивна искуства космичких модула са соларним једрима на сателитима могу да послуже за углед. У Европској унији је постојао изражен тренд повећања примене соларних фотонапонских панела, док су примењиване високе стимулативне мере у виду откупних цена, тако да се произвођачима исплатило да производе и продају енергију мрежи. Последњих година то је стагнирало, и смањило се обим инсталација панела у домаћинствима и инвестиције у нова поља струје из ОИЕ.

Континуално смањење производних цена фотонапонских панела утиче на повећање коефицијента рентабилности у студијама оправданости. Укључење мера стимулације на нивоу државе, чини да инвестиције у интеграцију СЕ постају све исплативије. Стимулације не морају долазити искључиво од државе. Могуће су и од стране одређених енергетских компанија. То су фирме које су инвестиционо способне да реализују веће инсталације разних видова ОИЕ. Истовремено, могућности за развој интеграције ОИЕ могу се тражити у ефикаснијим технолошким решењима производње и другим техничко технолошким иновацијама.

На бази урађеног Атласа енергетског потенцијала ветра и сунца у Србији (Pavlović et al., 2021), може се закључити да и Србија и земље Балкана, поседују висок потенцијал за развијање различитих видова ОИЕ: хидро, ветра, солара, биомасе. Међутим, без обзира на висок потенцијал, искоришћеност је врло ниска и у неким земљама (Албанија) је практично нула.

Мало има примера изведених електрана ОИЕ у региону Балкана и исто тако недовољно истраживачких студија из ове области. Делимично је хидроенергетика развијена у региону, међутим због релативно високе цене производне технологије што се тиче ветроагрегата, фотонапонских панела и пратеће опреме, у неким од балканских

земаља инфраструктурни захвати у духу заштите животне средине, а са циљем проширења капацитета ОИЕ, су се одвијали уз подршку грантова и преко међународних пројеката (Karakosta et al., 2012).

Ако се посматра технички искористиви потенцијал, Србија има енергетски потенцијал сунчевог зрачења за око 30% виши него у Средњој Европи. Интензитет сунчеве радијације је међу највећима у Европи. Број сунчаних дана у Србији је више од 2000 сати/год, што је значајно више од многих земаља ЕУ. Потенцијал сунчеве енергије представља 16,7% од укупно искористивог потенцијала ОИЕ у Србији. Просечна дневна енергија глобалног зрачења за равну површину у току зимског периода креће се између 1,1 kWh/m² на северу до 1.7 kWh/m² на југу, а у току летњег периода између 5,4 kWh/m² на северу до 6.9 kWh/m² на југу (Gburčik et al., 2013).

У циљу поређења, просечна вредност глобалног зрачења за територију Немачке износи око 1000 kWh/m² (Scheller et al., 2021), док је за Србију та вредност око 1400 kWh/m². Најповољније области у Србији бележе велики број сунчаних сати, а годишњи однос стварне озрачености и укупне могуће озрачености је приближно 50%. Из чињенице да се конверзијом само једног промила енергије Сунца могу заменити сва фосилна горива која се данас троше у Србији⁴, проистиче оправданост овог истраживања и значај усмерења ка пројектима и програмима веће интеграције ОИЕ.

На основу резултата истраживања која су се односила на инвестирање у ОИЕ у Србији се може рећи да је концепт јавно-приватног партнерства (ЈПП), на енглеском *public private partnership (PPP)* један од перспективних модалитета финансирања. То је посебно наглашено када је у питању производња енергије коришћењем капацитета ОИЕ (Benković et al., 2017). Ипак значајнији раст примене концепта инвестирања по принципу јавно-приватних партнерстава подразумева и значајнију улогу државе и локалне самоуправе, имајући у виду специфичности пројеката производње из ОИЕ и динамику промена.

2.4. ОИЕ као императив одрживог развоја

Стратешко управљање пројектима интеграције обновљивих извора енергије у савременом, одговорном друштву у базичном концепту мора да садржи доктрину одрживости, са свим њеним димензијама коплементарности и контрадикторност (Obradović et al., 2018).

⁴ <https://www.energetskiportal.rs/obnovljivi-izvori-energije/energija-sunca/>

Димензија одрживости је укључена у управљачке концепте и треба да се разматра кроз друштвену, еколошку и економску компоненту, како на стратешком, тако и на оперативном нивоу (Toļjaga-Nikolić et al., 2020). Зато је интеграција обновљивих извора енергије изазов, који захтева адекватно управљање широким, интердисциплинарним знањима у пројектном окружењу (Todorović et al., 2015).

Успешан пројекат обезбеђења довољне количине електричне енергије представља несумњиво основ савремене цивилизације и неопходан услов њеног развоја. Посматрано из угла ове претпоставке производња електричне енергије има пуно оправдање независно од начина производње и последица које из ових активности могу настати. Међутим посматрано из угла капацитета животне средине да апсорбује и неутралише негативна дејства производње електричне енергије као и услед кумулативних негативних дејстава производње електричне енергије на животну средину неопходно је одредити максимални дозвољени негативни утицај појединих технологија за производњу електричне енергије.

Уколико се поред дозвољеног максималног утицаја технологије за производњу електричне енергије на животну средину примени и принцип одрживог развоја, односно да право на развој садашње генерације не сме да угрози право на развој будућим генерацијама, онда производња електричне енергије мора бити подвргнута одређеним ограничењима у погледу искоришћења расположивих ресурса и интеграције. Логичан интуитивни закључак указује на коришћење обновљивих извора енергије као оптималну опцију, која задовољава принципе одрживог развоја и потребе за електричном енергијом.

Уколико се пође од претпоставке (искуствено доказане из прошлости да ће потребе за електричном енергијом да расту у будућности) и ограничења која произилазе из принципа одрживог развоја, онда непосредно следи да се производња електричне енергије може изразити као функција технологије и принципа одрживог развоја. Математички се овај приступ може приказати следећом формулом:

$$E = E(T, S) \quad \dots (1)$$

где је:

E – производња електричне енергије;

T – технологија за производњу електричне енергије и

S – одрживи развој.

Формула (1) не указује на природу зависности између технологије и принципа одрживог развоја при производњи електричне енергије већ само указује да је при производњи електричне енергије неопходно размотрити негативне утицаје технологије за производњу електричне енергије на одрживи развој и увести извесна ограничења, или трошковна оптерећења.

Наведени приступ сугерише да су технологија и одрживи развој подједнако важни, али и на могућност да се у зависности од тренутних потреба ови односи могу нарушити. Досадашња пракса указује на то да се при конфликту циљева занемарује принцип одрживости. Даљи развој формуле (1) заснивао би се на успостављању хијерархије принципа. Уколико се принцип одрживог развоја усвоји као фундаментални онда формула за производњу електричне енергије добија облик:

$$E = E[T(S)] \quad \dots (2)$$

Формула (2) указује да је могућа само она производња електричне енергије чија технологија задовољава принципе одрживог развоја. Ако се усвоји претпоставка о постојању конфликта економских принципа и принципа одрживог развоја онда непосредно следи да ће, на данашњем нивоу развоја цивилизације, економски принцип имати већу тежину, односно да ће се одлуке о коришћењу технологије за производњу електричне енергије доносити у зависности од њиховог економског ефекта, а не у зависности од њихове сагласности са принципима одрживог развоја.

У таквим околностима неизбежна је улога државе као фактора за уравнотежење конфликта економских принципа и принципа одрживог развоја. Уравнотежење ова два принципа изводи се кроз субвенције од стране државе како би се остварила прихватљива стопа профита и подстакла инвестициона активност у технологије за производњу електричне енергије које задовољавају принципе одрживог развоја.

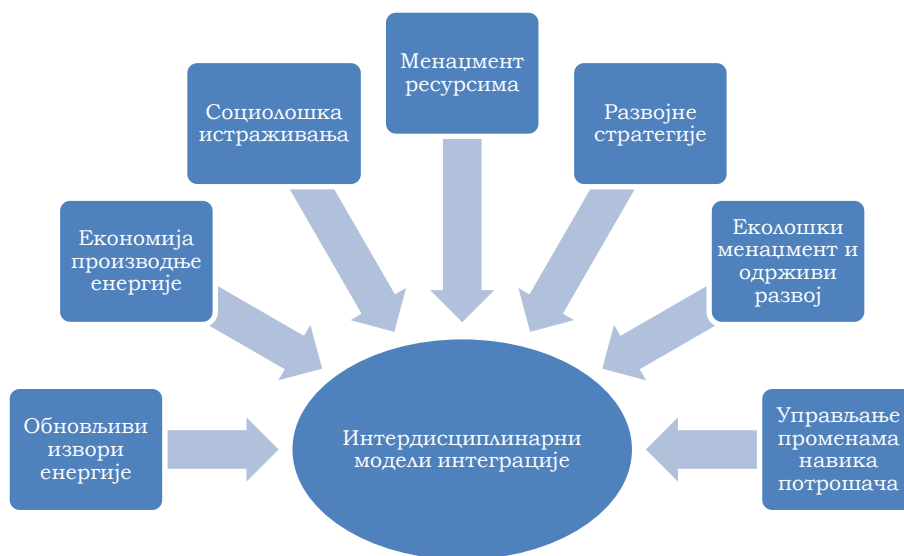
Обновљиви извори енергије, као основа за производњу електричне енергије могу се сматрати потпуно сагласним са аспекта принципа одрживог развоја, док је технолошки аспект дефинисан природом и физичким законима трансформације обновљиве природне енергије у електричну и интеграције у систем произвођачи - потрошачи. У том смислу ОИЕ задовољавају услов дефинисан формулом (2). Као такви, ОИЕ представљају развојни императив и зато је тема напред изложених истраживања развој интердисциплинарних модела

интеграције ОИЕ, који укључују све релевантне факторе од утицаја, у функцији остварења стратегије декарбонизације друштва.

2.5. Императив интердисциплинарности

Из свега претходно изнетог проистиче да се тема развоја модела за интеграцију обновљивих извора енергије у контексту остварења нових енергетских стратегија мора разматрати холистички и искључиво интердисциплинарним приступом.

Научне области и подобласти које се преклапају и у којима се траже решења за разматрани проблем интердисциплинарних модела интеграције, су: обновљиви извори енергије, економија производње енергије, социолошка истраживања, менаџмент ресурсима, развојне стратегије, еколошки менаџмент и одрживи развој, управљање променама навика потрошача и приказане су на слици 3.



Слика 3. Научне области и подобласти за развој интердисциплинарних модела стратешких интеграција ОИЕ

3. Развој интердисциплинарног триангулационог модела

Да би се истражиле могућности интеграције обновљивих извора енергије у реалном електро енергетском систему и њихова улога у развоју друштвене заједнице и допринос у смањењу емисија гасова стаклене баште, потребно је најпре испитати реално остварив степен интеграције на нивоу државе, у оквиру постојећег природног технички искористивог потенцијала и нивоа друштвено економског развоја. У овом поглављу се развија интердисциплинарни триангулациони модел за одређивање максималног могућег степена интеграције обновљивих извора енергије, зависно од природног потенцијала и у реалном друштвено економском окружењу.

Користе се три прилаза истраживању. Кроз математичко статистички модел мултидимензионалне линеарне регресије (МДЛР), економски метод уједначеног трошка електричне енергије – УТЕЕ (*Levelized Cost of Electricity - LCOE*) и микс метод анкета-интервју, који се односи на истраживање социјалне прихватљивости одговарајућег обновљивог извора енергије, слика 4. Блок шема истраживања триангулационог модела је приказана на слици број 5.



Слика 4. Триангулациони модел

Модел се развија и тестира кроз нумерички пример интеграције соларне енергије, а валидност се проверава и општост закључака се доказује у петом поглављу. Зато су у наредном тексту истражене могућности развоја примене соларног потенцијала за производњу електричне енергије у Србији. Циљ истраживања је био да се докаже да у Србији постоји значајан соларни потенцијал, а и простор за проширење соларних капацитета. Цивилизацијски конфликт између пораста броја становника, повећања загађења и смањења ресурса, пре свега енергије, захтева интердисциплинарна истраживачка

унапређења у домену управљачких, технолошких, еколошких, економских и регулаторних модалитета коришћења обновљивих извора енергије.

Корелациони модел вишедимензионалне регресионе анализе је примењен за утврђивање утицаја појединих економских, правно регулаторних и параметара одрживог развоја на инсталисани капацитет соларних панела за производњу електричне енергије у Србији и у ЕУ. За анализу економских параметара, тачније коштања производње једног kWh обновљиве енергије примењен је метод уједначеног трошка електричне енергије (УТЕЕ), на енглеском *Levelised Cost of Electricity – (LCOE)*.

У даљој разради дисертације се, због униформности писма у формулама, неким табелама и сликама, користе скраћенице писане латиничним писмом, као и неке у пракси прихваћене скраћенице енглеских речи. Резултати регресионог модела су приказани табеларно и графички за 28 земаља Европе и за Србију.

Решавањем система од 28 једначина са 2 до 6 непознатих, у 31 варијанти, пронађен је корелациони однос између стимулативних мера представљених преко фид ин тарифа (*feed in tariffs – FiT*), бруто домаћег производа - БДП (*Gross domestic product - GDP*), бруто домаћег производа по глави становника (*GDP per capita*), соларног потенцијала (као одабраног ОИЕ за студију случаја), степена успешности пословања, представљеног преко позиције на светској *business doing listi (BDL)*, цена електричне енергије у домаћинствима, потрошња електричне енергије у индустрији и остале потрошње, за 28 земаља Европе и Србију, одакле су проистекла могућа проширења соларних капацитета, како за Србију, тако и за земље ЕУ. Дискутована је тренутна ситуација и позитивна пракса у свету и ЕУ, перспективе у Србији, еколошки, регулаторни и економски аспект, укључујући и аспект ризика инвестирања.

На бази примењених метода, заједно са микс методом анкета-интервју, спроведеном на репрезентативном узорку од 152 испитаника, изведен је генерални закључак и утврђено да постоје велике могућности и интересовање за интеграцију ОИЕ. Последишно, може се закључити из угла социјалне прихватљивости у Србији треба инвестирати у истраживање и развој модела интеграције додатних капацитета. Ови су закључци применљиви и за друге земље, слично позициониране.



Слика 5. Блок шема триангулационог модела за истраживање степена стратешких интеграција ОИЕ

3.1. Интердисциплинарни МДЛР модел интеграције ОИЕ

У овом поглављу је развијен мултидимензионални линеарни регресиони модел (МДЛР), који се ослања на корелациону мултидимензионалну линеарну регресиону анализу за утврђивање утицаја појединих техничких, економских и параметара одрживог развоја (*FiT*, *GDP*, *GDP per capita*), природног соларног потенцијала (инсолације), као и параметра везаних за цене, потрошњу, правне процедуре и регулативу (представљено кроз позицију на листи пословне успешности, на енглеском *Business doing list*) – као улазних варијабли, на могући инсталирани капацитет соларних панела за производњу електричне енергије – као излазне варијабле. За анализу чисто економских параметара соларне енергије користи се метод уједначеног трошка електричне енергије, објашњен у следећем подпоглављу.

Вишедимензионална регресиона анализа је изабрана за метод, као комплексна статистичка анализа која омогућава предикцију вредности излазне варијабле (могућег инсталисаног капацитета соларних панела) на основу познавања две или више вредности улазних варијабли. У наредним поглављима су развијани МДЛР модели интеграције ОИЕ за различит број статистички симултаних независних улазних варијабли (*FiT*, *GDP*, *GDP per capita*, инсолација, позиција на *BDL*, цена у домаћинствима, индустријска и друга потрошња електричне енергије). Методологија је адекватна управо за обраду система бројних стохастичких варијабли, које се могу третирати као предиктори и који се појављују код анализе соларног потенцијала и могуће производње електричне енергије.

Овде примењени модел регресионе анализе може се приказати у матричном облику на следећи начин:

$$Y = A\Theta + \varepsilon \quad \dots (3)$$

или, у развијеном облику:

$$Y_{ij} = x_j^T \Theta + \varepsilon_{ij} \quad \dots (4)$$

где је:

$$x_j^T = [x_{j0} \ x_{j1} \ x_{j2} \ \dots \ x_{j,u-1}] \quad \dots (5)$$

$$\Theta^T = [\theta_0 \ \theta_1 \ \theta_2 \ \dots \ \theta_{u-1}] \quad \dots (6)$$

Решавањем система једначина облика (3) методом најмањих квадрата добијају се оцене параметара θ_j :

$$t = N^{-1}A^T Y, \quad N = A^T A \quad \dots (7)$$

где је:

- Y – вектор излазне варијабле;
- A – матрица коефицијената уз непознате параметре димензија m, n , где је m број једначина а n број непознатих параметара;
- x_j^T – транспоновани вектор улазних варијабли;
- Θ^T – транспоновани вектор непознатих параметара и
- $\hat{\Theta}^T$ – вектор оцењених вредности непознатих параметара, $\hat{\Theta}^T = t^T$

Методологија истраживања реализована је кроз следеће фазе:

- Извршен је избор улазних варијабли. У првој варијанти је то пет улазних варијабли - регресора ($X1=FiT$, $X2=GDP$, $X3=GDP \text{ per capita}$, $X4=$ потенцијал соларне радијације и $X5=$ позиција на *business doing list* - и);
- Излазна варијабла Y_i дефинише инсталиране капацитете соларних ћелија;
- Постављен је регресиони модел за 28 земаља Европе и за Србију; У првој варијанти, када се анализира комбинација свих пет улазних варијабли, решава се 28 једначина са шест непознатих;
- Одређене су оцене коефицијената $t = \Theta^T$;
- На основу добијених коефицијената израчунате су вредности капацитета који би, према постављеном регресионом моделу, могли да буду инсталирани у 28 земаља Европе и у Србији и на крају
- Одређене су разлике између стварно инсталираних капацитета соларних ћелија и капацитета који би требало да су инсталирани према добијеним коефицијентима, аналогно са контролним скупом земаља Европе.

Последње две фазе рачунате су за Републику Србију на следећи начин:

$$Y'_s = \theta_0 + \sum_{i=1}^n \theta_i X_{is} \quad \dots (8)$$

$$\Delta_s = Y_s - Y'_s \quad \dots (9)$$

где је:

- Y'_s – капацитет који би требало да буде инсталиран у Србији по регресионом моделу земаља Европе;
- Y_s – капацитет који је стварно инсталиран;
- n – број улазних варијабли;
- X_{is} – вредност улазних варијабли за Србију и
- Δ_s – разлика капацитета који би требало да буду инсталирани по моделу и стварно инсталираних капацитета.

Анализа резултата извршена је тако што је обрађено 31 варијанта различитих комбинација улазних варијабли. Анализиране су све могуће комбинације улазних варијабли и на основу њих су донети закључци.

3.2. Економски метод УТЕЕ

Економски аспект производње електричне енергије такође представља критичан фактор за избор технологије за производњу електричне енергије. Економски мотиви су, према досадашњим искуствима, базични мотиви људске активности у области производње добара и услуга укључујући и електричну енергију. Због своје природе и растуће потребе за њом, електрична енергија је значајан покретач економских и инвестиционих активности. При томе, очекивани профит као основни циљ економских активности, представља меру исплативости пројекта и критичан ограничавајући фактор за доношење одлуке о покретању инвестиција. Економски аспект производње електричне енергије на бази соларне енергије истражује се методом уједначеног трошка електричне енергије, који је изражен помоћу следеће формуле:

$$UTEЕ = \frac{\text{сума трошкова током животног циклуса постројења}}{\text{електрична енергија произведена током животног циклуса постројења}}$$

Надаље се у формулама користи латинична ознака за УТЕЕ, због усаглашености писања симбола у обрасцима.

$$UTEЕ = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + O_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{S(1-d)^t}{(1+r)^t}} \quad \dots (10)$$

где је:

UTEЕ – уједначени трошак електричне енергије;

- I_t – инвестициони трошкови у години t ;
 O_t – трошкови оператора у години t ;
 M_t – трошкови одржавања у години t ;
 F_t – финансијски трошкови у години t ;
 S – почетна производња електричне енергије у првој години;
 d – фактор опадања производње са временом (по години);
 r – дисконтна стопа;
 t – редни број године у току животног циклуса постројења и
 n – очекивани животни век постројења у годинама.

Регулаторни домен односи се на поштовање уговора који потписују инвеститори и купци електричне енергије. Претпоставка је да ће у државама са ефикаснијим правним системом трошкови инвестиција у постројења за производњу електричне енергије на бази соларне енергије бити мањи и да ће време потребно за добијање одговарајућих дозвола и сагласности бити краће, што смањује временски интервал за реализацију инвестиције. Уколико се претпостави да су инвестициони трошкови фиксни, да су трошкови одржавања и производња једнаки током животног циклуса постројења за производњу електричне енергије онда формула (10) добија једноставнији облик:

$$UTEЕ = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{S(1-d)^t}{(1+r)^t}} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{(1+c)I}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n S \frac{(1-d)^t}{(1+r)^t}} \quad \dots (11)$$

где је:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n = I \quad \dots (12)$$

$$M = M_1 = M_2 = \dots = M_n = c * I_t \quad \dots (13)$$

При чему c изражава трошкове одржавања као део инвестиционих трошкова у години t .

3.3. Јавно мњење, експертско мишљење и микс метод анкета интервју

У овом поглављу је истражено јавно и експертско мишљење (*public and expert hearing*) на тему познавања и заинтересваности за ширу имплементацију и инвестирање у соларну енергију. Експериментално истраживање спроведено је у период од јуна 2020 до јула 2020. године у Србији. Испитане су две групе од по 100 и 52 испитаника. Прву

групу су сачињавали грађани, а другу експерти из области имплементације соларне енергије.

Да би се обухватио што већи ниво популације и да би се дошло до квантитативних података, упитник као инструмент истраживања је спроведен на репрезентативном узорку прве групе од 100 испитаника опште популације. Узорак је формиран тако да симулира демографску, старосну, полну и образовну структуру становништва Србије, према попису из 2011. године.⁵

Грађани су анкетирани са циљем да се установи колико је уопште идеја о оправданости и сврсисходности интеграције соларне енергије, присутна у јавности. Одговори испитаника су обрађени статистичким методама (Abu-Bader, 2021). Прикупљени подаци обрађени су помоћу програмских пакета *Microsoft Excel* и *IBM SPSS Statistics 24 Licences Authorization Wizard NEW*.

Дакле, свеукупно су анкетирани испитаници из две групе. У оквиру друге групе узорка анкетирано је 52 експерта из области, који су пројектовали и/или инвестирали у изградњу неког соларног система, консултанци из области, економисти и правници који се баве соларном енергијом и доносиоци одлука из Министарства енергетике, Електропривреде Србије (ЕПС), као и професори са катедре за електроенергетске системе Електротехничког факултета Универзитета у Београду, Нишу, Природноматематичког факултета у Нишу, Машинског факултета Универзитета у Београду и власници соларних електрана на сопственим кровима.

У анкету су били укључени и инжењери пројектанти соларних електрана из Енергопројекта, представници разних агенција (као нпр. Агенција за енергетску ефикасност – *ЕЕА*, Агенција за енергетику – *АЕ РС*), невладиних организација и удружења за развој енергетско – еколошке и технолошке свести, друштва за ОИЕ и сличних асоциација.

Опсежни слободни одговори и коментари испитаника експертске групе, као и систематизовани резултати методе анкета – интервју, дали су подлогу за опширну дискусију. Одговори експерата су искоришћени као еталон за тачност осталих испитаника, а њихови слободни коментари су инкорпорирани у дискусију у поглављу 3.5.

Примењен је и микс метод. Анкета је употпуњена интервјуом, са циљем да се квантитативне индикације валидирају квалитативним

⁵ <http://popis2011.stat.rs/>

информацијама. Интервјуисано је 10 испитаника из узорка експерата. Примењен је интервју са истим питањима, али су одговори били детаљно појашњени од стране испитаника. Ових 10 испитаника су углавном били експерти у области соларне енергије, или особе на извршним позицијама у истој области.

Холистичким методолошким приступом и методама индукције и дедукције, анализе и синтезе, као и методом аналогije, истражено је и доказано јавно и експертско мишљење на тему заинтересованости и општег познавања проблематике интеграције и инвестирања у соларну енергију у Србији.

Мотив за имплементацију комплетног методолошког приступа, приказаног у овом поглављу, проистиче из чињенице да Србија има већи соларни потенцијал од неких ЕУ земаља, а да сходно томе нема више, већ мање инсталираних капацитета. Дакле постоји регресија. Опредељење за регресиону анализу, као комплексну статистичку методу, проистекло је из чињенице да регресиона анализа омогућава истовремено обраду великих серија података, са циљем предикције излазне варијабле, у овом случају интеграције соларних капацитета, у односу на наведене улазне варијабле.

Пошто степен интеграције у овом случају соларне енергије не зависи само од соларног потенцијала, већ и од низа економских, правно-регулаторних и параметара одрживог развоја, изабрана је не једнострука метода, већ вишедимензионална (вишеструка) регресиона анализа - *multiple regression*, која је омогућила укључење свих наведених параметара.

У истраживање је уврштен и један чисто економски метод (метод уједначених трошкова електричне енергије - УТЕЕ), са циљем испитивања производне цене електричне енергије добијене из ФНП панела у тржишним условима Србије. Микс методом анкета - употпуњена интервјуом су квантитативне индикације добијене на репрезентативном узорку од 152 испитаника валидиране квалитативним информацијама, чиме је добијено јавно и експертско мишљење (*public and expert hearing*) – јавно мњење.

Оваквим холистичким методолошким интердисциплинарним приступом се из 3 угла испитује и доказује прва главна истраживачка хипотеза Х1.

3.4. Провера теоријских поставки на студији случаја

Потенцијал обновљивих извора енергије је значајан и неискоришћен у Србији и свету. У Србији постоји проблем снабдевања квалитетном чистом електричном енергијом конзума, енергијом чија ће производња што је могуће мање загађивати животну средину и бити у функцији одрживог развоја. Предмет истраживања у овом поглављу су могућности за развој и производњу електричне енергије у Србији на бази интеграције соларне енергије.

Урађено је поређење са позитивном праксом искоришћења соларног потенцијала у развијеним земљама ЕУ, које често имају мањи потенцијал, а већи степен интеграције. За студију случаја је изабран соларни потенцијал, јер је огроман и најмање искоришћен. Зато се теоријске поставке проверавају на развијеним интердисциплинарним нумеричким моделима интеграције соларне енергије.

Анализа могуће интеграције потенцијала соларне енергије за производњу електричне енергије истражује се из три угла. Користе се три егзактне квантитативне методе, које покривају домен управљачких, технолошких, економских и регулаторних варијабли, укључујући параметре одрживог развоја и “*public and expert hearing*”:

- Могућности веће интеграције соларне енергије у Србији су истражене развијеним мултидимензионим линеарним регресионим моделом регресионе анализе који поред технолошких и економских фактора укључује и показатеље одрживог развоја, показатеље стимулативних мера и степен једноставности, успешности законодавне процедуре и регулаторне сигурности, као и коштање електричне енергије у домаћинствима и потрошњу енергије у индустрији и код осталих потрошача;
- Затим је надограђен један чисто економски метод, а то је метод уједначеног трошка електричне енергије (УТЕЕ), на енглеском *Levelised Cost of Electricity – (LCOE)*, уз помоћ кога се израчунава производна цена електричне енергије из одговарајућег ОИЕ ;
- Јавно и експертско мишљење, на енглеском *public and expert hearing* о проблемима интеграције соларне енергије је истражено путем анкете која је допуњена интервјуом.

У оквиру МДАР модела анализирају се корелационе зависности у две варијанте, зависно од броја улазних варијабли. Дакле, у првој варијанти се развија МДАР модел са пет релевантних улазних варијабли (регресора):

- feed in tariffs (FiT);
- бруто друштвени производ (у табелама GDP);
- бруто друштвени производ по глави становника (у табелама *GDP per capita*);
- природни соларни потенцијал (Инсолација) и
- позиција на светској business doing list (BDL).

Да би се истражио ефекат повећања степена интердисциплинарности, спроводи се и друга варијанта МДЛР модела, где се постојећих пет релевантних улазних варијабли (регресора) проширује са још три регресора, који се односе на цене и потрошњу:

- цена за домаћинства (€/kWh);
- потрошња у индустрији (TWh);
- друга потрошња (TWh).

Све набројане улазне варијабле су од утицаја на степен искоришћења соларног потенцијала и интеграције произведене енергије. Анализе су урађене на бази података из литературе за 28 европских земаља и за Србију, према званичним подацима доступним на сајтовима ЕУ агенција и Србије.

3.4.1. Резултати МДАР модела за пет регресора

Методом прегледа литературе одређени су FiT ($X1$)⁶, GDP ($X2$) и GDP *per capita* ($X3$)⁷, природни соларни потенцијал ($X4$)⁸ и искориштени соларни потенцијал на бази постојећег соларног зрачења (Yang et al.), за 28 европских земаља и за Србију, као и позиција свих земаља на *Bussines doing listi - BDL* ($X5$), према извештајима Светске банке (WB)⁹, а рачунато за 2020-у годину, према правно информационам системима Републике Србије¹⁰, контролисано са *IFC (International Finance Corporation)* и *World Bank's Ease of Doing Business index*.

Најпре су одређени коефицијенти у регресионом моделу за сваку улазну варијаблу посебно ($X1$, $X2$, $X3$, $X4$ и $X5$), као што се може видети у табели бр 1.

На основу селектованих података извршена је анализа за 31 варијанту свих комбинација улазних варијабли, а затим и за све остале могуће варијанте свих комбинација за две, три, четири и свих пет улазних варијабли, табела 2. У првој варијанти, која анализира свих пет улазних варијабли од $X1$ до $X5$, решава се систем од 28 једначина са шест непознатих.

Укупан број овако добијених варијанти комбинација износи 31. За сваку комбинацију улазних варијабли одређена је вредност излазне варијабле за свих 28 земаља Европе - Y и за Републику Србију - $Y's$. У овом делу дисертације је циљ да се истражи реалан степен интеграције ОИЕ у једном друштвено економском окружењу. У студији случаја се истражује интеграција соларне енергије у Републици Србији. Применом објективних функција (8) и (9), обрађен је низ комбинација улазних варијабли, са циљем да се дође до максимално могућег степена интеграције.

Табела 2 приказује све комбинације улазних варијабли (регресора) као и вредности инсталисаних соларних капацитета које би Србија требало да има у односу на земље Европе.

⁶http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_price_statistics, pregledano 07.07.2021.

⁷<https://tradingeconomics.com/country-list/gdp-per-capita?continent=europe>, pregledano 04.07.2021.

⁸<http://www.res-legal.eu/home/>, pregledano 03.07.2021.

⁹<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=DK> pregledano 02.07.2021.

¹⁰<http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/>, pregledano 05.07.2021.

Табела 1. Пет улазних варијабли за 28 земаља Европе и за Србију

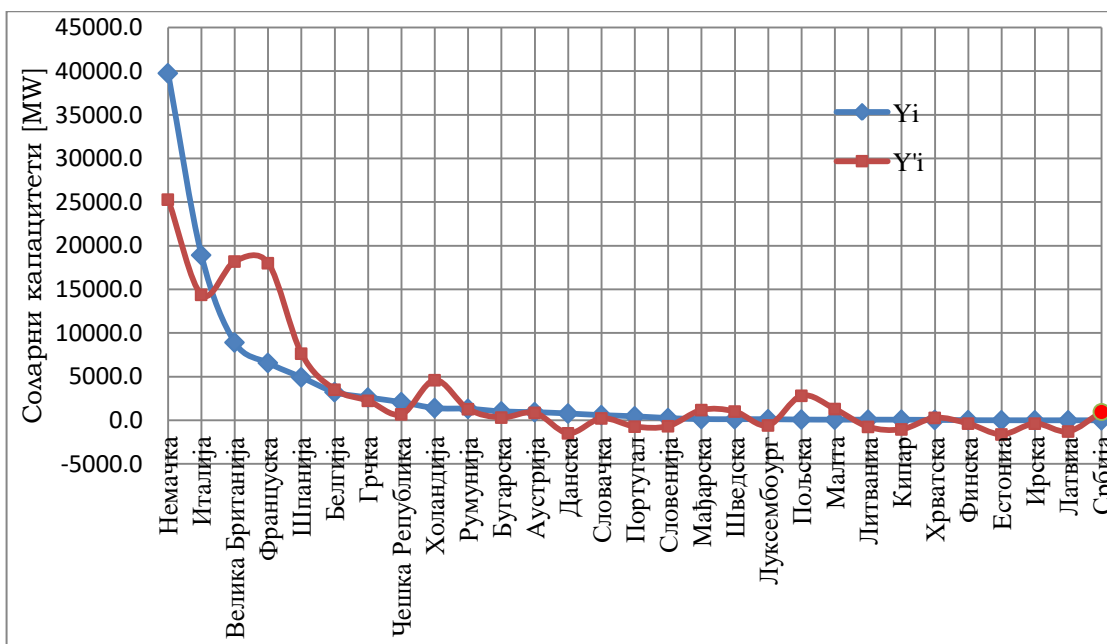
Бр.	Држава	X1 FiT с/kWh	X2 BDP милијарде €	X3 BDP с €	X4 Инсолација kWh/m ² /god	X5 BDL позиција
1	Немачка	17.30	3494.9	42326	1100.00	17
2	Италија	13.00	1852.5	30294	1600.00	50
3	Вел. Британија	10.00	2649.9	40412	900.00	7
4	Француска	24.63	2488.3	38537	1300.00	29
5	Шпанија	15.68	1252.2	27012	1850.00	32
6	Белгија	20.40	470.2	41491	1040.00	42
7	Грчка	12.00	195.9	18078	1750.00	61
8	Чешка Републ.	13.68	193.5	18326	1100.00	27
9	Холандија	2.00	769.9	45210	1025.00	28
10	Румунија	16.25	186.5	9439	1300.00	36
11	Бугарска	10.00	50.4	7091	1400.00	39
12	Аустрија	11.50	387.3	44561	1000.00	19
13	Данска	3.00	302.6	53243	1000.00	3
14	Словачка	6.50	90.3	16648	1200.00	33
15	Португал	14.50	205.9	19759	1700.00	25
16	Словенија	6.50	44.1	21370	1250.00	30
17	Мађарска	10.00	117.1	11903	1250.00	41
18	Шведска	1.50	517.4	51604	900.00	9
19	Луксембург	26.40	61.0	105829	1080.00	59
20	Пољска	0.00	467.4	12309	1100.00	24
21	Малта	15.00	10.5	24298	2000.00	76
22	Литваниа	14.00	42.8	14899	1025.00	21
23	Кипар	3.40	19.9	23425	1900.00	45
24	Хрватска	23.00	49.9	11858	1500.00	43
25	Финска	0.00	239.2	43492	800.00	13
26	Естониа	13.68	23.5	17896	950.00	12
27	Ирска	13.00	307.9	65871	900.00	18
28	Латвиа	61.00	27.9	14141	950.00	14
29	Србија	18.60	37.75	5852	1400	44

Табела 2. Комбинације регресора и резултати регресионе анализе за пет улазних варијабли

Бр. варијанте	Комбинације регресора					Y_s [MW]	Δ_s MW]
1	X1	X2	X3	X4	X5	940	-934
2	X1					3625	-3619
3		X2				371	-365
4			X3			-761	+767
5				X4		3438	-3432
6					X5	2812	-2806
7	X1	X2				-604	+610
8	X1		X3			2598	-2592
9	X1			X4		3688	-3682
10	X1				X5	3030	-3024
11		X2	X3			-226	+232
12		X2		X4		-506	+512
13		X2			X5	44	-38
14			X3	X4		2368	-2362
15			X3		X5	1897	-1891
16				X4	X5	2546	-2540
17	X1	X2	X3			-85	+91
18	X1	X2		X4		-347	+353
19	X1	X2			X5	136	-130
20	X1	X2	X3	X4		2612	-2606
21	X1	X2	X3		X5	2109	-2103
22	X1			X4	X5	2773	-2767
23		X2	X3	X4		-215	+221
24		X2	X3		X5	535	-529
25		X2		X4	X5	78	-72
26			X3	X4	X5	657	-651
27	X1	X2	X3	X4		-71	+77
28	X1	X2	X3		X5	616	-610
29	X1		X3	X4	X5	831	-825
30	X1	X2		X4	X5	158	-152
31		X2	X3	X4	X5	903	-897

Знак „-“ у колони „ Δ s“ означава да у Србији има мање инсталисаних соларних капацитета у односу на посматрани регресиони модел од 28 европских земаља и да их треба повећавати. Знак „+“ означава да би се у Србији повећање инсталираних соларних капацитета у односу на конкретан регресиони модел могло реализовати уз повећање одређене улазне варијабле: FiT и/или BDP и/или BDP per capita и/или BDL , имајући у виду да се природни потенцијал – инсолација не може повећавати. Детаљније тумачење ових разлика је следеће:

- Знак „-“ (минус) означава да би се у Србији, са садашњим степеном друштвено економског развоја, тј. нивоом FiT и/или BDP и/или BDP per capita и/или BDL , могло и требало радити на развоју и интеграцији соларне енергије;
- Знак „+“ (плус) означава да се са појачањем стимулативних мера, овде изражених кроз FiT (мада оне могу да буду и у другим облицима), са порастом појединих параметара и показатеља развоја друштва, као што су BDP , и/или BDP per capita, и/или BDL , а нарочито BDP , може очекивати повећање инсталисаних соларних капацитета и коришћења соларне енергије.

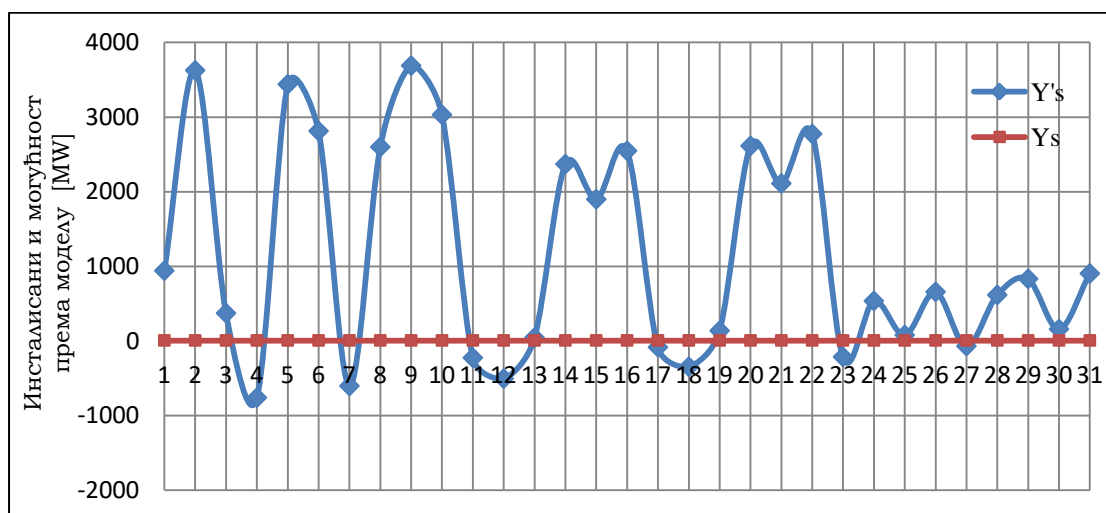


Слика 6. Соларни капацитети који би требало да буду инсталисани према моделу $[Y'_i]$ и инсталисани капацитети $[Y_i]$ при истовременом укључењу свих улазних варијабли

Резултати регресионог модела за прву комбинацију улазних варијабли (FiT , BDP , BDP per capita, инсолација и BDL), приказани су графички на слици 6 и они показују, заједно са нумеричким резултатима из табеле

2, број варијанте 1, да је у Србији са тренутним стањем развоја и нивоом FiT , BDP , $BDP\ per\ capita$ и BDL , према постојећем потенцијалу, могуће инсталирати још 934 MW соларних капацитета, као различитих комбинација фотонапонских панела (ФНП).

Сумарни резултати истраживања могућности изградње соларних капацитета који се према регресионом моделу могу инсталирати у Србији, приказани су графички на слици 7.



Слика 7. Однос соларних капацитета који се могу инсталирати у Србији према корелационом регресионом моделу у односу на земље Европе за свих 31 варијанту [MW]

Анализа резултата приказаних на слици 7 и у табели 2 указује да у Србији у 23 варијанте комбинација улазних варијабли (74%) има мање инсталираних капацитета у односу на параметре модела формираног у односу на 28 земаља Европе, што значи да доминирају разлози за већу инсталацију соларних капацитета у Србији. У осам варијанти комбинација улазних варијабли (26%) регресиони модел имплицира да Србија има могућности за развој примене соларне енергије у производњи електричне, тако што ће повећавати FiT и/или BDP и/или $BDP\ per\ capita$, и/или поправљати позицију на BDL .

Наведени резултати указују да у Србији нису довољно искоришћени потенцијали за развој соларних капацитета за производњу електричне енергије и да постоје могућности за већу имплементацију соларне енергије, преко кориговања индикатора из домена технолошких, економских, правно регулаторних и процедуралних побољшања.

3.4.2. Резултати МДЛР модела за 8 регресора

Са циљем укључења још већег степена интердисциплинарности, методом истраживања је дефинисано, поред до сада укључених пет, још три улазне варијабле. Дакле, сада се у анализу улази са следећих осам регресора за 28 европских земаља и Србију: FiT ($X1$), BDP ($X2$), BDP по глави становника ($X3$)², природни соларни потенцијали ($X4$), позиција сваке земље на BDL према подацима из извештаја Светске банке ($X5$), цена електричне енергије за домаћинства, укључујући порезе и намете ($X6$), потрошња електричне енергије у индустрији ($X7$) и друга потрошња електричне енергије ($X8$)¹¹.

Израз, тј. резултат су инсталисани капацитети соларних ћелија (Yi)². Варијабла BDL је преузета из Међународне финансијске корпорације (IFC) и проверена преко индекса лакоће пословања Свјетске банке (*International Finance Corporation (IFC) and World Bank's Ease of Doing Business index*)¹². Регресиони модел развијен у истраживању са 8 интердисциплинарних улазних варијабли, даје резултате који су заједно са три додатна регресора приказани у табели 3.

У Табели 1 су обухваћени улазни подаци за развијање регресионог модела, односно вредности улазних варијабли од $X1$ до $X5$ (FiT , BDP , BDP per capita, инсолација и BDL), а варијабле $X6$ до $X8$ (цена електричне енергије у домаћинствима, потрошња електричне енергије у индустрији и друга потрошња електричне енергије) приказане су у табели 3, као и излазне варијабле - Yi (инсталисани соларни капацитети).

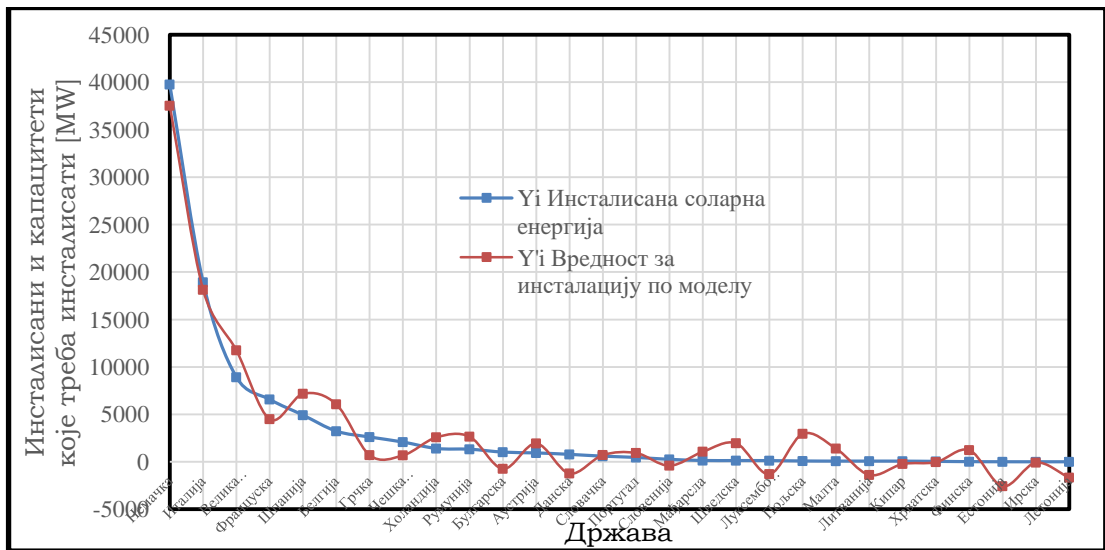
Као што се види на слици 8, неке од земаља су инсталисале више, док су друге земље инсталисале мање соларних капацитета од оптималног добијеног према МДЛР моделу. Конвергенција ове две криве доказује стабилност и валидност МДЛР модела који је овде развијен.

¹¹ http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_price_statistics, pregledano 07.07.2021.

¹² <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=DK> pregledano 02.07.2021.

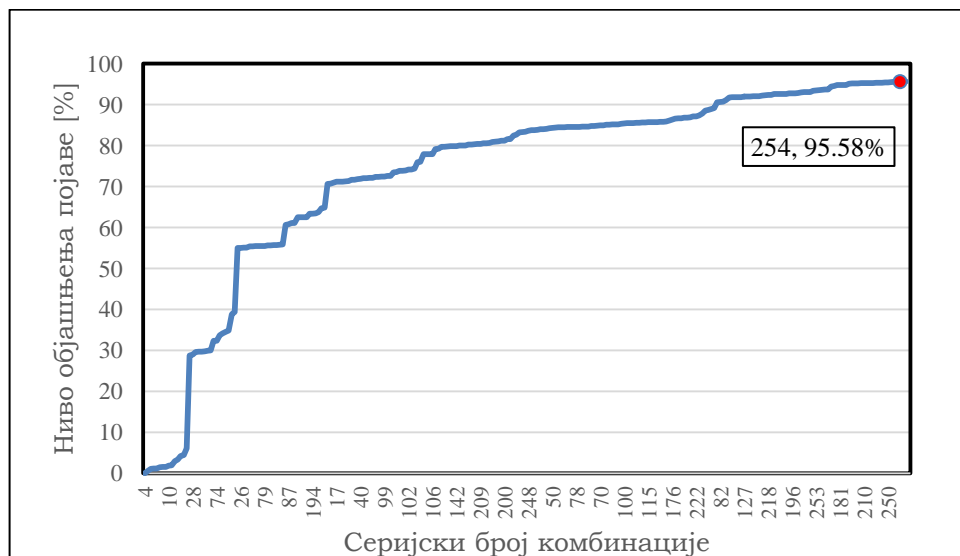
Табела 3. Инсталисани соларни капацитети – излазна варијабла Y_i , са три додатне припадајуће улазне варијабле за 28ЕУ и за Србију

Бр.	Држава	X6 Цена за домаћинства €/kWh	X7 Потрошња у индустрији TWh	X8 Друга потрошња TWh	Y_i Излазна варијабла MW
1	Немачка	29.49	224.88	278.57	39763.0
2	Италија	24.39	112.67	163.96	18924.0
3	Велика Британија	21.54	93.01	206.03	8918.0
4	Француска	16.79	116.45	307.23	6578.0
5	Шпанија	23.40	76.05	149.92	4921.0
6	Белгија	22.39	37.99	42.13	3228.0
7	Грчка	17.69	12.67	37.73	2613.0
8	Чешка Република	13.97	22.81	30.22	2083.0
9	Холандија	19.16	34.25	67.11	1405.0
10	Румунија	13.11	20.53	21.42	1325.0
11	Бугарска	9.50	8.95	19.03	1021.0
12	Аустрија	19.96	25.27	32.67	935.3
13	Данска	30.55	8.37	22.11	782.5
14	Словачка	15.12	11.61	12.16	591.1
15	Португал	22.82	15.48	30.02	460.0
16	Словенија	16.10	6.20	6.44	257.4
17	Мађарска	11.36	15.40	19.72	137.7
18	Шведска	18.63	50.28	71.98	130.0
19	Луксембург	17.67	3.06	3.04	125.0
20	Пољска	14.31	49.48	75.23	86.9
21	Малта	12.63	0.42	1.70	73.2
22	Литваниа	12.50	3.31	5.96	73.1
23	Кипар	18.98	0.46	3.63	69.5
24	Хрватска	13.15	3.43	11.67	44.8
25	Финска	15.41	37.89	39.87	14.7
26	Естониа	12.97	2.06	4.75	4.1
27	Ирска	24.40	9.84	15.19	2.1
28	Латвија	16.43	1.70	4.65	1.5
29	Република Србија	8.69	8.53	18.98	11.4



Слика 8. Инсталисани капацитети и капацитети које треба инсталисати по МДЛР моделу

Ниво објашњења појаве, на слици 9 показује у којој мери је феномен обухваћен одабраним интердисциплинарним улазним варијаблама. Три четвртине од 255 комбинација постигле су ниво објашњења појаве преко 70%. Одатле проистиче да су број улазних варијабли и њихов састав правилно одабрани. 254-а комбинација је достигла ниво објашњења појаве од 96%. Ова комбинација је укључивала седам улазних варијабли из табела 1 и 3, а изоставила је FiT , тј. варијаблу $X1$.



Слика 9. Ниво објашњења појаве за инсталисане соларне капацитете

Очигледно је да се Немачка, Италија и Велика Британија издвајају по вредностима. Разлике у вредностима инсталисаних соларних капацитета се виде у табели 3, као и на слици 8. То имплицира да можда оне могу да ремете резултате за остале земље. Тестирана је стабилност модела, тако што су ове три земље искључиване у различитим комбинацијама, а за преостале земље извршена је целокупна калкулација за сваку појединачну комбинацију искључења екстремних вредности. Анализиран је утицај ових искључења на модел.

Да ли одређени податак припада популацији, статистички је тестирано према следећем критеријуму:

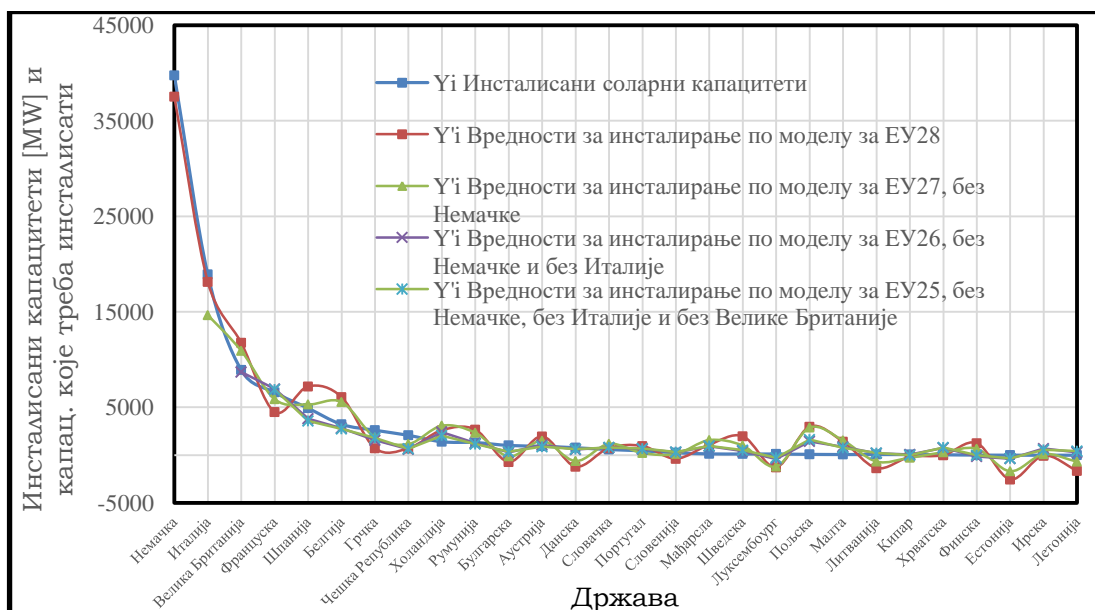
$$Y_i \in (\bar{Y} - 2 * \sigma_{\bar{Y}}, \bar{Y} + 2 * \sigma_{\bar{Y}}) \quad \dots (14)$$

Просечна вредност \bar{Y} и стандардна девијација $\sigma_{\bar{Y}}$ одређиване су када су искључене екстремне вредности за наведене земље. Наводе се вредности за Немачку из 2016-е:

- Просечне вредности инсталисаног соларног капацитета за земље ЕУ28, $\bar{Y} = 2030 \text{ MW}$;
- Стандардна девијација $\sigma_{\bar{Y}} = 4030 \text{ MW}$;
- Екстремне вредности су у опсегу $\bar{Y} - 2 * \sigma_{\bar{Y}} = -6032 \text{ MW}$ и $\bar{Y} + 2 * \sigma_{\bar{Y}} = 10092 \text{ MW}$. Знак минус се појављује зато што инсталисани капацитет у Немачкој знатно премашује просек других земаља ЕУ;
- Закључно, Немачка, са инсталисаном снагом од 39763 MW, не припада популацији по критеријуму (14). Чак и са строжијим критеријумом, $\bar{Y} + 3 * \sigma_{\bar{Y}} = 14122 \text{ MW}$, поново се може закључити да инсталисани капацитет у Немачкој не припада популацији. Ови потврђени закључци представљају валидацију модела који је овде развијен.

И слика 8, и табела 3, и рачуница показују да инсталисани капацитети свих 28 земаља не припадају истој популацији. Зато је целокупна рачуница поновљена без једне, две или три искључене земље са екстремним вредностима, на популацији од 27, 26, односно 25 земаља Европе, респективно.

Као што се види на слици 10, резултати су скоро неосетљиви на број земаља искључених из модела, чиме је доказана помоћна хипотеза Х1.3. Ово поново представља позитивну валидацију развијеног модела. То истовремено оправдава даље анализе на скупу улазних података свих 28 земаља Европе.



Слика 10. Инсталисани капацитети [MW] и капацитети које треба инсталирати по моделу за 2016, у различитим варијантама искључења земаља са екстремним вредностима

Након што је развијен и валидиран МДАР модел у студијама 28 земаља Европе и неколико подскупова од 27, 26 и 25 земаља, модел се даље тестира у студији случаја једне земље, тј. Републике Србије.

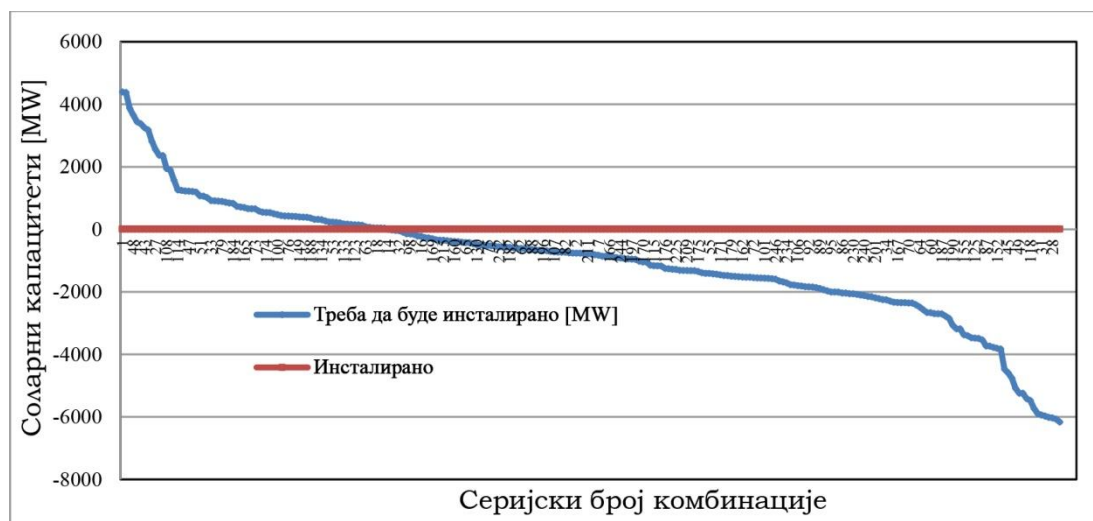
Србија је земља у развоју у којој термоелектране испоручују 70% потрошене електричне енергије. Што је још горе, ова постројења прљавих технологија сагоревају угаљ лошег квалитета. Процењује се да ће српске резерве уља трајати још око 50 година¹³.

Имајући у виду песимистичке перспективе за фосилна горива у Србији, типичној земљи у развоју, намеће се императив шире примене обновљивих извора енергије, као што је нпр. соларни ресурс. Пошто Србија има практично неискоришћен соларни потенцијал, оправдан је избор Србије за студију случаја модела који је овде развијен.

Поново је анализирано свих 255 комбинација свих осам улазних варијабли. Прво су посебно одређени коефицијенти у МДАР моделу за сваку улазну променљиву ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ и X_8). Затим је израчунато укупно 255 комбинација од две, три, четири, пет, шест, седам и осам улазних варијабли.

¹³ <http://www.eps.rs/lat/Poslovanje-EE>, pregledano, 15.07.2021.

Када је анализирано свих осам улазних варијабли, решаван је систем од 28 једначина са девет непознатих. За сваку комбинацију улазних варијабли одређена је излазна варијабла за свих 28 земаља Европе и за Србију. Разлике између соларног капацитета који је инсталисан и капацитета који би могао да се инсталише по МДЛР моделу, израчунате су по формулама (8) и (9) и приказане су на слици број 11.



Слика 11. Соларни капацитети [MW] који треба да буду инсталисани у Србији према МДЛР моделу (ордината) за различите комбинације улазних варијабли (апсциса)

Анализа резултата на слици 11 показује два сценарија. У првом, тј. у 30% комбинација, тачније у 73 комбинације улазних варијабли Србија има нижи инсталисани капацитет од онога израчунатог МДЛР моделом за 28 европских земаља. Према овој анализи, Србији је потребно више инсталирања соларних капацитета. У 70% комбинација, њих 182, улазних варијабли Србија има већи капацитет од оног израчунатог МДЛР моделом за 28 европских земаља.

Из овога се може закључити, да у Србији постоје могућности за већу примену соларне енергије, кроз технолошка, економска, правна, регулаторна и процедурална побољшања. Србија може да развија примену соларне енергије за производњу електричне енергије повећањем једног или више од следећих улазних варијабли: *FiT*, *BDP*, *BDP* по глави становника, потрошња и цене. Побољшање позиције на *BDL* би такође помогло.

Повећање регресора *Feed in tariffs* и инсолације погодују развоју примене соларне енергије, док *BDP*, најниже цене електричне енергије

у Европи и обим индустријске потрошње не фаворизују ширу примену соларних инсталација у Србији.

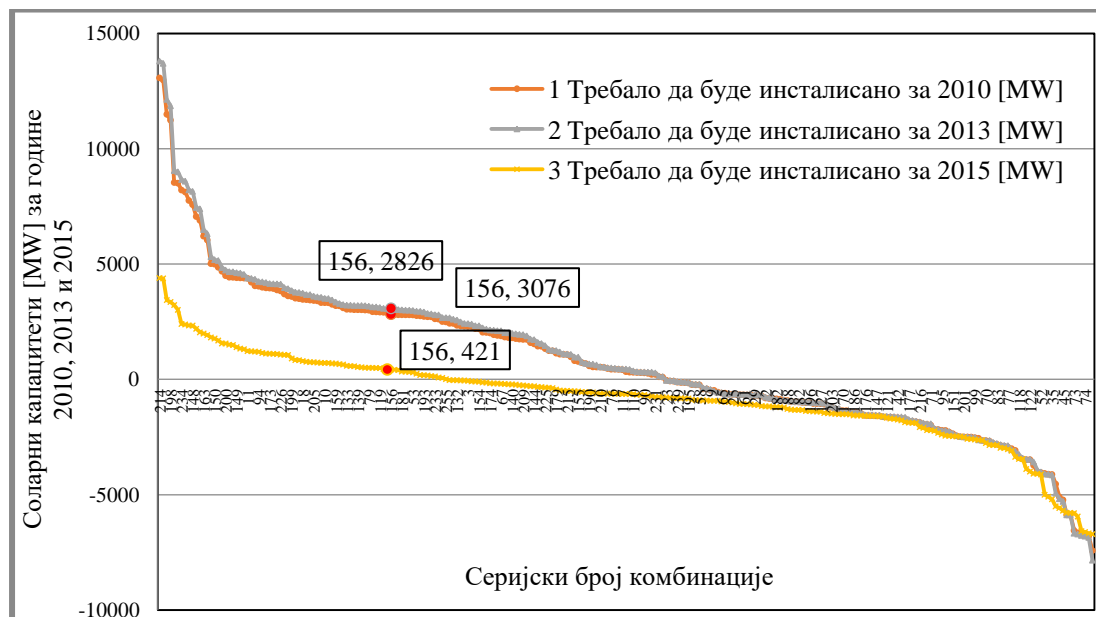
Досадашњи резултати и дискусија односили су се на 2016. годину. Како важне пословне и економско финансијске одлуке не треба доносити на основу једне године, постављен је циљ да се истраживање прошири у холистичком смислу.

Додато је истраживање промене резултата у функцији времена. Временска димензија је истражена анализом варијација улазних параметара и излазних варијабли. Испитани су резултати и закључци добијени МДАР моделом за 2010, 2013. и 2015. годину. У табели 4 су дате промене 8 улазних варијабли за период од 4 године за Србију. Графички приказ резултата за 2016-у годину дат је на слици 11, док слика 12 показује исте резултате за три претходне године. Слика 12 истовремено представља проверу временске валидности модела. Конвергентност кривих потврђује стабилност модела у функцији времена.

Табела 4. Улазне варијабле за МДАР анализе за Србију за четири временска пресека

Год.	X1 – FIT €/kWh	X2 – BDP Bil. €	X3 – BDP pc €	X4 – Инсолација kWh/m ² /g.	X5 – BDL Позиција	X6 – Цене за домаћинства с/kWh	X7 – Потрошња у индустрији TWh	X8 – друга потрошња TWh
2010	18.5955	31.545	4300	1400	108	5.64	6.772	19.536
2013	18.5955	36.426	5000	1400	111	5.64	6.931	19.744
2015	18.5955	35.715	5200	1400	59	5.75	7.042	19.299
2016	18.5955	37.745	5852	1400	47	6.41	7.731	19.249

Блиско преклапање дијаграма за 2010. и 2013. годину и померање истог за 2015. годину показују да су услови за постављање соларних капацитета у Србији у претходне две године били слични и повољнији од оних у последњој анализираној години.



Слика 12. Соларни капацитети [MW] који би требало да су инсталисани према МДАР моделу за различите комбинације улазних варијабли за године 2010, 2013 и 2015

Ако се направи компарација тренутно инсталисаних соларних капацитета у Србији¹⁴ и резултата МДАР модела са 8 улазних варијабли, може се закључити да истраживање спроведено у овом поглављу још једном потврђује помоћну хипотезу X1.1, тј. да у Републици Србији постоји много већи потенцијал за интеграцију соларних капацитета, него што се тренутно користи.

У Републици Србији у тренутку писања ове дисертације има инсталисаних свега 11.4 MW соларне енергије. Од којих је прва већа СЕ Кладово (Стевовић ет ал., 2019). У овај податак нису могли бити урачунати фотонапонски панели инсталисани на крововима домаћинстава и мањих индустријских постројења. За њих не постоји званични регистар, али је процена одговарајућих служби да у том облику има инсталисаних 25 MW¹⁵.

Резултати добијени у овом поглављу, приказани нумерички и графички, за обе варијанте са различитим бројем улазних варијабли, потврдили су помоћну хипотезу X1.1.

¹⁴ <http://www.eps.rs/lat/Poslovanje-EE>, pregledano, 15.07.2021.

¹⁵ <http://www.eps.rs/lat/Poslovanje-EE>, pregledano, 15.07.2021.

3.4.3. Резултати метода УТЕЕ

Економска анализа исплативости заснована на УТЕЕ методи датој формулом (11) приказана је под претпоставкама да ће се остварити просечна годишња производња која одговара искуственим подацима за Србију у протеклом периоду. Такође се уводи претпоставка да је соларни капацитет изграђен на бази кредита који се отплаћује у једнаким ратама на 20 година, односно на нивоу експлоатационог циклуса соларних панела.

Ако се пође од почетних података:

$P = 1 \text{ MW} = 1000 \text{ kW}$ – инсталисана снага;
 $n = 20$ – животни циклус соларне електране;
 $P_E = 0.20941 \text{ €/kWh}$ - цена електричне енергије по киловатсату¹⁶;
 $I = 1,100,000.00$ - иницијална инвестиција (1.1 €/W)¹⁷;
 $c = 0.01$ (1%)
 $d = 0.01$ (1%);
 $r = 0.025$ (2.5%);
 $I = 60,000 \text{ €/год}$;
 $S = 1,100,000.00 \text{ kWh}$ (Произведена електрична енергија на бази инсталисане снаге за Србију годишње).

Применом формуле (11) добија се:

$$UTE E = \frac{968,320 \text{ €}}{14,667,901 \text{ kWh}} = 0.066 \text{ €/kWh}$$

Добијени резултат указује да су уједначени трошкови електричне енергије на приближно сличном нивоу у односу на цену електричне енергије других водећих произвођача у Србији (термо и хидроелектране). Дакле, смањење економске цене производње електричне енергије из фотонапонских панела у Републици Србији утицаће на повећање степена интеграције соларне енергије. Овиме је доказана помоћна хипотеза X 1.4.

Чињеница да разлика између тржишне продајне цене електричне енергије и уједначених трошкова производње соларне енергије у Србији није значајна, упућује на дискусију да су тај закључак и стање само тренутни. У будућности се свакако могу очекивати повећање

¹⁶ <http://www.eps.rs>, pregledano 05.07.2021.

¹⁷ <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/>, pregledano 05.07.2021.

тржишне продајне цене електричне енергије и са друге стране, развојем технологије смањење цене производње соларне, што ће додатно проширити могућности примене.

Разлог за тренутно недовољне инвестиције у овај облик добијања соларне енергије у Републици Србији може се тражити пре свега у чињеници да постоје ризици који додатно повећавају трошкове производње из ФНП панела, као и да формула (11) на одређени начин поједностављује прорачун одређених трошкова. Овиме је доказано да ниска продајна цена електричне енергије при тренутним тржишним условима у Србији такође представља баријеру за развој инвестирања у соларне електране у Србији.

3.4.4. Резултати истраживања узорка опште популације

У оквиру овог истраживања спроведена је анкета на репрезентативном узорку од 100 испитаника, са циљем истраживања могућности проширења производње електричне енергије из соларних ФНП (фотонапонских панела) у Србији. Анкетни упитник на који су испитаници давали одговоре приказан је на крају дисертације у Прилогу 1.

Просечна старост испитаника је била од 18 до 69 година, у просеку 41 годину. Заступљеност жена је била 51%. 98% се у оквиру свог посла не баве имплементацијом соларне енергије.

Степен образовања прати образовну структуру у Србији. Заступљеност основног (и нижег), средњег, вишег и високог образовања, завршеног мастера и доктората је 35%, 49%, 13%, 2% и 1%, респективно. 63% испитаника је одговорило да зна неку соларну електрану у Србији, при чему је одговор укључивао и мини соларне кровне електране. Њих 37% мисли да законска регулатива у Србији не прати законске регулативе у ЕУ. 61% испитаника би инвестирало у соларну електрану у Србији, када би имали потребна средства, а ако се постави питање да ли би инвестирали у иностранству, 74% је показало заинтересованост. Процентуална заступљеност понуђених одговора, везано са питањем идентификације препрека, приказана је у табели 5.

Табела 5. Заступљеност вишезначних одговора на питање које су препреке за инвестирање

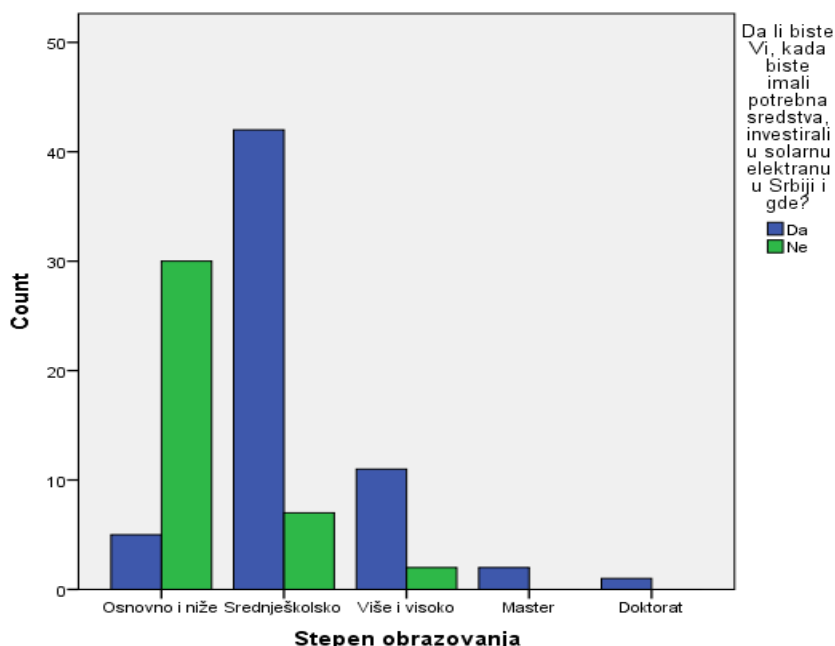
Препреке за инвестирање	%
Нема довољно инвестиција	28.8
Стимулативне тарифе су недовољне	6.8
Стимулативне тарифе су нестабилне	5.9
Тржиште се у целости сматра нестабилним	7.6
Слободан одговор	50.8

Пажњу скреће слободан одговор испитаника на питања “Зашто до сада није више људи инвестирало у соларне панеле у Србији” и „Шта блокира већу примену и које су препреке бржем развоју и већој примени соларне енергије у Србији?” Карактеристично је и индикативно да је од половине укупног броја испитаника дало слободан одговор. 36% њих је у слободан одговор уписало реч “корупција”, 17% је уписало “незнање”, а осталих 47% је давало разнородне одговоре.

Истовремено се објашњење може тражити у постојању аналогних проблема у другим областима, на које се наилази у поступку тражења дозвола за изградњу и инвестирање. Овај одговор имплицира повезаношћу са одговором који је дало 86.5% испитаника из експертске групе, а то је “тржиште се у целости сматра нестабилним” и налази потврду у литератури Светске банке, *World Bank’s Ease of Doing Business index*¹⁸, одакле се види да је Република Србија на 47-ом месту на *BDL*.

Chi Square (Hi kvadrat) – Хи квадрат тест показује да Пирсон-ов коефицијент (Pearson) износи 0.021, што представља степен повезаност између образовања и заинтересованости за инвестирањем у соларну енергију у Републици Србији. Ова асоцијација је приказана и графички на слика 13.

¹⁸ <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=DK>, pregledano 02.07.2021.



Слика 13. Асоцијација између образовања и заинтересованости за инвестирањем у соларну енергију у Републици Србији

3.4.5. Резултати истраживања узорка експерата

52 испитаника из друге групе су били експерти у области производње соларне енергије. У 98% случајева су били доктори наука. Просечна старост испитаника из групе експерата је била 59 година. Заступљеност жена је 3.8%.

Испитаници из групе експерата су наравно и очекивано, у одговору на прво питање, показали висок ниво познавања и навели низ инсталираних соларних електрана у Републици Србији са свим пратећим техничким детаљима.

Интересантно је да су и испитаници из прве групе показали релативно висок ниво знања о соларној енергији. 63% испитаника из прве групе имало је знање о некој инсталираној соларној електрани у Републици Србији, што значи да се у Србији радило на информисаности и подизању нивоа знања и свести о значају примене соларне енергије. 93% испитаника из групе експерата је одговорило да законска регулатива Републике Србије генерално прати регулативу ЕУ из области.

Дефинитивно Србија је на путу да сасвим усагласи законску регулативу са ЕУ. Међутим, још увек постоје недоречености и нејасноће, које управо у завршници учине да, уместо да конципирани

пројекти уђу у фазу реализације, ефекти нестабилног тржишта учине да се период, потребан за добијање свих потребних сагласности, неочекивано продужи. Неоправдано дуго потребно време за завршавање свих нужних административно правних процедура за реализацију пројекта, као чињеница се налази и у литератури, јер Република Србија заузима 47 место на *BDL*, у тренутку израде ове дисертације, према *the World Bank's Ease of Doing Business index*¹⁹.

Из групе експерата 92.3% испитаника би инвестирало у пројекте соларне енергије у Републици Србији и 82.7% њих и у иностранству, чиме је још једном потврђена помоћна хипотеза $X_{1.5}$. Најчешћи одговори су Африка, Јужна Европа због високог потенцијала и неке земље Европе, као нпр. Немачка, због правне и финансијске стабилности.

Ако се одређени одговори испитаника експертске групе могу сматрати контролним питањима и одговорима, занимљиво је нпр. да је свега 7% испитаника из узорка опште популације идентификовало препреку за инвестирање, као што су експерти дефинисали, из чега проистиче да у општој популацији ипак постоји потреба да се још много тога разјасни и да се знања прошире.

Истраживањем социјалне прихватљивости, спроведеним у овом поглављу на узорку популације Републике Србије и на узорку експерата, је потврђена помоћна хипотеза $X_{1.5}$ у целости. Јавно мњење и експертско мишљење у Републици Србији су позитивни у односу на повећање степена интеграције соларне енергије. Ово отвара могућности за даља истраживања и нова инвестирања.

3.4.6. Анализа осетљивости

Стабилност МДАР модела који је овде развијен је верификована и анализом осетљивости. Грешка од $\pm 5\%$ је уведена у улазне варијабле X_1 до X_8 , означене као низ X_0 и у излазну променљиву Y , означену као низ Y_0 . Испитано је свих 255 комбинација и анализирани су промене резултата, базиране на промени података у распону $\pm 5\%$, као што је приказано у табели 6. Слика 14 је графички приказ промене резултата модела у функцији промене величине грешке.

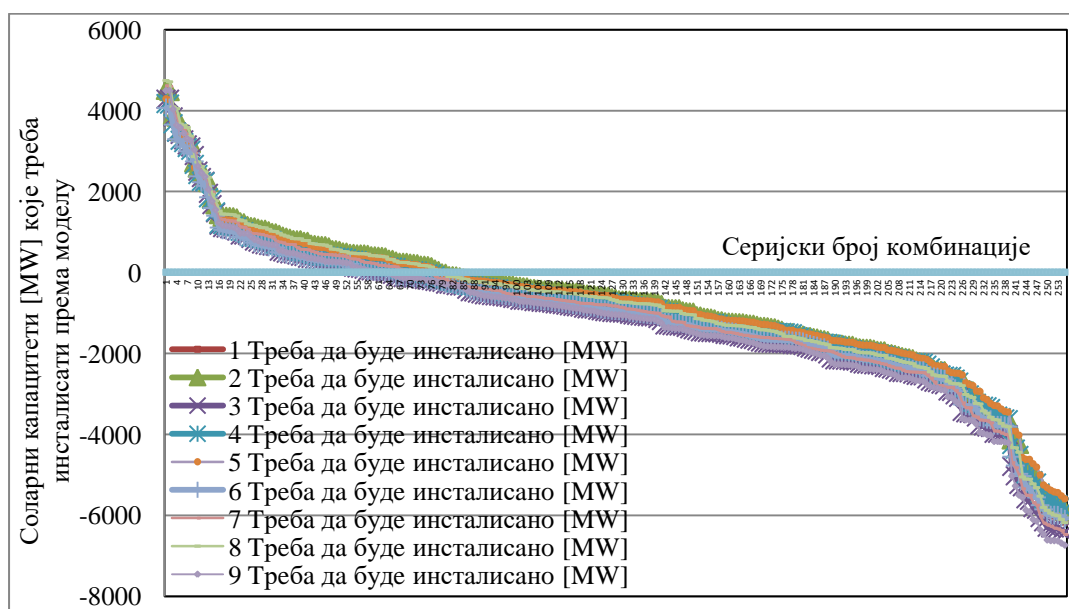
¹⁹ <https://www.worldbank.org/en/about/annual-report>, pregledano 17.02.2021.

Табела 6. Девет скупова улазних и излазних варијабли измењених за $\pm 5\%$ око почетних вредности

	Y_0	$Y_0 \cdot 0.95$	$Y_0 \cdot 1.05$
X_0	1	4	7
	X_0, Y_0	$X_0, Y_0 \cdot 0.95$	$X_0, Y_0 \cdot 1.05$
$X_0 \cdot 0.95$	2	5	8
	$X_0 \cdot 0.95, Y_0$	$X_0 \cdot 0.95, Y_0 \cdot 0.95$	$X_0 \cdot 0.95, Y_0 \cdot 1.05$
$X_0 \cdot 1.05$	3	6	9
	$X_0 \cdot 1.05, Y_0$	$X_0 \cdot 1.05, Y_0 \cdot 0.95$	$X_0 \cdot 1.05, Y_0 \cdot 1.05$

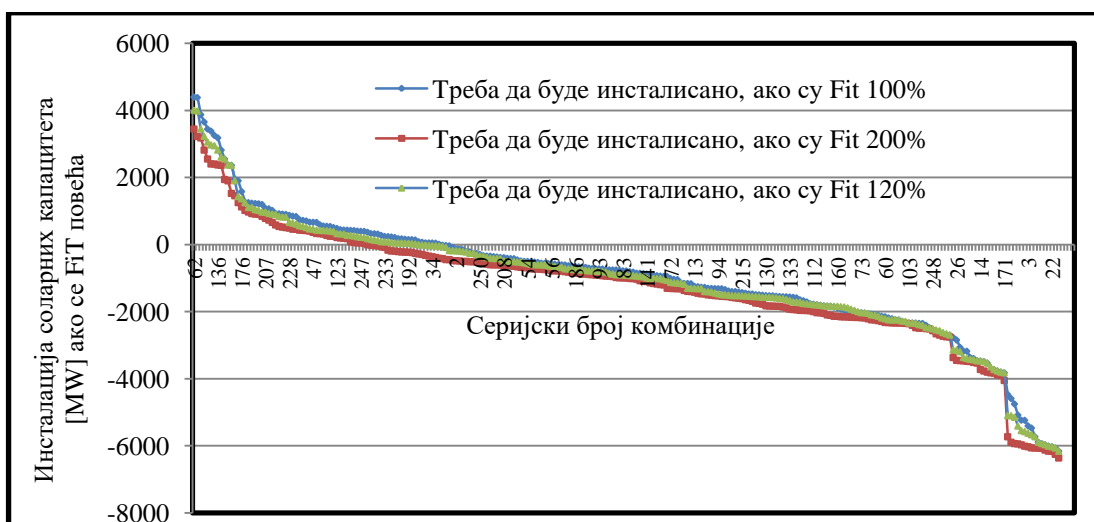
Девет поређаних, међусобно пратећих дијаграма на слици 14 чине појас чија ширина показује колико се мења резултат „треба инсталирати“ соларних капацитета за Србију, када варирају улазне варијабле. У табели 6 је дефинисано девет скупова различитих комбинација улазних и излазних варијабли, које узимају вредности од X_0 до $X_0 \pm 5\%$ и од Y_0 до $Y_0 \pm 5\%$.

Дакле, модел је стабилан на промене улазних и излазних променљивих. При изменама од $\pm 5\%$, на начин и у опсегу како је приказано у табели број 6, резултати се само донекле мењају, али су криве међусобно конвергентне. Прате исту криву на слици 14. Овиме је доказано да модел остаје стабилан, а резултати верификовани.



Слика 14. Осетљивост резултата на промене улазних и излазних варијабли за $\pm 5\%$ измењених око почетних вредности, за девет скупова различитих комбинација

Због тога што државе често стимулишу постављање соларних капацитета фид-ин-тарифама и због тога што су се ове тарифе значајно мењале у периоду 2010 – 2016. године, овај начин стимулације је детаљније испитан. У новој анализи осетљивости, *FiT* је повећан за 20% и 100%. На слици 15 се види следеће: Уколико фид-ин тарифе у Србији остану непромењене, а расту оне у 28 земаља Европе, онда модел предвиђа негативан утицај на постављање нових соларних капацитета у Србији. Ово је разумно са економске тачке гледишта.



Слика 15. Утицај повећања *FiT*-а у 28 земаља Европе на инсталацију соларних капацитета

У случају повећања фид-ин-тарифа (*FiT*) у 28 земаља Европе, неопходно је да се у разматраној земљи (у овом случају Србији) повећа и *FiT* како би се задржао исти ниво „треба инсталирати“.

Варијација *FiT* у распону од 20-100% ће утицати на резултате, али не и на стабилност модела и валидност резултата, јер су криве конвергентне.

Спроведени експерименти развоја МДАР модела са смањеним бројем регресора, у 3.4.1. и 3.4.2., такође представљају анализу осетљивости.

3.5. Дискусија резултата триангулационог модела

У овом поглављу је развијен триангулациони модел за истраживање максимално могућег капацитета интеграције ОИЕ у једној држави. Истраживање је интердисциплинарно обухватило и одрживи концепт три поља: људи, планета, профит (*3P – people, planet, profit*), као у истраживачком приступу у литератури (Todorović & Obradović, 2018).

Нумерички експеримент је спроведен на студији случаја анализе капацитета за производњу електричне енергије коришћењем сунчеве енергије у Србији, уз истраживање корелационе зависности у односу на земље ЕУ. Развијени триангулациони модел обухвата три подмодела. Први је МДЛР модел развијен за комплексно истраживање друштвено економских и природних предиспозиција за интеграцију ОИЕ. Други је економска анализа, а трећи социолошко истраживање. У оквиру развијеног МДЛР модела урађена је комплексна анализа фактора од утицаја и на бази коелационих зависности се дошло до максимално могућег степена интеграције.

Прво су одређени параметри модела за земље ЕУ, а затим је израчуната вредност инсталисаних капацитета у Србији који одговарају регресионом моделу. Разлика између инсталисаних капацитета у Србији и капацитета који би требало да буду инсталисани према резултатима регресионог модела указују на две могућности:

- У случају када су инсталисани капацитети већи у односу на капацитете добијене моделом треба очекивати значајан развој соларних капацитета са порастом *BDP*-а
- У случају када су инсталисани капацитети мањи од капацитета добијених регресионим моделом може се сматрати да и при постојећем нивоу посматраних улазних варијабли у Србији (*FIT*, *BDP*, *BDP per capita*, инсолација и *BDL*) постоје објективне могућности за развој соларних капацитета.

Како су улазне варијабле регресионог модела покривале технолошке, економске, правно регулаторне и процедуралне елементе, што укључује и параметре одрживог развоја, може се закључити да је регресионом анализом потврђено да се могућности шире интеграције соларне енергије у Србији налазе у домену технолошких, економских, правно регулаторних и процедуралних побољшања. Овиме је доказана помоћна хипотеза Х1.6.

У поглављу 3.4.1. су приказани резултати истраживања МДЛР модела за пет регресора, а у следећем 3.4.2. дати су резултати МДЛР модела за осам регресора. Уочава се да се степен могуће интеграције ОИЕ повећава са повећањем степена интердисциплинарности, представљеног кроз број улазних варијабли – регресора из различитих области. Овиме је доказана помоћна хипотеза $X1.7$.

Додатно, економска анализа указује да су трошкови производње електричне енергије из соларних FNP практично на нивоу са тржишном продајном ценом електричне енергије. Увећањем трошкова производње електричне енергије из соларних FNP за ризике и профит, долази се у ситуацију да они превазилазе тржишну цену водећих произвођача електричне енергије у Србији. Дакле, у економском фактору, односно у ниској продајној цени електричне енергије у Србији, без обзира на високу сагласност развоја капацитета за производњу електричне енергије коришћењем сунчеве енергије са принципима одрживог развоја, такође се крију могућности за развој. Како то тренутно представља један од ограничавајућих фактора за њену ширу примену, то може да буде предмет за даља истраживања и простор за мотивацију за нова инвестициона улагања.

Истовремено, спроведена анкета је показала да у Србији постоји релативно високо интересовање за инвестирање и свест о значају шире примене соларне енергије, као и о тренутним препрекама и проблемима који утичу на ширу примену овог концепта доласка до чисте електричне енергије.

Триангулациони модел је обухватио мултидимензиону линеарну регресиону анализу, економску анализу и испитивање социјалне прихватљивости. Истраживања су спроведена и модели тестирани на нумеричком експерименту на студији случаја интеграције соларне енергије у Републици Србији. Све три методе које се овде користе (МДЛР, УТЕЕ и истраживање друштвене прихватљивости) треба да се користе када се одлучује о инсталирању соларних панела и осталих ОИЕ.

Деск истраживање показује да је развијене моделе могуће применити и на друге облике ОИЕ. У МДЛР модел се уместо улазних података и параметара који се односе на релевантне варијабле за соларну енергију, у рачуницу уводе улазне варијабле које се односе на потенцијал других видова ОИЕ. Уводе се друге, за тај ОИЕ припадајуће *FiT*, или друге стимулативне норме и припадајући природни потенцијал тог партикуларног ОИЕ. Дакле, само се замене вредности регресора $X1$ и $X4$. Тако развијени МДЛР модел даје резултате који се односе на могући инсталисани капацитет нпр. ветра,

или хидропотенцијал. На тај начин МДЛР модел постаје применљив и за друге видове ОИЕ.

Метод УТЕЕ такође, као улазне параметре прихвата нумеричке вредности других видова ОИЕ. Ако се у формуле (10) и (11) које су у поглављу 3.4.3. дале резултате за соларну енергију, уведу нумеричке вредности за животни циклус, цену, иницијалне инвестиције и остале почетне показатеље, припадајуће неком другом виду ОИЕ, добиће се УТЕЕ за тај конкретан облик ОИЕ.

Истраживање социјалне прихватљивости, као и анкету на нивоу јавног мњења и интервју експертске групе, је такође могуће спровести за било који вид ОИЕ појединачно. Само би се питања односила на прихватљивост тог партикуларног ОИЕ. Овиме је доказана помоћна хипотеза Х1.8.

У времену када бесплатне, обновљиве, зелене, чисте енергије заузимају у свету важно место, у Србији која обилује бесплатном енергијом сунца, ветра, значајним хидропотенцијалом, треба наставити са ширењем знања о оправданости примене свих видова ОИЕ и са конкретном већом имплементацијом. Истраживања спроведена у овом поглављу показују да те могућности постоје. Очекује се да ће резултати ових истраживања унапредити знања у области, теоријски и практично, као и да ће покренути ширу примену ОИЕ кроз све могуће домене и општи привредни развој.

Како је цивилизација на прагу огромних проблема са ресурсима, загађењима и енергијом, допринос изучавању имплементације ОИЕ има свој одговорни друштвени значај и адекватно место у научним истраживањима. Сваком од три примењене квантитативне методе у оквиру развијеног триангулационог модела и проширеном дискусијом је показано да постоје одрживе могућности развоја интензивније примене обновљиве чисте зелене енергије у Србији, чиме су доказане све помоћне истраживачке хипотезе, које се односе на прву главну хипотезу.

Тренутно је у Србији процедура за изградњу објеката ОИЕ дуга и компликована. Процедура за добијање статуса повлашћеног испоручиоца електричне енергије је неизвесна, а и улазак у оперативни рад електроенергетског система има пуно препрека. Процедура за изградњу електрана ОИЕ обухвата: избор локације, увид у важећа планска документа и информације о локацији, енергетску дозволу, услове за прикључење, локацијску дозволу, процену утицаја на животну средину, техничку документацију, грађевинску дозволу, само извођење објекта, технички преглед објекта и процес издавања

употребне дозволе. Потребно је обавити и процедуру стицања права на коришћење природног ресурса, лиценцу, решити прикључење електране на електроенергетску мрежу и наравно обавити процедуру стицања статуса повлашћеног произвођача електричне енергије.

Процедура по питању техничких услова за прикључење електране ОИЕ, прати техничке стандарде ЕУ, јер је законска регулатива делимично преузета од стране ЕУ, тако да су веома сличне. Проблем је што тренутно важећи правни оквир подразумева поштовање истовремено и српских закона и европских директива, што оставља простор за нејасноће. Финално усаглашавање, појашњења и практични правилници треба да се дораде. Неопходно је да оваква документација буде перфектуирана и за потенцијалне инвеститоре припремљена до детаља.

За очекивати је да у будућности инвестиционе банке у свету, па и Србији неће желети финансирати отварање површинских копова угља, а ни електране које сагоревају угаљ, већ само производњу из ОИЕ, што отвара нове могућности за инвестирање у ОИЕ. Министарство за енергетику Републике Србије ради на развоју и унапређењу инсталација објеката ОИЕ. Ратификацијом уговора који је потписан између Владе РС и *KfV* банке током јесени 2017-е, а затим и других банака, отворене су додатне могућности за проширење производње енергије из соларних и других електрана ОИЕ у Републици Србији.

Тиме ће соларни системи заједно са другим обновљивим изворима енергије у садејству са конвенционалном производњом електричне енергије у РС, допринети електро-енергетском систему Србије, повећавајући њихову независности, поузданост, и квалитет испоручене електричне енергије.

У Србији је тренутно ниска продајна цена електричне енергије и ту се налази једна од могућности за развој примене ОИЕ. Постоји и проблем издавања дозволе повлашћеним произвођачима од стране Електропривреде Србије (ЕПС-а), тако да тренутно ОИЕ најчешће користе:

- људи без могућности електродистрибутивног (ЕДБ) прикључка;
- мали број повлашћених предузетника;
- индустријска постројења ради уштеде;
- успешна јавна предузећа;
- фирме, ради промоције.

Истовремено у Србији постоји недостатак искуства са развојем пројеката примене ОИЕ према важећој законској регулативи, посебно у познавању процедура. Додатно, постоји недостатак дугорочне политичко-правно-економске стабилности, недостатак стварне стратешке оријентације и политичког консензуса унутар државе/друштва за развој примене ОИЕ и недостатак стручног кадра на свим нивоима државне управе (укључујући и локалне самоуправе). Разне подстицајне мере државе јесу кључне. Оне треба да буду формиране на тржишним принципима.

Држава и локалне самоуправе треба више да подстичу инвестиције у обновљиве изворе енергије, јер нема разлога да Србија у неким ситуацијама увози електричну енергију, а има неискоришћен потенцијал ОИЕ и овакав степен загађености и угрожену животну средину. Подстицајне мере које се тренутно предузимају су врло ограничене, тако да се може рећи да нису сврстане у приоритетну групу. Један од начина да Србија повећа капацитете ОИЕ, је у прилагођавању законске подршке за примену пројеката ЈПП и примену стратешког оквира Европске комисије за Европске вештине, компетенције, квалификације и занимања (*ESCO strategic framework*).

Модел из позитивне светске и европске праксе (*smart practice*), применљиви су и у Србији и пресликавајући их, Србија може да створи услове за повећање инвестиција у производњу електричне енергије из ОИЕ. Инвестирањем у индустрију ОИЕ, повећава се укупна производња електричне енергије и унапређује целокупна привреда, што отвара широко поље за даља истраживања.

Претходно спроведеним истраживањима је преко доказаних осам помоћних хипотеза, у целости доказана и прва главна хипотеза Х1. Дакле, потврђено је да постоји потреба за развојем интердисциплинарног триангулационог модела за одређивање максимално могућег степена стратешке интеграције ОИЕ у друштвено економски систем.

4. Развој интердисциплинарног модела МДГА

У овом поглављу се развија природом инспирисани интердисциплинарни оптимизациони модел еволуционих мултидимензионалних генетских алгоритама (МДГА) за истраживање степена интеграције ОИЕ у реалном електро енергетском систему (ЕЕС), са свим условима и ограничењима енергетског система и конзума и последичним утицајима на коштање и емисије гасова стаклене баште, који проистичу из различитости степена интеграције.

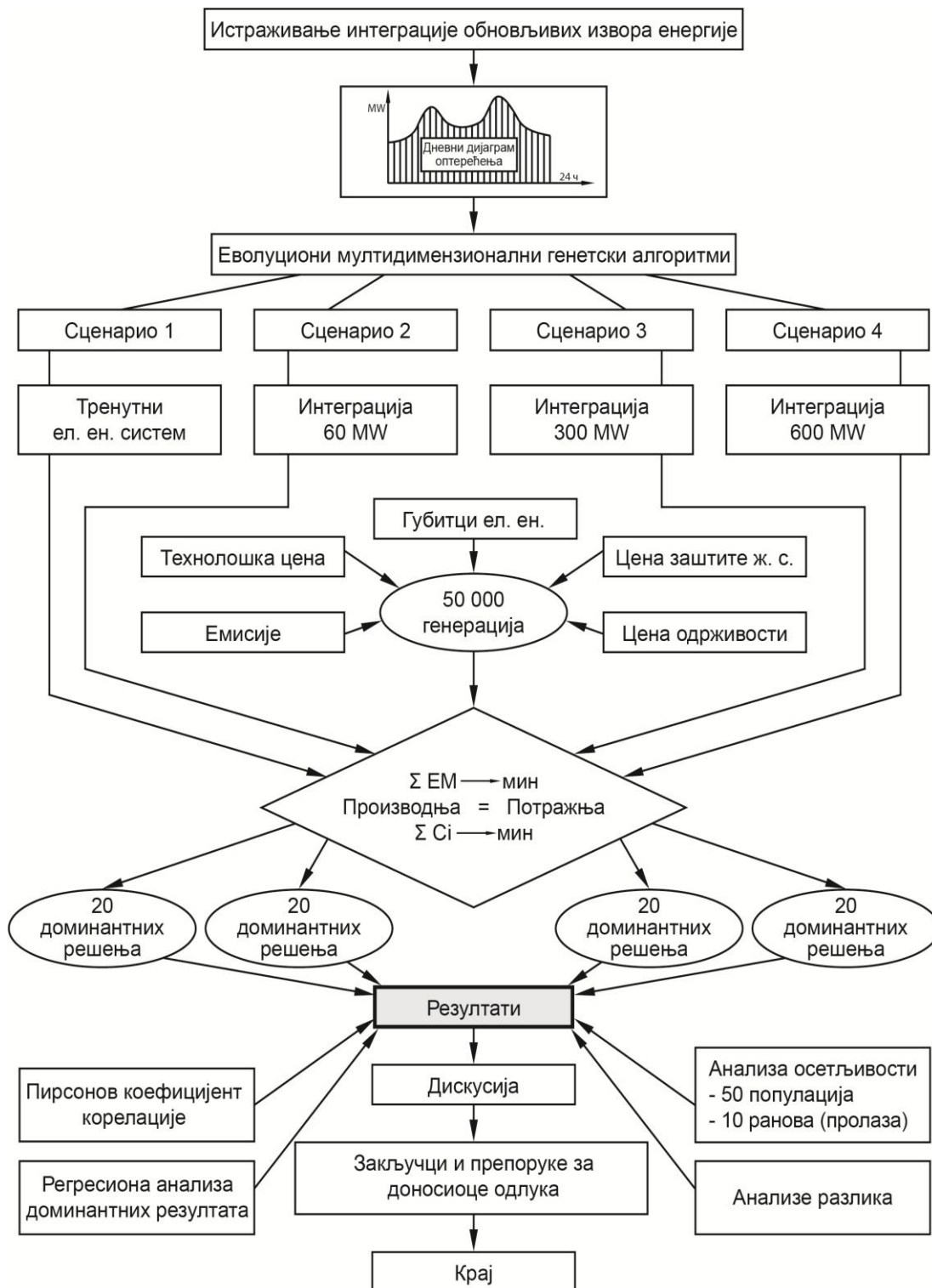
Ово поглавље представља и концептуални оквир за разумевање изазова децентрализоване опције интеграције обновљиве енергије у локалној заједници, у односу на снабдевање потрошача у оквиру система. Дају се и емпиријски резултати конкретне студије случаја, иницијална размишљања и истраживања о практичним изазовима и могућностима. Главна тема овог поглавља је истраживање интеграције обновљиве енергије у контексту еколошких, енергетских и економских бенефита за локалну заједницу и за цео систем - државу.

Идеја о широј интеграцији обновљиве енергије и еколошким, економским и енергетским бенефитима који се постижу на нивоу локалне и друштвене заједнице (државе) истражује се и доказује кроз четири различита сценарија интеграције додатног ОИЕ: 0MW, 60MW, 300MW и 600MW. Шематски приказ интердисциплинарног модела МДГА је приказан на слици 16.

Нова енергетска политика ЕУ дефинисана акционим планом до 2050. године захтева постизање смањења емисија од 80-95% у односу на 1990. годину, што представља тешке изазове за човечанство, узимајући у обзир све конфликтне интересе и постојећа ограничења.

Основни циљ истраживања представљен у овом поглављу је проучавање бенефита примене обновљиве енергије у смањењу емисија CO₂ и трошковима, као и квалитативне предности такве децентрализоване опције за локалну заједницу. Истраживани су и ефекти диверзификације ресурса на целокупни енергетски систем једне земље.

Теоретске хипотезе су тестиране и доказане на студији случаја интеграције соларне енергије у систем. Оптималан рад различитих електрана у систему је разматран коришћењем генетских мултидимензионалних оптимизационих алгоритама, који и сами представљају модел заснован на законима природе.



Слика 16. Шема интердисциплинарног модела МДГА

Циљ је да се задовољи укупна потражња конзума за електричном енергијом, дефинисана дневним дијаграмом оптерећења потрошње, уз истовремено смањење емисија гасова стаклене баште и минимизацију трошкова производње енергије.

Емисија гасова стаклене баште се рачуна преко еквивалентних тона угљендиоксида (CO_2). У циљу смањења трошкова хабања и амортизације опреме и обезбеђења складног рада агрегата у свакој електрани, уведена су додатна ограничења да се пенализују све комбинације у којима постоје велике промене у производњи, првенствено код термоелектрана.

Оптимальна инсталација за локалну заједницу претражена је у три различита сценарија инсталације 60MW, 300MW и 600MW. Наравно један од сценарија је и да се локална заједница прикључује на конвенционалан начин на електроенергетску далеководну мрежу, тј. да нема сопствену електрану ОИЕ. То је сценарио 0MW, тако да их је за оптимизациону анализу и поређење урађено укупно четири.

Лимитираност необновљивих резерви угља и других необновљивих ресурса и нова енергетска политика ЕУ 2050-е, упућују на оправданост улагања у интеграцију обновљивих извора на локалном и државном нивоу и смисао даљих истраживања. Зато ће се у наредним подпоглављима још детаљније истражити степен интеграције ОИЕ, имајући у виду реалан ЕЕС и његове перформансе.

У овом поглављу се уклапа нови, потенцијални ОИЕ у реалан ЕЕС и анализирају се утицаји на нивоу промена две критеријумске функције: коштања производње електричне енергије у целом систему, у једном критичном зимском дану и емисија гасова стаклене баште, за задати конзум. Комбинација ангажованих електрана мора да има укупну производњу на нивоу укупне потрошње електричне енергије конзума.

Суштински искорак у овом моделу је направљен тако што се уз коштање технологије производње 1 kWh, рачунају и коштање заштите животне средине од последица производње тог јединичног kWh, као и трошак одрживости, што подразумева коштање рециклаже и свођење на нулто стање животне средине употребљених сировина за производњу технологије, према базичним поставкама циркуларне економије.

4.1. Дефиниција улазних параметара

За студију случаја је изабрана Србија са својим дефинисаним електроенергетским системом, где се потрошачи снабдевају електричном енергијом већински из термоелектрана (70%), а остало доминантно из хидроелектрана. Ако би се локалне заједнице снабдевале из сопствених електрана ОИЕ и ако не би биле изоловани системи, у ЕЕС државе би били уведени нови ОИЕ и дошло би до одређеног растеређења електро енергетског система, зависно од величине инсталације у локалној заједници и последично до промене (смањења) укупних трошкова и емисија CO₂ у држави.

Дневни дијаграм оптерећења као циљна функција је дефинисан тако што су читаване реалне вредности у сваком сату производње електричне енергије сваке од 23 електране у Србији. Очитавање је спроведено у јануару 2020-е године. У току 24 сата је прочитано укупно 552 вредности за 23 енергетска објекта у Републици Србији²⁰. Истовремено су прочитане и емисије CO₂ у gr/kWh, као последица производње електричне енергије. Неке мање хидроелектране, као нпр. Власинске, именоване су као један ОИЕ, јер раде синхроно, што представља оправдано поједностављење дугог низа улазних података.

За сваки сценарио снабдевања су одређене оптималне производње свих енергетских извора у Србији, последичне емисије и укупна коштања производње електричне енергије у систему.

4.2. Објективне критеријумске функције

Ако сви постојећи извори енергије (електране) у једној земљи (термоелектране, хидро, електране на ветар, соларне, итд) имају одређену производњу обележену са:

$$X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_n \quad \dots(15)$$

и ако се коштања појединачних извора електричне енергије обележе са:

$$C_1, C_2, \dots, C_k, \dots, C_n \quad \dots(16)$$

²⁰ <https://www.electricitymap.org/map>, pregledano 04.01.2020. i 05.05.2021.

онда се функција везана за енергетску производњу може дефинисати као:

$$Y = \sum_{i=1}^n C_i * X_i \rightarrow \min \quad \dots(17)$$

где је:

- Y – укупно коштање енергетске производње,
- C – цена производње електричне енергије партикуларног енергетског објекта
- X – енергетска производња појединачног извора – електране (термоелектране, хидроелектране, соларне електране, ...) и
- n – укупан број енергетских извора

Прва објективна функција (укупна сума коштања енергетске производње) би се у оптимизационом МДГА моделу могла дефинисати као:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \min \quad \dots(18)$$

где важи да

$$\forall C_i \rightarrow \min \quad \dots(19)$$

Ако се доследно инкорпорирају принципи еколошког менаџмента, одрживог развоја и циркуларне економије, онда је јасно да друштвену заједницу не може да кошта само технологија производње. Оно што је још много значајније, јесте колико ће коштати заштита животне средине, угрожене од производње енергије, као и цена обезбеђења одрживости:

$$C_i = C_i(T, S, E) \quad \dots(20)$$

У овој формули се усваја да је:

- T – технолошка цена производње јединичног kWh електричне енергије;
- S – цена одрживости (подразумева коштање рециклирања свих елемената производног циклуса, са циљем смањења отпада, по могућству до „нултог отпада“), изражено по јединици производње електричне енергије;
- E – цена отлањања еколошких последица производње електричне енергије, изражено по јединици производње електричне енергије.

Свака електрана функционише у складу са сопственим техничким и другим условима, који се могу изразити формулом:

$$X_i \leq \varepsilon_i \quad \dots(21)$$

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i(K_i, Sustl_i, Envl_i) \quad \dots(22)$$

где је:

K_i – капацитет i -тог енергетског извора (електране);

$Envl_i$ – ограничења i -тог енергетског извора у складу са критеријума заштите животне средине тог партикуларног енергетског извора и

$Sustl_i$ – ограничења у смислу одрживости за одређени i -ти енергетски извор.

Позиције локалних заједница, у којима је могуће инсталирати електрану која користи ОИЕ, су различите у оквиру система. Растојања између њих и одређених енергетских извора се такође последично разликују, као и губици у мрежи на преносу електричне енергије од произвођача до потрошача. Циљ је свакако да се губици минимизирају. Губитке је могуће дефинисати као:

$$L = \sum_{i=1}^m k * d_{ij} = k * \sum_{i=1}^m d_{ij} \rightarrow \min \quad \dots(23)$$

где је:

L – укупан износ губитака електричне енергије у систему;

k – коефицијент губитака (изражен као губитак kW по км дужном мреже [kW/km] под претпоставком да су губици пропорционални удаљености од извора електричне енергије до корисника) и

d_{ij} – растојање између j -тог извора електричне енергије и i -тог корисника.

Укупни губици у електроенергетском систему дефинисани су као разлика између укупне производње и укупно дистрибуиране електричне енергије и, сходно томе, могу се прилично тачно проценити, тј. израчунати. Тако се коефицијент губитака може израчунати на следећи начин:

$$k = \frac{L}{\sum_{i=1}^m d_{ij}} \quad (24)$$

Остала ограничења у вези са капацитетом извора снабдевања електричном енергијом су:

$$K_i = \sum_{i=1}^n X_i(t) \leq \max(K_i) \quad (25)$$

Ово значи да један извор, као и сви извори, није у стању да производи енергију изнад својих капацитета.

Полазећи од претпоставке да је неопходна равнотежа у електроенергетском систему (потражња и производња, укључујући губитке електричне енергије, морају бити једнаке), ова једначина гласи:

$$\sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^m Z_i + L \quad (26)$$

где је m укупан број корисника, а са Z_i је обележен i -ти корисник.

Потражња (D) у овом контексту је збир количина електричне енергије дистрибуиране крајњим корисницима, и то је динамичка вредност која зависи од дневних и сезонских варијација. Ово се изражава као:

$$D(t) = \sum_{i=1}^m Z_i \quad (27)$$

То такође имплицира да се извори електричне енергије прилагођавају потражњи. Разлика у равнотежном стању електроенергетског система, узрокована неједнакошћу потражње, производње и временски зависних губитака, може се изразити на следећи начин:

$$\Delta(t) = D(t) + L(t) - \sum_{i=1}^n X_i(t) \quad (28)$$

Вредност $\Delta(t)$ узрокује смањење квалитета дистрибуиране електричне енергије и мора се надокнадити, или повећањем производње електричне енергије, или увозом електричне енергије.

У претходној формули, новоуведене ознаке су:

t – сат у дану i
 $\sum_{i=1}^n X_i(t)$ – збир произведене електричне енергије у току сата t .

Претпостављају се даља ограничења у моделу:

$$X_i \in (0.20 * X_i^{max}, X_i^{max}) \quad (29)$$

$$\Delta \rightarrow \min (\Delta \leq 5\%) \quad (30)$$

што значи да су извори искоришћени између 20% и 100% свог максималног капацитета. У случају неравнотеже у електроенергетском систему, она не сме бити већа од 5% по сваком сату у дану. Да би се смањило хабање опреме и обезбедио несметан рад сваког постројења, уведено је додатно ограничење за “кажњавање” решења са великим променама у производњи. Оптимални инсталирани капацитет за локалну заједницу је тражен кроз четири различита сценарија инсталисаног капацитета. Прва објективна функција се модификује на следећи начин и постаје прва циљна функција:

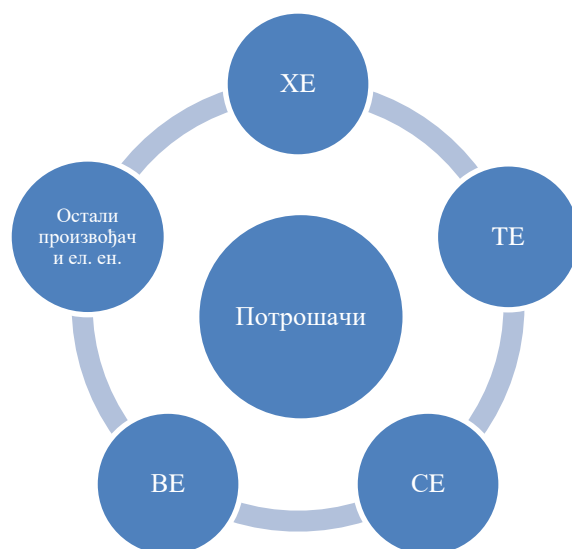
$$Y(t) = \sum_{i=1}^n C_i * X_i(t) \rightarrow \min \quad (31)$$

Друга функција циља изражава намеру да се минимизира емисија ГСБ, односно еквивалентног CO₂:

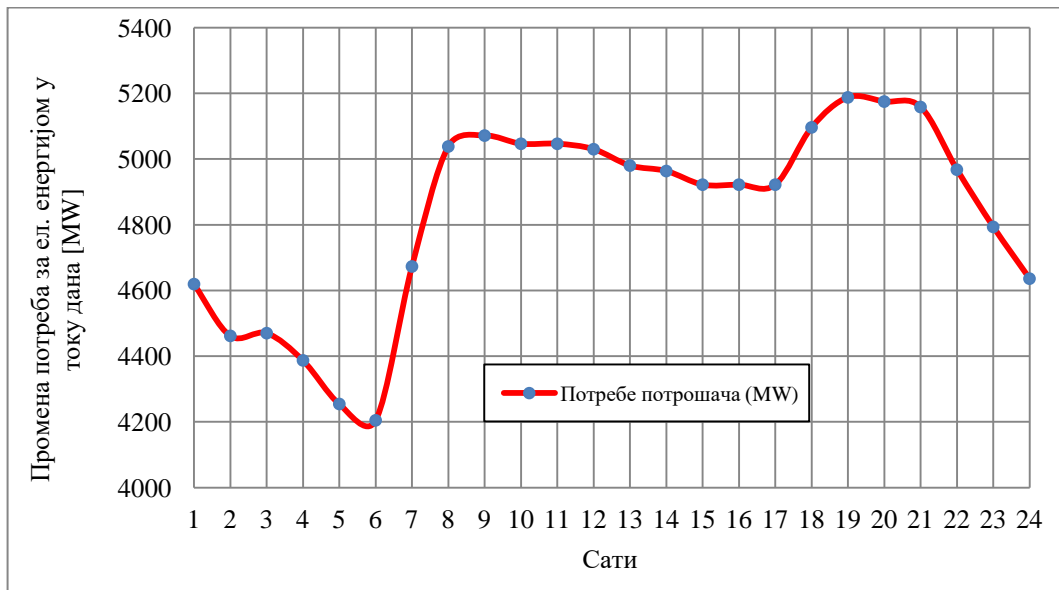
$$EM = \sum_{i=1}^n EM_i \rightarrow \min \quad (32)$$

при чему EM означава укупне емисије електроенергетског система, из свих енергетских извора у једном дану.

Шематски приказ електро енергетског система Србије је приказан на слици 17. Потрошачи чине конзум, чије се потребе покривају према дневном дијаграму оптерећења, слика 18, ангажовањем термоелектрана (ТЕ), хидроелектрана (ХЕ), соларних (СЕ), ветроелектрана (ВЕ) и осталих малих произвођача.



Слика 17. Шематски приказ модела електроенергетског система у Републици Србији: електране и конзум



Слика 18. Дневни дијаграм оптерећења за Републику Србију

$$Y(H) = \sum_{i=1}^n C_i * X_i \rightarrow \min \quad \dots(33)$$

где је H - час у току дана

Варијације у производњи електричне енергије:

$$X_i \in (X_{0i} \pm \Delta X_i) \quad \dots(34)$$

Варијације у ценама производње енергије:

$$C_i \in (C_{0i} \pm \Delta C_i) \quad \dots(35)$$

Дестинације локалних заједница су:

$$Z_1, Z_2, \dots, Z_m; m \gg n \quad (36)$$

Модел МДГА је формиран тако што је, уз горе наведене објективне функције и дефинисане услове и ограничења инкорпориране у софтвер *GANetXL* (Peirovi et al., 2020), симулиран рад ЕЕС система Републике Србије, са и без уведеног новог ОИЕ, у степену 0MW, 60MW, 300MW и 600MW. Наведени софтвер је развијен на Универзитету Exitер и најчешће кориштен код оптимизација водоводних и водопривредних система. Овде је надограђен и адаптиран за употребу код решавања проблема интеграције обновљивих извора енергије у електро енергетском систему.

Коришћење овог софтвера на нови начин је било могуће јер он заправо представља примену еволуционих мултидимензионалних генетских алгоритама, који омогућавају претрагу оптималних решења и изналажење парето фронта у варијантама када постоји велики број улазних података, што овде јесте случај.

4.3. Провера теоријских поставки

Методологија се заснива на различитим развијеним сценаријима увођења електране ОИЕ у локалну заједницу и у цели електроенергетски систем једне земље. Симулација рада система се врши за четири могућа степена инсталације електрана ОИЕ: 0MW, 60MW, 300MW и 600MW. Сви прорачуни се изводе за систем са и без солоарне електране у локалној заједници, а затим се ради компарација. Циљ је био да се процене разлике у ефектима увођења електране ОИЕ у систем, кроз утицај на коштање производње и емисије гасова саклене баште.

Рад система се симулира на бази реалних произвођача енергије у Србији, са њиховим учешћем од минималне до максималне могуће производње електричне енергије и ограничења која проистичу из сваке технологије појединачно.

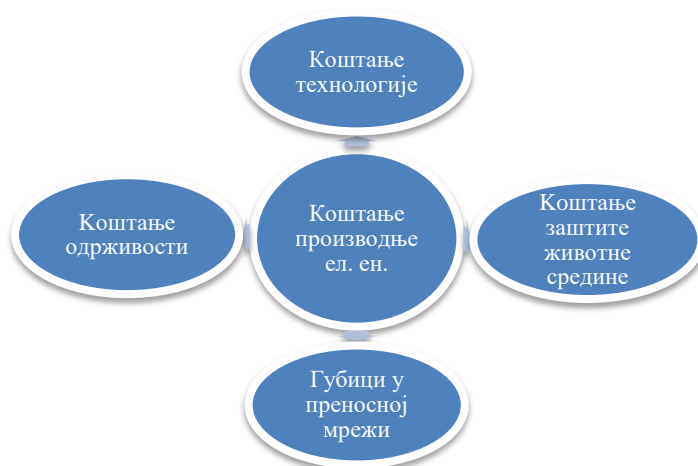
Задати циљ у производњи био је да се достигне дефинисана 24-орочасовна променљива, захтевана потрошња, укључујући и губитке у мрежи због транспорта енергије кроз далеководну мрежу. 24 величине са 24-орочасовног дневног дијаграма оптерећења, најхладнијег зимског дана јануара 2020-е, су изабране да представљају циљане захтеве потрошње. Функција производње прати (покрива) све облике шпигеца дневног дијаграма оптерећења, који су у овом периоду посебно изражени. Временска база је 2020. година.

4.4. Четири сценарија интеграције ОИЕ

Провера теоријских поставки развијеног модела МДГА је урађена кроз нумерички експеримент оптимизације рада електроенергетског система за 4 сценарија различитог степена укључења ОИЕ у реалан ЕЕС. Еволуциони мултидимензионални генетски алгоритми се користе као математичко информациона подлога за формирање модела, који може да послужи као подршка доносиоцима одлука. Улазни подаци су дефинисани и организовани у *Excel*-у који омогућава једноставан приступ еволуционим алгоритмима мултидимензионалне циљне оптимизације. Додатни алгоритми су развијени са циљем графичког

корисничког интерфејса који омогућава лакшу визуелизацију огромног броја резултата и боље разумевање и проверу апликације за подршку одлучивању.

Оптимални рад 23 или 24 различите електране у одабраном електроенергетском систему утврђен је еволуционим вишедимензионим генетским алгоритмима, уводећи две функције циља и одговарајућа, напред наведена ограничења. Циљ је био да се максимизира производња до нивоа потражње, да се минимизира емисија CO₂ и минимизирају трошкови производње енергије. Трошкови производње електричне енергије разматрани су према принципима циркуларне економије. Они су израчунати као збир трошкова технологије, трошкова заштите животне средине и трошкова одрживости, с обзиром да је инкорпориран принцип кружног коришћења ресурса. Укључени су и губици у мрежи, као што је шематски приказано на слици 19.



Слика 19. Холистички приступ оптимизацијама коштања производње електричне енергије

Било која соларна електрана може бити изграђена, уведена у систем напајања земље, под условом да постоји одговарајућа количина хидроенергије ускладиштене у резервоарима, који се зато називају и зелени акумулатори (Stevović et al., 2021). Овај захтев је у Републици Србији испуњен и додатно је мотивисао избор ове локације и овог обновљивог ресурса као студије случаја за истраживање.

Цена производње електричне енергије по сату формирана је уз претпоставку следећих вредности из студије случаја електроенергетског система Републике Србије^{21,22}:

²¹ <https://ourworldindata.org/>, pregledano 05.07.2021.

- За хидроелектране (ХЕ) трошкови технологије износе 0,014 €/kWh, трошкови заштите животне средине 0,01 €/kWh и трошкови одрживости 0,007 €/kWh;
- За термоелектране трошкови технологије су 0,044 €/kWh, еколошки трошкови 0,015 €/kWh и трошкови одрживости 0,020 €/kWh;
- За комбиноване топлане и електране (ТЕТО), трошкови технологије су 0,12 €/ kWh, еколошки трошкови су 0,015 €/kWh и трошкови одрживости 0,020 €/kWh и
- За соларне електране трошкови технологије су 0,066 €/kWh, еколошки трошкови 0,001 €/kWh и трошкови одрживости 0,001 €/kWh.

Емисије CO₂ са којима се ушло у прорачун су следеће: из ХЕ су 24gr/kWh, из ТЕ 820gr/kWh, из ТЕТО 490gr/kWh, а из СЕ 30gr/kWh.

4.4.1. Резултати предложеног модела МДГА

Главни циљ истраживања представљен у овом поглављу био је да се истражи утицај интеграције ОИЕ на целокупан систем снабдевања енергијом државе, на коштање производње и емисије гасова стаклене баште. Теоретске хипотезе су тестиране и доказане у студији случаја. Оптималан рад 23 различите групе електрана у одабраном електроенергетском систему одређен је путем еволуционих мултидимензионалних генетских алгоритама, уз дефиницију две објективне функције и припадајућа ограничења.

Циљ је био да се максимизира производња до нивоа потражње, да се минимизира емисија гасова стаклене баште и да се истовремено минимизирају трошкови производње енергије. Оптимална инсталација електране ОИЕ вршена је у три различите варијанте степена инсталације: 60MW, 300MW и 600MW. Због поређења су израчунати и резултати варијанте када локална заједница функционише без сопствене електране ОИЕ, тако да је укупно развијено 4 сценарија.

Резултати модела мултидимензионалних генетских алгоритама показују логичне промене (опадања) у укупним емисијама CO₂, као и у укупним коштањима, тј. трошковима рада целог система на дневном нивоу, Табела 7.

²² <http://www.eps.rs/lat/Poslovanje-EE>

Табела 7. Укупне емисије CO₂ и укупна коштања производње електричне енергије ЕЕ система Србије у једном дану

Електране у ЕЕ систему Србије	Укупне емисије CO ₂ t	Укупна коштања €
23 постојеће електране	55369	5816619
23 + 60MW солар	54269	5816221
23 + 300MW солар	51397	5733113
23 + 600MW солар	51674	5636307

Емисије CO₂ и укупна коштањарада ЕЕС су добијени по критеријуму задовољења конзума, према дневном дијаграму оптерећења са слике 18. Еволуциони вишециљни генетски алгоритми су употребљени као генератор система за подршку одлучивању. Додатни алгоритми су такође развијени у сврху графичког корисничког интерфејса који омогућава лаку визуелизацију огромног броја резултата и боље разумевање и проверу апликација за подршку одлучивању.

Прорачуни су спроведени за различит број генерација како би се пронашло оптимално решење у процесу коришћења софтвера. Прво решење је формирано насумично, а у оквиру скупа граничених вредности $X_i \in (0.20 * X_i^{max}, X_i^{max})$.

20 доминантних резултата трошкова и емисија за четири сценарија приказано је у табели 8. Чињеница да су сви слични или исти у оквиру једног сценарија, упућује на закључак да је прорачун ушао у стабилну зону унутар 50.000 генерација. Такав резултат се може сматрати стабилним и коначним.

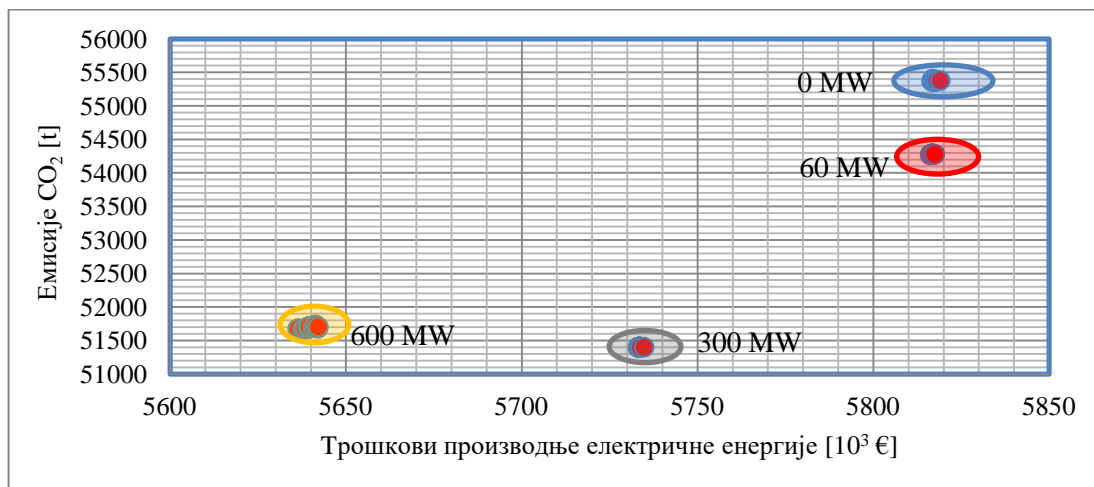
Подаци из табеле 8 су графички приказани у координатном систему на слици 20, где су на апсциси приказани трошкови, а на ординати емисије CO₂. Трошкови су изражени у хиљадама €, а емисије у тонама, да би се постигла размера координатног система у којој су видљиви сви појављени резултати из 4 сценарија и 50000 генерација. Резултати показују да је најгори сценарио када у електроенергетском систему нема СЕ. Ту се појављују највеће емисије и највећи трошкови производње електричне енергије.

Оптимални сценарио се постиже између инсталисаног капацитета СЕ од 300MW и 600MW. Најмање емисије се постижу са инсталисаним капацитетом од 300MW и слично ниски са инсталисаним капацитетом од 600MW. Најнижи трошкови су у сценарију са инсталисаним

капацитетом од 600MW. Будући да разлика у емисијама није значајна, додатне анализе резултата су дате у даљем тексту, ради појашњења.

Табела 8. Доминантни резултати трошкова и емисија за четири сценарија истраживања, (Stevović et al., 2021)

0MW CE		60MW CE		300MW CE		600MW CE	
Коштање [€]	Емисија CO ₂ [t]	Коштање [€]	Емисија CO ₂ [t]	Коштање [€]	Емисија CO ₂ [t]	Коштање [€]	Емисија CO ₂ [t]
5816619	55369	5816221	54269	5733113	51397	5636307	51674
5816827	55372	5816326	54280	5733237	51395	5636520	51676
5816895	55398	5816437	54274	5733239	51398	5637692	51664
5816933	55377	5816586	54281	5733350	51399	5637892	51668
5817165	55376	5816674	54281	5733353	51403	5638394	51671
5817301	55361	5816685	54281	5733433	51400	5639206	51677
5817330	55378	5816710	54276	5733472	51399	5639277	51704
5817394	55379	5816732	54278	5733492	51402	5639289	51704
5817466	55381	5816776	54279	5733528	51401	5639443	51686
5817485	55362	5816779	54281	5733529	51400	5639660	51710
5817526	55381	5816907	54282	5733555	51400	5640719	51692
5817657	55362	5816916	54280	5733563	51405	5640887	51694
5817699	55381	5816934	54281	5733578	51403	5641004	51701
5817740	55383	5817003	54281	5733589	51401	5641051	51703
5817775	55385	5817077	54280	5733606	51399	5641103	51699
5817970	55369	5817093	54281	5733608	51400	5641216	51732
5817976	55382	5817117	54278	5733632	51400	5641244	51701
5818036	55382	5817334	54278	5733638	51399	5641601	51728
5818200	55384	5817345	54279	5733792	51398	5642087	51682
5819099	55378	5817553	54279	5734868	51400	5642213	51704



Слика 20. Четири сценарија односа трошкова и емисија са различитим инсталираним капацитетима СЕ: 0 MW, 60 MW, 300 MW и 600 MW, (Stevović et al., 2021)

Овај дијаграм показује да се оптимална инсталисана снага СЕ тражи између 300MW и 600MW, у садашњем стању електроенергетског система и нивоу потрошње. Истовремено се може закључити да нумерички и графички резултати показују негативну корелацију између емисија гасова са ефектом стаклене баште и степена интеграције соларних електрана, чиме је доказана помоћна хипотеза X2.1.

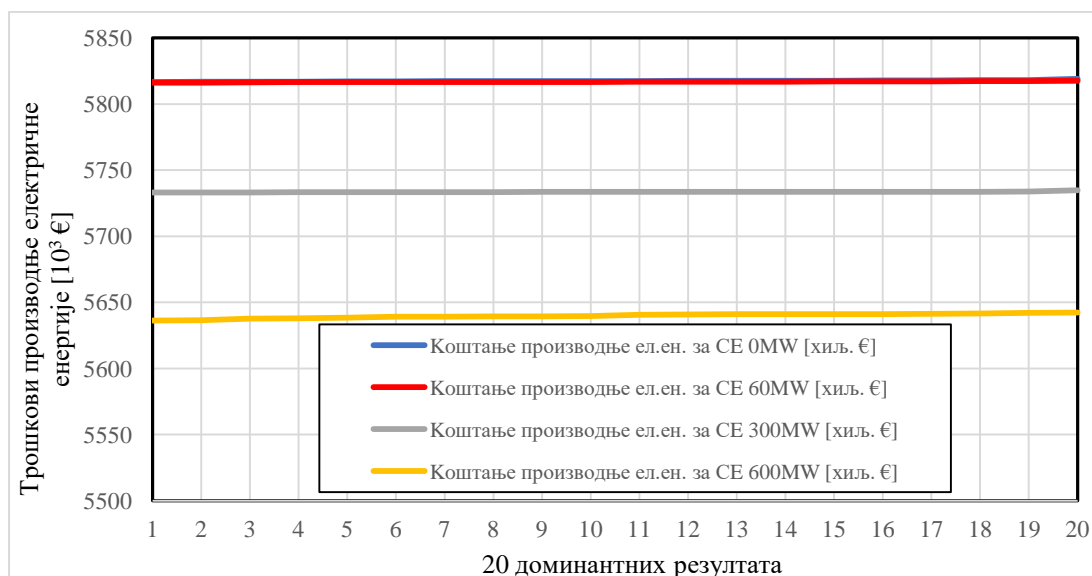
На дијаграму приказаном на слици 20 се уочава и да се увођењем нових соларних капацитета смањују и укупни трошкови система и укупне емисије CO_2 . Дакле, увођењем додатних соларних капацитета у електроенергетски систем остварују се користи кроз смањење укупних трошкова ЕЕС и кроз смањење емисије ГСБ из целог ЕЕС, чиме је доказана помоћна хипотеза X2.2.

Принципи еколошког менаџмента и одрживог развоја су инкорпорирани у овај модел на два начина: кроз сам концепт и поставку модела, а и нумерички, кроз укључење величина E и S у прорачуне. E је коштање директне заштите животне средине, које је потребно да се спроведе да би се произвео 1kWh електричне енергије, а S је коштање потребно да би се након производње 1kWh електричне енергије обезбедио одрживи развој, укључује трошкове рециклаже и поновне употребе до свођења животне средине на нулто стање.

Када се анализира дијаграм на слици 20, уочава се да се појављује пораст коштања рада ЕЕС, после одређеног степена укључења СЕ. Резултати интеграције СЕ у ЕЕС су приказани кроз 20 доминантних

решења из скупа укупног броја доминантних решења, за сва четири сценарија. Ако се анализира како се мења укупан број доминантних решења, уочава се да се при увођењу већих инсталисаних капацитета, смањује укупан број у скупу доминантних решења. То указује да се улази у зону када веће инсталације СЕ узрокују поремећаје у раду ЕЕС, јер систем нпр. нема довољно капацитета акумулационих хидроелектрана, или друге ротирајуће резерве, да би покрио дневни дијаграм оптерећења, према задатим критеријумима. Дакле, моделом МДГА се могу препознати ограничења степена интеграције соларних капацитета, до којих се у реалном електро енергетском систему смањују и трошкови производње и емисије, чиме је доказана помоћна хипотеза Х2.3.

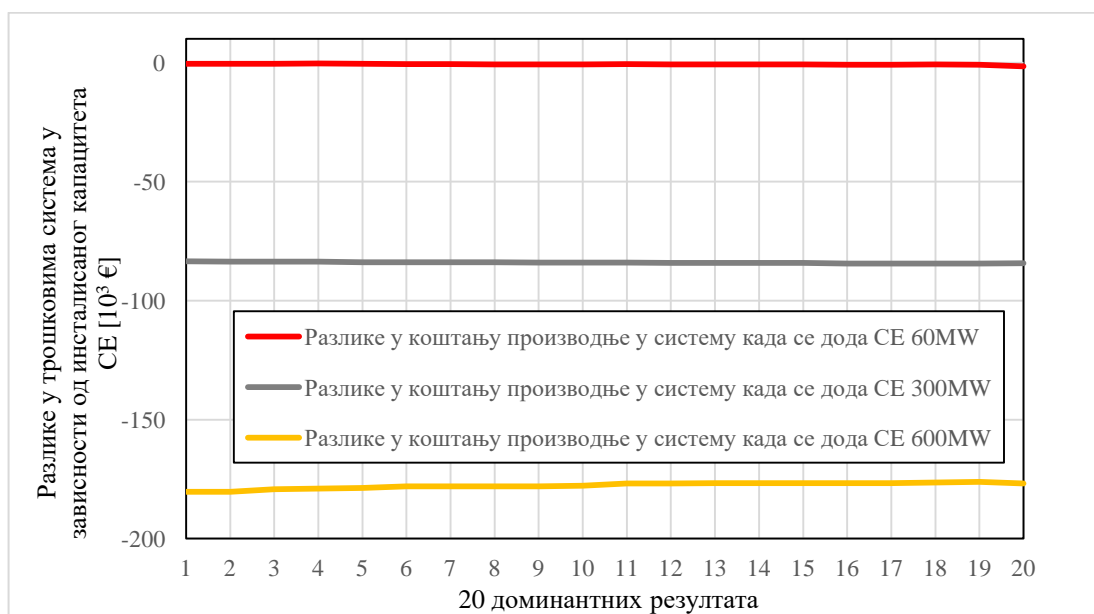
На следећим сликама 21, 22, 23, 24, 25 и 26 приказано је 20 доминантних резултата трошкова и емисија система за различите инсталисане капацитете СЕ, за сваки појединачни сценарио СЕ - 0MW, 60MW, 300 MW и 600 MW интегрисаних у систем.



Слика 21. Укупни трошкови производње електричне енергије електроенергетског система при интеграцији СЕ: 0MW, 60MW, 300MW и 600MW

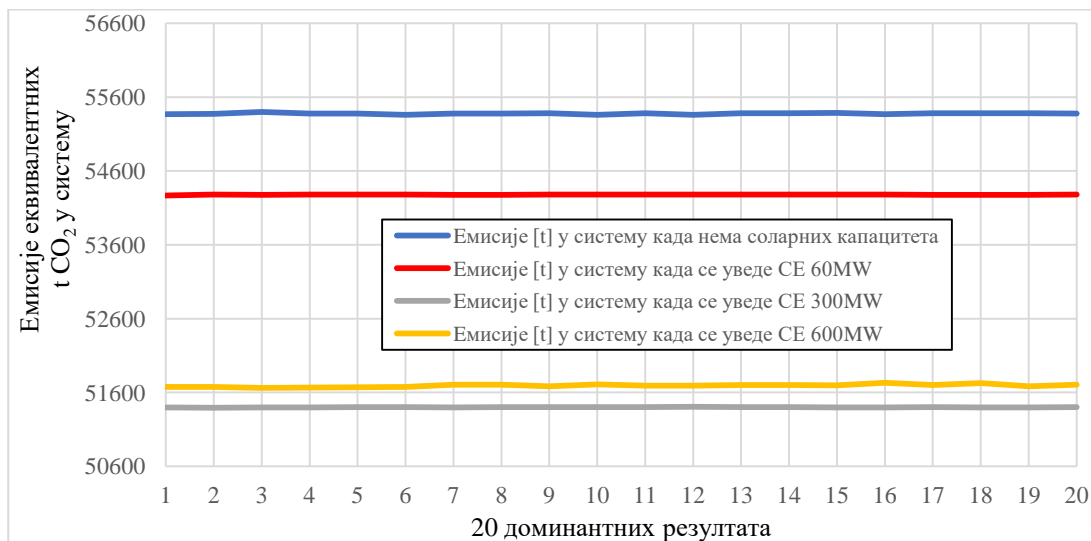
Дијаграм на слици 21 приказује укупне трошкове (изражене у хиљадама евра) производње електричне енергије за цео електроенергетски систем. Представљено је 20 доминантних резултата. Резултати показују да се најнижи трошкови производње електричне енергије постижу интеграцијом СЕ од 600MW. Трошкови производње електричне енергије су скоро исти у сценаријима 1 и 2. Линије у овој размери се скоро преклапају. То је зато што 60 MW није довољно

велики степен интеграције, да би истиснуо неки агрегат, тј. капацитет из термоелектрана. Резултати су добијени еволуционим вишедимензионим генетским алгоритмима, оптимизованим у оквиру 50.000 генерација. Чињеница да је линија скоро равна значи да је после 50.000 генерација (50.000 могућих комбинација решења) достигнут ниво оптималног решења. Стабилност резултата је потврђена. Ова дискусија се односи на све резултате на сликама од 21 до 26.



Слика 22. Разлике у трошковима производње електричне енергије у зависности од интегрисаног капацитета СЕ у поређењу са сценаријем 1 (0MW)

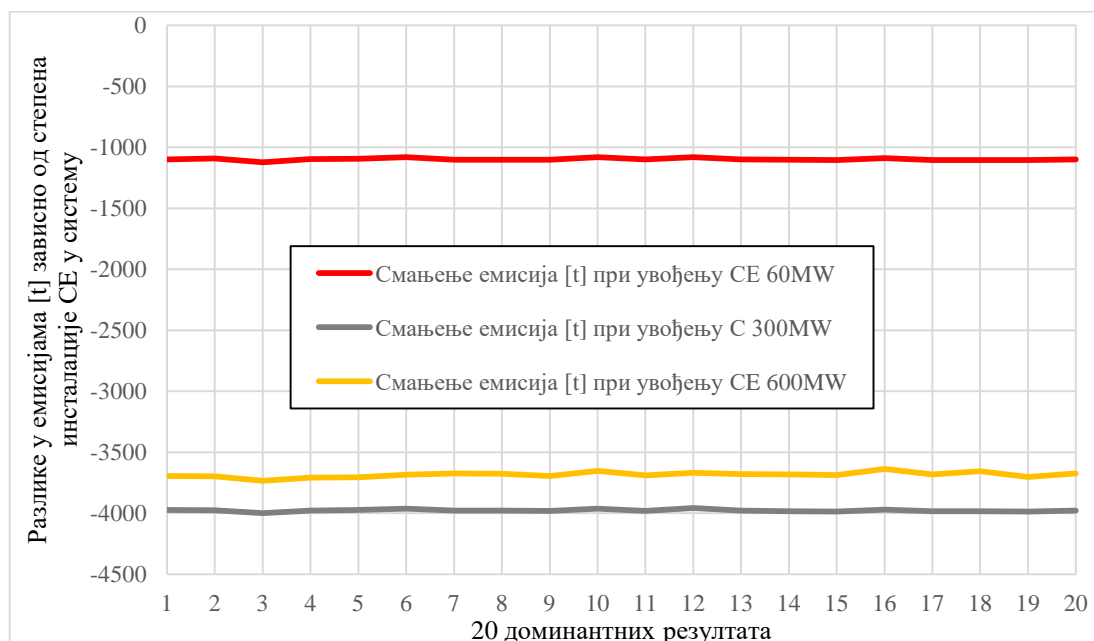
Дијаграм на слици 22 показује да су разлике у укупним трошковима производње електричне енергије, највеће у сценарију када је интегрисана СЕ од 600 MW, што је сасвим логично. Оне су веће него код СЕ од 300 MW, а ове су веће него код инсталације СЕ од 60 MW. То значи да је модел добро развијен и тариран, јер резултати на адекватан начин осликавају стварно стање у електроенергетском систему.



Слика 23. Укупне емисије CO₂ (еквивалентних тона) у ЕЕС за СЕ од 0MW, 60MW, 300 MW и 600 MW

Слика 23 показује да су емисије из електроенергетског система сличне за 600MW инсталације СЕ и за 300MW инсталације СЕ. То значи да се повећаним увођењем СЕ са 300MW на 600MW замењује део енергане - топлане. Производња по kWh у енергани - топлани је много скупља него у ТЕ, па се укупни трошкови система значајно смањују увођењем СЕ од 600MW у односу на укупне трошкове када се уведе СЕ од 300MW.

Што се тиче емисија, када новоуведена СЕ од 600MW замени део енергане - топлане, смањење емисије неће бити толико значајно као када СЕ замени блок у термоелектрани. Због тога слике 20, 21 и 22 показују да су трошкови значајно смањени увођењем СЕ од 600 MW, а слике 20, 23 и 24 показују да укупне емисије из система благо расту са увођењем СЕ од 600 MW у електроенергетски систем. Јединичне емисије из енергане - топлане су 490gr/kWh. Јединичне емисије из термоелектране без производње топлоте су 820gr/kWh.



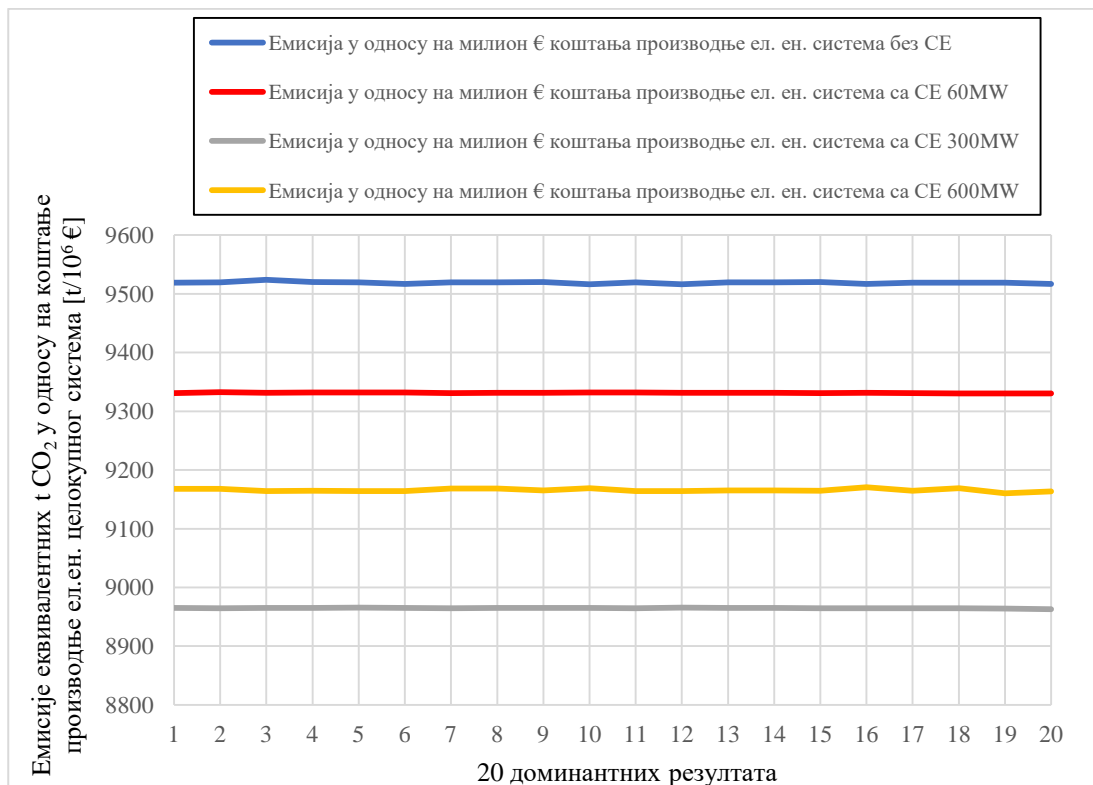
Слика 24. Разлике у емисијама CO₂ за сваки сценарио у поређењу са 0 MW СЕ

Резултати на слици 24 представљају разлике у емисијама између сваког од сценарија и сценарија 1, када нема СЕ интегрисане у систем. У дискусији, доносиоцу одлука може се саветовати да тражи решење између 300MW и 600MW, у зависности од његових финансијских могућности и циљева.

Ови резултати су у складу са резултатима на слици 23. То значи да се увођењем већих инсталираних капацитета СЕ у електроенергетски систем задире у зону услова и ограничења у реалном електроенергетском систему. Комбинована енергана – топлана, тј. термоелектрана топлана, скраћено ТЕТО (на енглеском *The combined heat and power plant* – ТЕТО) снабдева топлом водом за грејање станова град Нови Сад. Овај захтев се не може занемарити. Очигледно је да развијени МДГА модел на прави начин одражава стварност. Стварност јесте да се соларни капацитети не могу уводити у ЕЕС једне земље, без адекватне пратеће ротирајуће резерве.

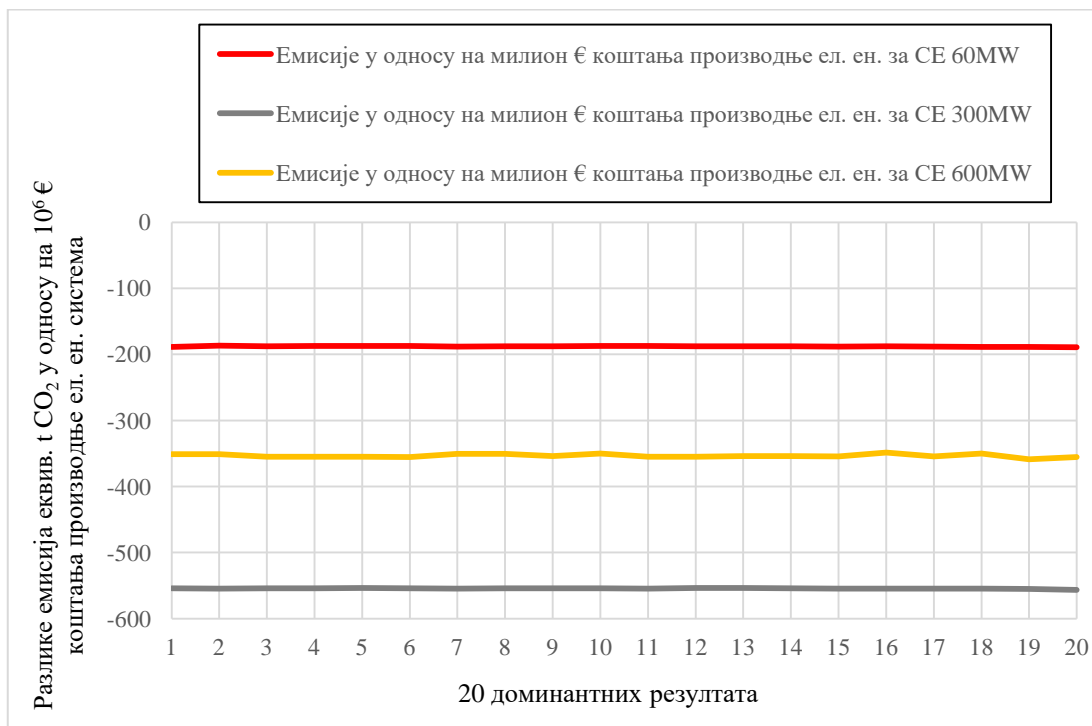
Из претходно добијених резултата, приказаних табеларно и графички, може се закључити да развијени модел МДГА реално и логично осликава познате међузависности у ЕЕС. Дакле модел МДГА може да се прилагоди реалним критеријумима еколошког менаџмента, одрживог развоја и циркуларне економије у реалном окружењу, чиме је доказана помоћна хипотеза Х2.4.

Сумирани резултати емисија изражених у еквивалентним тонама CO₂ по производним трошковима од 10⁶ € [t/10⁶ €] за сва 4 сценарија дати су графички на слици 25.



Слика 25. Сумирани резултати за емисије CO₂ по производним трошковима од 10⁶ (t/10⁶€) за сва 4 сценарија инсталације СЕ

Резултати на слици 25 су емисије изражене у тонама CO₂ по милион евра трошкова производње електроенергетског система [t/10⁶€]. У овом случају, као и у свим другим случајевима, термин „трошкови“ обухвата све трошкове: технологију, трошкове животне средине и трошкове одрживости, као и трошкове настале услед губитака у дистрибутивној мрежи.



Слика 26. Разлике у емисијама CO₂ по производним трошковима од 10⁶ € за сваки сценарио у поређењу са 0 MW CE

Слика 26 показује да су емисије мање када су инсталирани капацитети CE већи, али само до одређеног нивоа. То значи да је систем најближи одрживом сету са инсталисаним капацитетом CE између 300MW и 600MW. Сличан циљ је разматран у литератури (Parvizimosaed et al., 2014), али они нису обухватили све трошкове и све услове и захтеве из реалног система, као што је овде случај.

Исти закључак се може применити на цео систем, или на обновљиву микро-мрежу МГ (MG - microgrid) (Parvizimosaed et al., 2014), ако се разматра локална заједница са инсталисаном CE као децентрализованом енергетском опцијом.

4.4.2. Анализа осетљивости

Анализа осетљивости се врши у циљу провере стабилности резултата и валидности модела развијеног генетског алгоритма. Број популација је повећаван са 20 на 50 за сценарије од 300MW и 600MW. Број пролаза (итерација) је такође повећаван на 10, у сва четири сценарија. Сваки резултат из претходног пролаза (претходне итерације) коришћен је као улаз за следећу. Сви резултати су показали стабилност и потврдили да се са 50.000 генерација и 20 популација ушло у зону непроменљивих, стабилних резултата.

Истовремено, поређење резултата добијених на моделу развијеном у овом истраживању са реалном производњом реалног електроенергетског система одабраног за студију случаја, показује да је модел добро развијен и подешен. Овиме је потврђена и шира применљивост постојећег софтвера.

4.4.3. Анализа корелације између доминантних резултата

Читав прорачун у овом поглављу односи се на анализе 4 скупа доминантних резултата у различитим сценаријима. Дакле, да би добијени резултати били још јаснији, успостављена је корелација резултата у сваком појединачном сценарију. Циљ је био да се процени да ли постоји корелација и, ако постоји, каква је корелација између резултата.

Циљ је био да се доносиоцу одлука пружи информација да ли може да усвоји (изабере) произвољно решење између 20 популација, или да изабере одређено решење, приликом израде оптималног плана. Уколико је корелација позитивна, односно обе вредности показују тренд пораста, онда би се бирало решење са нижим трошковима, јер би тада и емисије биле мање. У супротном, ако је корелација негативна било би потребно бирати између решења са нижим трошковима, или оног са нижим емисијама.

Израчунава се Пирсонов коефицијент корелације између два скупа података. Два скупа су емисије и трошкови за СЕ од 0 MW, 60 MW, 300 MW и 600 MW (означени као сценарио 1, 2, 3 и 4). Израчунава се према формули (37). Нумеричке вредности су дате у табели 10. Сви коефицијенти корелације су везани за доминантне резултате сваког сценарија из студије случаја електроенергетског система Републике Србије. Сходно томе, корелација између трошкова и емисија могла би се изразити на следеси начин:

$$r_{C,EM} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})(EM_i - \bar{EM})}{\sigma_C \sigma_{EM}} \quad (37)$$

при чему је:

- $r_{C,EM}$ – Пирсонов коефицијент корелације између два скупа података (C, EM);
- \bar{C}, \bar{EM} – просек података који припадају скуповима C и EM респективно;
- n – број података у сваком скупу доминантних резултата и

σ_C, σ_{EM} – стандардне девијације података који припадају скуповима C и EM респективно.

$n=20$ (20 доминантних резултата).

Табела 10. Пирсонов коефицијент корелације између емисија и трошкова

CE [MW]	$r_{C,EM}$
0	0.118
60	0.373
300	0.169
600	0.672

Коефицијент корелације између емисија и трошкова за инсталисану снагу од 600MW је значајан. То значи да скуп од 20 доминантних резултата за сценарио са укључивањем 600MW CE има позитивну корелацију између трошкова производње и емисије ГСБ. Доносилац одлуке, уколико се определи за сценарио 4, треба да изабере решење са најнижим трошковима, јер би и у том случају емисије биле најниже.

4.4.4. Регресија у скупу доминантних резултата МДГА модела

Прорачуни изведени у овом поглављу односе се на анализе 4 скупа доминантних резултата у различитим сценаријима. Анализе линеарне регресије су урађене због питања да ли је број података у узорку доминантних резултата (20 популација) довољан да обезбеди поуздану вредност коефицијента корелације.

Линеарна регресија даје коефицијенте корелације између трошкова и емисија, тако да се зависност емисија од трошкова може поузданије утврдити. Дискусија о доношењу одлука је слична оној за коефицијент корелације: ако коефицијент корелације није значајан, одлука се може донети произвољним одабиром одређеног решења из скупа од 20 доминантних резултата; у супротном, одлука се доноси у зависности од нагиба праве линије на графикону. Ако је нагиб позитиван (емисије расту са растом трошкова), бира се решење са нижим трошковима; у супротном, мора се одлучити да ли изабрати решење са нижим емисијама, или оно са нижим трошковима.

Урађена је компарација повећања трошкова производње [10^3 €] у растућој серији (апсциса) и анализирани су прираштаји емисија на ординати изражени у [t]. Повећања се добијају на следећи начин (за трошкове и емисије респективно):

$$\delta C_i = C_i - C_1 \quad (38)$$

$$\delta EM_i = EM_i - EM_1 \quad (39)$$

где је:

δ – прирастај;

C_i – i -ти резултат за трошкове електроенергетског система;

EM_i – i -ти резултат за емисије из електроенергетског система.

Пошто постоји 20 доминантних резултата, вредност i се узима из скупа:

$$i \in (1, 20) \quad (40)$$

Линеарна регресија се примењује у облику:

$$Y_i = aX_i + b \quad (41)$$

а након замене следи да је:

$$\delta EM_i = a\delta C_i + b, i = 1, n (n = 20) \quad (42)$$

Метода најмањих квадрата се примењује за одређивање коефицијената a и b праве линије која указује на тренд, тј. зависност емисије од повећања трошкова производње. Линеарном регресијом се заправо тестира у овом поглављу нулта хипотеза (номенклатура ових хипотеза се односи само на ово поглавље):

Хо: коефицијент нагиба линије регресије једнак је нули ($a = 0$) за разлику од алтернативне хипотезе;

Ха: коефицијент нагиба линије регресије је различит од нуле ($a \neq 0$).

Коефицијент b је константа и ирелевантан је за ову анализу. Резултати показују трендове у доминантним сетовима решења за различите инсталисане капацитете соларних панела, односно посебно за сваки сценарио, табела 10. Применом формуле (42) добијају се прираштаји емисија за сценарио када у систему нема 60MW, 300MW или 600MW СЕ, респективно:

$$\delta EM_i^0 = 1.8945 * \delta C_i + 4.0765 \quad (43)$$

$$\delta EM_i^{60} = 3.2868 * \delta C_i + 7.5527 \quad (44)$$

$$\delta EM_i^{300} = 0.9999 * \delta C_i + 2.5899 \quad (45)$$

$$\delta EM_i^{600} = 7.1536 * \delta C_i - 5.5860 \quad (46)$$

Линеарна регресија указује да тренд није значајан на скупу доминантних решења када је инсталирани капацитет СЕ 0MW, 60MW и 300MW, јер коефицијент a није значајан на скупу решења. Вредности коефицијената и њихове средње грешке су приказане у табели 11. За одређивање тренда довољно је одредити коефицијент a који указује на нагиб линије тренда.

Табела 11. Средње грешке и Студентова статистика за четири сценарија интеграције СЕ

	0MW			60MW			300MW			600MW		
	Коefic.	m	θ	Коefic.	m	θ	Коefic.	m	θ	Коefic.	m	θ
a	1.895408	3.758803	0.504258	3.2867	1.9275	1.7052	0.9999	1.3766	0.72630	7.1536	1.8593	3.8476
b	6.061847	4.076576	1.486995	7.5527	1.3880	5.4413	2.5899	0.7720	3.35467	-5.5860	7.3067	-0.7645

$$\theta = \frac{a}{m_a} \sim \theta_{f,1-\alpha} = \theta_{18,0.95} = 2.1009 \quad (47)$$

$$\theta = 0.504258 < \theta_{18,0.95} = 2.1009 \Rightarrow H_0 \quad (48)$$

$$\theta = 1.7052 < \theta_{18,0.95} = 2.1009 \Rightarrow H_0 \quad (49)$$

$$\theta = 0.7263 < \theta_{18,0.95} = 2.1009 \Rightarrow H_0 \quad (50)$$

$$\theta = 3.8476 > \theta_{18,0.95} = 2.1009 \Rightarrow H_a \quad (51)$$

$$f = n - 2 = 20 - 2 = 18 \quad (34)$$

$$\alpha = 0.05 \quad (52)$$

где је:

- θ – Студентова статистика;
- a – коефицијент;
- b – коефицијент;
- $m(a,b)$ – средња грешка за утврђене коефицијенте a и b респективно;

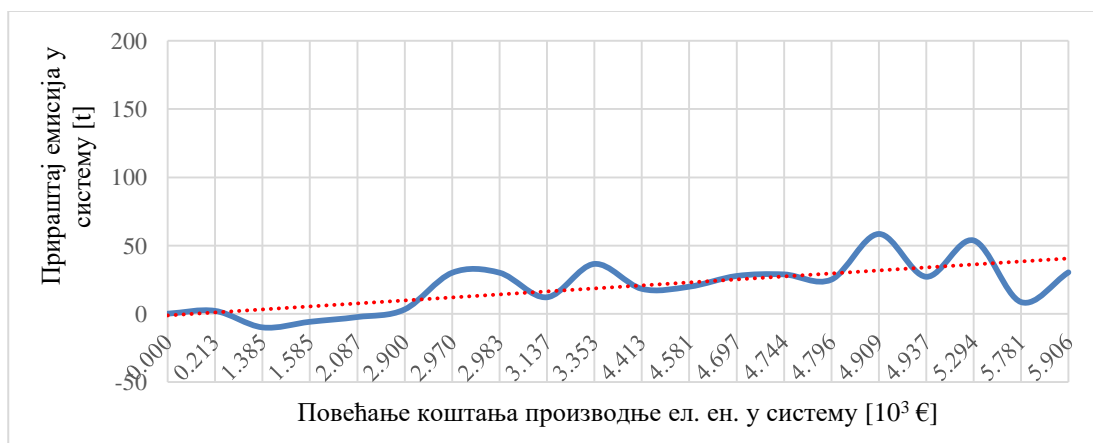
f – степени слободе;
 α – ниво значајности појаве.

За вредности θ статистике на које се примењује да је $\theta \leq \theta_{18,0.95} = 2.1009$, усвојено је да је вредност коефицијента $a=0$ са нивоом значајности 0.05, односно са вероватносом од 95%. Број непознатих параметара у регресији је два, а број једначина 20. То значи да се са бројем степени слободе од 18 и са 95% вероватноће, односно са нивоом значајности $\alpha = 0.05$, може усвојити да је вредност коефицијента једнака нули, за случај када је тест статистика θ испод 2,1009. У супротном, нулта хипотеза из овог поглавља се одбацује и усваја се хипотеза да је коефицијент различит од нуле.

За доносиоца одлука у систему без инсталисаних соларних панела, то значи да може изабрати једно од доминантних решења које сматра одговарајућим у том тренутку. Доносиоци одлука могу да изаберу решење са нижим емисијама, или решење са нижим трошковима производње електричне енергије. Иста препорука доносиоцима одлука може се саветовати за сценарије са 60MW и 300MW.

Имајући у виду да је коефицијент $a=7.1536>0$ за инсталацију од 600 MW СЕ, усваја се хипотеза H_a , јер је $\theta = 3.8476 > \theta_{18,0.95} = 2.1009$. Доносиоцу одлука у систему, може се саветовати да изабре једно од доминантних решења, јер ће се емисије ГСБ ионако смањити са смањеним трошковима производње електричне енергије.

Значај коефицијента a указује на корелацију између емисија и трошкова производње када се инсталира СЕ од 600 MW. Графички приказ је дат на слици 27.



Слика 27. Зависност емисије од трошкова производње електричне енергије за 600 MW у оквиру 20 доминантних резултата

Линеарном регресијом је истражено да ли постоји корелација између трошкова производње и емисије ГСБ на скупу решења и каква је природа корелације за различите нивое инсталираних капацитета соларне енергије. Овај метод је примењен и ради провере добијених Пирсонових коефицијената корелације. Утврђено је да постоји линеарна корелација између трошкова и емисија само за инсталирану СЕ од 600MW, а у том сценарију постоји и подударност са коефицијентима корелације. У ствари, коефицијент корелације је значајан само за интеграцију СЕ од 600MW, док је за остале вредности ирелевантан.

4.5. Дискусија о моделу МДГА

Резултати добијени у овом поглављу показују да је могуће развити природом инспирисан модел генетских алгоритама за истраживање ефеката интеграције нових соларних капацитета у електроенергетски систем. Нови модел укључује не само трошкове технологије, већ и трошкове заштите животне средине, трошкове одрживог развоја и губитке у мрежи, узимајући у обзир све услове и ограничења у реалном систему, а пошавши од дневног дијаграма оптерећења. Модел је теоријски представљен у 4.1. и 4.2., док 4.3. и 4.4. обухватају резултате и дискусију о нумеричким анализама, анализи осетљивости, корелацији и регресији за скупове доминантних резултата. Све ове анализе су потврдиле веродостојност и стабилност резултата.

Анализа свих нумеричких и графичких резултата показује да увођење додатних соларних капацитета у електроенергетски систем доноси користи кроз смањење укупних трошкова система и кроз смањење емисије ГСБ из целог система, што је била помоћна хипотеза Х2.2. Укупни трошкови система су смањени, иако су трошкови производње по једном kWh из соларне електране додатно оптерећени трошковима заштите животне средине, трошковима одрживог развоја и трошковима који настају услед губитака у дистрибутивној мрежи. Губици у мрежи у соларним постројењима узети су као нула, јер се претпоставља да би се електрична енергија користила у локалној заједници, односно на месту производње. Ово су предности и користи, како за локалну заједницу, тако и за електроенергетски систем у целини.

Увођењем соларних електрана у систем, као децентрализованих извора, постижу се не само користи у смислу смањења трошкова и емисија, већ се добија и квалитет самосталног снабдевања локалних заједница електричном енергијом. У најновијој литератури (Patel et al.,

2018) анализирана су и у пракси доказана решења са мрежним интерактивним системом, где локална заједница може да користи произведену енергију за сопствене потребе, али и да даје енергију у мрежу, или да користи енергију из мреже, зависно од потреба. У литератури (Sun et al., 2020), хеуристичка оптимизација је изведена применом алгорита инспирисаног природом функционисања роја светлећих црва.

У већини земаља, локална заједница која даје електричну енергију из своје соларне електране у систем може се квалификовати за државне и савезне подстицаје (Botterud & Auer, 2020). Постојање децентрализованих соларних капацитета доноси користи како на локалном нивоу тако и на нивоу целог електроенергетског система.

Електроенергетски систем сваке земље састоји се од различитих извора снабдевања: нуклеарних, термо, хидро, соларних, ветроелектрана итд. Рад соларних и ветроелектрана је интермитентне природе (Jithendranath et al., 2021). Њихово увођење у електроенергетски систем захтева резервне и складишне резервоаре (Olabi et al., 2021). Стога се увођење соларних постројења у систем не може третирати као линеарна функција.

Неопходно је користити нови холистички интердисциплинарни модел, какав је, на пример, развијен у овом поглављу, који симулира рад електроенергетског система и узима у обзир све стварне услове и ограничења реалног система. Управо то доказује анализа нумеричких резултата из табеле 8 и слика 21, 22, 23, 24, 25 и 26. Очигледно постоји гранична вредност до које интеграција капацитета СЕ смањује и емисије и трошкове. Овде се још једном напомиње да је тиме доказана помоћна хипотеза Х2.3. Са даљим повећањем капацитета СЕ, емисије ГСБ почињу да расту. Логично, расли би и трошкови, у случају да веће увођење СЕ, као привилегованог произвођача, избаци нпр. проточне хидроелектране.

Хидроелектране, посебно акумулационе и пумпне акумулације, не само да производе јефтинију електричну енергију, већ и осигуравају сигурност рада електроенергетског система. Они су неопходна ротирајућа (оперативна) резерва и зелени резервоари за складиштење енергије система (Abid et al., 2021). Њихова улога постаје још значајнија у данашње време, када се уводи све више соларних и ветроенергетских капацитета, као интермитентних извора енергије.

Добијени резултати показују да већа интеграција соларних електрана омогућава енергетске, економске, еколошке и одрживе предности, међутим, уз одређена ограничења. Крајње питање је: који ниво емисија

и трошкова је прихватљив? У овој студији случаја, оптимум је пронађен између 300 MW и 600 MW.

Питање за даље истраживање је: да ли капацитете СЕ повећавати до нивоа почетне вредности трошкова система (када је 0MW СЕ интегрисано у систем), или их оставити на нивоу граничних вредности? Додатно увођење соларних капацитета у електроенергетски систем поставља питање сигурности и стабилности система, с обзиром на интермитентну природу СЕ. Због тога се увођење СЕ у систем у овом поглављу дисертације истражује кроз генетске алгоритме, јер они омогућавају уважавање свих услова и ограничења реалног, сложеног електроенергетског система.

У време писања ове дисертације још увек се не наплаћују казне за тоне емитованог угљен-диоксида у Републици Србији. Увођење ових казни је неизбежно у блиској будућности. Такође, цена пенала на светском тржишту карбон кредита континуално расте. Када пенали буду постали реалност у Републици Србији, то ће свакако утицати на резултате и закључке у овој дисертацији. Оптимални степен интеграције соларне енергије биће већи. Значај увођења соларних капацитета, односно других капацитета обновљиве енергије, биће још израженији.

Постоји додатна могућност за решавање питања интермитентности како би се омогућило веће увођење обновљивих извора енергије у електроенергетски систем. То имплицира постојање паметних мрежа и паметних бројила (McIlwaine et al., 2021).

Повећање капацитета резервоара за воду и пумпних акумулационих система може имати позитиван ефекат на могућности повећања удела соларних капацитета у земљи (Stevovic et al., 2017). Постоје и други приступи који олакшавају и усклађују интеграцију СЕ. У литератури се помињу као „енергија у топлоту“ - *“energy to heat”* (Ma et al., 2021), „енергија у електричну енергију“ - *“energy to electricity”* (Tarroja & Hittinger, 2021) и „енергија у водоник“ - *“energy to hydrogen”* (Peláez-Peláez et al., 2021). Сви они заправо представљају различите методе складиштења сунчеве енергије, или енергије ветра.

Најновија литература показује различите начине складиштења енергије, како батерија великих размера (Lai & Locatelli, 2021), тако исто и малих размера, као што су кућне батерије (Sepúlveda-Mora & Hegedus, 2021), или мобилних батерија које се користе у електричним возилима (Zhu et al., 2021). Наравно, ове методе складиштења могу се односити на складиштење енергије из соларних и ветроелектрана.

Оптимальни капацитет батерија истражује се коришћењем генетског алгорита у литератури (Huang et al., 2021).

Основни циљ истраживања представљеног у овом поглављу је процена предности примене обновљивих извора енергије за смањење CO₂ и трошкова производње електричне енергије, као и квалитативне предности такве децентрализоване опције за локалну заједницу. Ефекти диверзификације ресурса на цео систем снабдевања електричном енергијом једне земље су неспорни.

Теоријске хипотезе су проверене и доказане на студији случаја реалног електроенергетског система Републике Србије. Оптимальни рад различитих електрана разматран је коришћењем еволуционог вишедимензионалног алгорита оптимизације. Циљ је да се задовољи укупна потражња представљена дневним дијаграмом потрошње, уз минимизирање емисије CO₂ и трошкова производње електричне енергије.

Развијени МДГА модел је применљив и на испитивање могуће интеграције других видова ОИЕ у ЕЕС, тако што би се различити сценарији у тим случајевима развијали за укључење ветроелектране, или хидроелектране у ЕЕС. Рачунале би се емисије и производња у варијантама са и без оног извора ОИЕ, чија интеграција би била циљ истраживања. Овиме је доказана помоћна хипотеза Х2.5. која гласи да је развијени модел МДГА, тестиран нумеричким експериментом на студији случаја интеграције соларне енергије у Републици Србији, применљив и за друге видове ОИЕ.

Примена овде развијеног новог модела оптимизације омогућава доносиоцима одлука да лакше и брже израде квалитетнију планску документацију и решавају стратешка питања у вези са увођењем нових обновљивих извора енергије у систем. Такве одлуке не могу бити исправне или одрживе, ако се руководе само профитом. Нужно је интердисциплинарно инкорпорирати принципе еколошког менаџмента и одрживог развоја, као што је напред изложено. Дакле, примена МДГА доприноси исправнијем доношењу стратешких одлука и омогућава одрживо управљање ресурсима, уз смањење емисија гасова стаклене баште. Овиме је доказана помоћна хипотеза Х2.6.

Сходно претходно изложеном и свим доказаним помоћним хипотезама од Х2.1. до Х2.6., може се закључити да је друга главна хипотеза Х2 доказана: Могуће је развити природом инспирисани оптимизациони интердисциплинарни мултидимензиони модел генетских алгорита (МДГА) за истраживање ефеката интеграције капацитета ОИЕ у електро енергетском систему.

5. Анализа општости развијених модела

Модели су употребљиви за све видове и проблеме интеграције различитих ОИЕ, као што је деск истраживањем потврђено у 3.5. и 4.5. Уношењем улазних варијабли одговарајућих перформанси одређеног ОИЕ и нумеричких вредности његових техничких, економских и осталих карактеристика, добијају се резултати који се односе на разматрани ОИЕ.

5.1. Критичка евалуација развијених модела

Критичка евалуација развијених модела је обављена кроз сложене анализе осетљивости у 3.4.6. за МДЛР модел и у 4.4.2., 4.4.3. и 4.4.4. за МДГА модел. МДЛР модел је развијан у две варијанте: са пет и са осам регресора, да би се истражио утицај степена интердисциплинарности на добијене резултате. МДГА модели су развијани кроз четири сценарија и кроз две варијанте. Једна је била без, а друга са инкорпорираним принципима еколошког менаџмента и одрживог развоја. Они су били заступљени кроз сам концепт и нумерички представљени кроз трошкове директне заштите животне средине, коју је потребно спровести да би се произвео 1kWh електричне енергије и кроз коштање потребно да би се након производње 1kWh електричне енергије обезбедио одрживи развој, што укључује трошкове рециклаже и поновне употребе до свођења животне средине на нулто стање.

Све промене типа и броја улазних варијабли, сценарија, комбинација и варијанти су потврдиле валидност развијених модела. Све промене, нумерички спроведене на развијеним моделима на студији случаја, компарацијом са реалним званичним подацима ЕПСа²³, потврдиле су да су модели добро калибрисани и да одражавају реалност, па да се тиме и њихови резултати могу сматрати верификованим.

5.2. Временска валидност развијених модела

Временска валидност МДЛР модела је тестирана и потврђена на нивовима улазних података и спроведеним прорачунима за четири временска пресека: 2010, 2013, 2015 и 2016-у годину.

²³ <http://www.eps.rs/lat/Poslovanje-EE>, pregledano, 15.11.2021.

Временска валидност теоријских поставки развијених модела је неограничена. Ако се у будућности појаве нови, у овом тренутку непредвидиви фактори од утицаја, модели дозвољавају да се број улазних варијабли повећава.

Временска валидност нумеричких резултата и квантификованих закључака, добијених на студији случаја интеграције соларне енергије, може се сматрати да је важећа максимално до пет година. Дакле, нумеричке резултате би требало проверавати на пет година, јер се у том периоду може очекивати промена нумеричких вредности улазних варијабли и друштвено економских промена.

5.3. Просторна валидност развијених модела

У претходним поглављима развијени интердисциплинарни модели могу се примењивати на свим подручјима, регионима, државама, без просторног ограничења. Развијени модели су применљиви на све регионе и државе, које имају целовити електроенергетски систем. ЕЕС могу у себи као компоненте садржавати различите произвођаче електричне енергије: нуклеарне електране, термо, хидро, електране на ветар, биомасу, сунце, или друге видове производње електричне енергије.

5.4. Дискусија

У овој дисертацији су теоретски постављени, развијени и на студији случаја потврђени резултати вишедимензионалних модела линеарне регресије (МДЛР) и вишедимензионалних модела генетских алгоритама инспирисаних природом (МДГА). Развијени модели се могу користити као подршка креаторима енергетске политике.

Новина код МДЛР је у интердисциплинарном триангулационом приступу, који холистички укључује све релевантне варијабле од утицаја на резултат, почев од техничких, економских, еколошких, преко правно регулаторних, до социолошких.

Новина код МДГА модела је у комплексности модела који ради са условима и ограничењима из реалног електроенергетског система, задовољавајући захтеве и обухватајући све трошкове технологије, животне средине и одрживости, као и губитке дистрибутивне мреже, истовремено и на почетку процеса доношења одлука.

С обзиром на ограничену количину необновљивих резерви угља и захтеве Енергетске политике ЕУ 2050-е о смањењу емисија кроз увођење обновљивих извора, резултати добијени у овом истраживању могу помоћи доносиоцима одлука да направе боље планове и развију исправније стратегије.

Развијени МДАР модел омогућава доносиоцу одлука да види који је реално остварив капацитет за интеграцију ОИЕ у друштвено економским оквирима, као и на којим побољшањима може и треба радити, да би се повећао капацитет интегрисаних ОИЕ.

Развијени МДГА модел омогућава доносиоцу одлука да одреди оптимални капацитет за интеграцију ОИЕ у реалном ЕЕС и да изабере адекватно решење из скупа доминантних резултата у погледу трошкова и емисија. Избор доносиоца одлука може да буде и према унапред дефинисаном захтеву да се нпр. емисије смање на одређени ниво, а затим да се одреде трошкове те варијанте, или да се на основу расположивих средстава утврди могуће смањење емисије.

Интеграција соларне енергије је одабрана за студију случаја, иако су применљиве и друге опције обновљиве енергије. Због локалних услова, соларна енергија се сматра најприкладнијом енергијом за студију случаја у овој дисертацији. У сваком случају, резултати добијени за соларну енергију могу се применити на ветар, хидро енергију и друге обновљиве изворе енергије. Савремени приступи теже смањењу емисија, што указује да ће растући трошкови производње електричне енергије бити оправдани.

Истраживања и резултати презентовани у овој дисертацији имају и шири контекст и применљивост. Развијени модели су применљиви на било који извор енергије. Методологије за одређивање у друштвено економском систему реално оствариве и у електроенергетском систему реално могуће и оптималне интеграције соларне енергије, као и ефеката смањења угљен-диоксида у целом електроенергетском систему, може се проширити на друге системе, локације или криве потражње за енергијом.

6. Иновативна решења и будућност интеграције ОИЕ

У свету данас постоји читав низ иновативних решења интеграције ОИЕ. Партикуларни физички модели крећу од мини решења за индивидуалну, или кућну употребу до пројеката гигантских размера – електрана које користе енергију сунца, ветра, или нпр. хидро енергију. Честа су и хибридна решења. Нпр. пројекат плутајућих фотонапонских панела соларне електране, која се инсталира на површини хидроакумулације, или хибридно решење електране ветар-солар у аустралијским пустињама.

У будућности се могућност веће интеграције обновљивих извора енергије може реализовати развојем паметних мрежа и паметних бројила. Урбане средине и развијена друштва су велики и све већи потрошачи електричне енергије. Да би се постигло декарбонизујуће друштво, потребно је развити свест потрошача и проширити знања о појави глобалног загревања, емисијама гасова стаклене баште и последицама за данашње и будуће генерације.

У будућности следи прилагођавање потреба потрошача произвођачким могућностима. Да би се смер „производња, која треба да задовољи потрошњу“ променио у смер „потрошач конзумира електричну енергију онда када има нпр. ветра“ потребно је циљано и систематски радити на подизању свести потрошача и ширењу знања из области, како би се оваква промена могла реализовати и прихватити.

6.1. Партикуларни физички модели ОИЕ и пратећи проблеми

Партикуларни физички модели различитих видова ОИЕ се крећу од малих постројења за употребу у домаћинствима, или малим производним погонима, до огромних електрана велике потрошње. Три највећа соларна постројења у свету су “Бадла” у Индији, у Радастану, са 2.245 MW инсталисане снаге, “Хуанге” у Кини, са инсталисаном снагом од 2.200 MW и “Павагада” у Индији у Карнатаки, инсталисане снаге 2.050 MW²⁴. У Данској је у завршној фази највећа ветроелектрана на мору “Криегерс Флак”, инсталисане снаге 604 MW. Највеће ветроелектране у Србији су Чибук код Ковина, са 158MW инсталисане снаге и ветропарк који се налази у Ковачици са 104.5MW инсталисане снаге.

²⁴ <https://www.energetskiportal.rs/>

Проблеми који најчешће прате изградњу хидроелектрана, поред техничке комплексности, су у домену социјалне прихватљивости. Данас су бројне речне долине углавном насељене и изградњу великих хидроенергетских објеката, прате питања јавног мњења и високих трошкова експропријације.

Проблеми који прате изградњу великих ветропаркова, или соларних електрана су у области утицаја на животну средину. У периоду експлоатације, проблем је увек питање акумулисања произведене електричне енергије, ако конзум није у стању да је у целости и у тренутку производње прихвати.

Највећа хидроелектрана у свету до скоро је била ХЕ Итаипу у Бразилу. Међутим, Кинези су изградили брану „Три клисуре“. Тај, данас највећи хидроенергетски објекат има машинску зграду у телу бране са 32 турбине. Свака турбина има инсталисани капацитет од по 700 MW, тако да укупна инсталисана снага ХЕ Три клисуре износи 22.5 GW.

Тренутно највећа ветроелектрана има 1.06 GW инсталисане снаге и налази се у Норвешкој. У плану је да се изгради троструко већи ветропарк суинвестирањем између Норвешке и Велике Британије. У скорој будућности су у плану бројни ветропаркови, како на обали „*on shore*“, тако и на мору „*of shore*“.

Имајући у виду да смо савременици велике енергетске транзиције светских размера, јасно је да ће се ови подаци брзо мењати и да ћемо бити сведоци нових технологија, као и бројних нових физичких синергијских модела интеграције ОИЕ.

6.2. Хибридни физички модели и синергијска решења

Решавању проблема варијабилности производње из соларних и ветроелектрана се у пракси приступа изградњом хибридни физичких модела, где се производња из једног извора допуњује са производњом из другог. Најчешћи су хибридни модели једног интермитентног извора са акумулационим хидроелектранама.

У свету се раде иновативна решења ветроелектрана поред акумулационих хидроелектрана. Некада се раде соларне електране, као плутајућа платформа фотонапонских панела на површини хидроакумулације. Када има ветра/сунца, а енергија није потребна конзуму, произведена енергија се акумулише у вештачком језеру иза хидроелектране. Зато се таква језера називају и зелени акумулатори.

Када је конзуму потребна повећана количина енергије, хибридни модел конзуму емитује енергију. Акумулациона хидроелектрана и соларна и/или ветроелектрана функционишу синергијски.

Чести су и хибридни модели ветар/солар/дизел или бензински агрегат. Срећу се у пустињским деловима Аустралије и у острвском режиму рада, заступљеном нпр. на малим острвима у Тихом океану.

Електране на угаљ се често укидају. У Великој Британији је реализовано иновативно решење модела трансформације ТЕ на угаљ у електрану на биомасу.

6.3. Стратегија развоја паметних мрежа

Истраживања спроведена у овој дисертацији се односе на развој интердисциплинарних модела интеграције ОИЕ, најпре у друштвено економски систем једне државе, а затим и у електро енергетски систем државе. Резултати показују да постоје ограничења степена интеграције интермитентних извора енергије у реалном ЕЕС Републике Србије. Ово је логично, јер су модели и тарирани у реалном ЕЕС Републике Србије. Ограничења су различита у различитим државама и зависе од броја хидроакумулација и капацитета других видова акумулисања енергије, која се произведе нпр. из ветра или сунца, а у тренутку када није потребна конзуму.

Повећање степена интеграције ОИЕ у ЕЕС једне земље, преко граница техничких могућности акумулисања, може се реализовати увођењем паметних мрежа. Паметне мреже подразумевају озбиљну трансформацију техничке инфраструктуре, начина мерења (потребна су нова паметна бројила) и промену саме динамике потрошње. То последично захтева и одговарајућу и пратећу подршку информационих технологија, а и промене у свести и начину понашања потрошача, а све са циљем веће интеграције ОИЕ.

У ЕЕС Републике Србије још увек не постоје паметне мреже. Њихово увођење ће свакако представљати корак напред у оквиру стратегије веће интеграције ОИЕ, на путу ка декарбонизујућем друштву.

У Републици Србији се већ возе електрични аутомобили. То су заправо хибридни модели. Нужно је да су хибридни, јер пратећа инфраструктура још увек не постоји. Нема довољан број пуњача за електричне аутомобиле на адекватним растојањима. У будућности ће електрични аутомобили представљати значајну могућност акумулисања енергије.

Паметне мреже подразумевају и постојање могућности да корисник/потрошач у одговарајућем кризном моменту за ЕЕС, када недостаје енергије, “врати” акумулисану енергију из свог електричног аутомобила у мрежу. Све то захтева пратеће мерне инструменте, паметна бројила, информатичку подршку, ОИЕ у ЕЕС и свесног и одговорног потрошача.

6.4. Управљање променама навика потрошача

Промене навика потрошача, које треба да се реализују да би се повећао степен интеграције ОИЕ, треба да буду радикалне. У свету, а посебно у Републици Србији је свест потрошача на релативно ниском нивоу, када је у питању тема оцене, управљања и коришћења енергетских ресурса и последично глобалном загревању. Потрошачи у Републици Србији су уљуљкани у погрешном осећају изобиља и комочије код коришћења и реалне цене електричне енергије.

Енергетска криза је увек постојала, независно од тога да ли смо је били свесни, да ли је била прикривана разним мерама на нивоу државе због социјалног мира, или је евидентна као у време писања ове дисертације. У сваком случају потрошач постаје кључна јединка која, по математици великих бројева, може значајно да допринесе у процесу рационализације потрошње електричне енергије.

Потрошач може да смањи губитке енергије, може да разумније троши, у смислу количина и у вези динамике потрошње. Предстоје године рада на промени свести потрошача, да би нове генерације постале освешћене и да би се осећале директно одговорне за повећање просечних температура на земаљској кугли и за загађења животне средине. Сваки појединац треба да зна да он и сам учествује у повећању учесталости екстремних климатских догађаја, као што су суше, цунамији и поплаве, на другом крају планете.

Ресурси необновљивих извора енергије су коначни. Због фактора потрошности, нужен је прелазак на ОИЕ, а и због значајне разлике у емисијама ГСБ. Доказано је да је карбонски отисак при коришћењу ОИЕ далеко нижи него при коришћењу необновљивих извора енергије.

Укључење већих капацитета ОИЕ, посебно ветра и солара, због својих карактеристичних флукуација, могуће је једино уз постојање довољне количине одговарајуће ротирајуће резерве у ЕЕС. То може да буде одговарајући број хидроакумулација, посебно реверзибилних, или су то неки иновативни начини акумулисања енергије. Укључење још већих

капацитета ОИЕ, преко техничко технолошких капацитета за акумулисање, захтева допринос потрошача кроз прилагођавање потрошње производњи енергије.

Циљ нове промене у управљању навикама потрошача је промена смера. Још увек постоји смер “производња треба да задовољи потрошњу”. Смер треба да се промени у “потрошња ће се реализовати онда када постоји производња”.

Смисао ових промена је у томе да потрошач свесно и вољно укључује нпр. веш машину, обавља пеглање, или усисавање, онда када му паметно бројило јавља да има струје из соларне електране, или ветроелектране. Значајан допринос у управљању променама навика потрошача може да да и држава различитим стимулативним мерама у домену цена електричне енергије, која јесте потрошена у сагласности са фаворизованом производњом из интермитентних извора енергије, или није.

6.5. Анализа повезаности људи, процеса и технологије кроз менаџмент знања

Знање је основа сваке успешно спроведене стратегије. Управљању променама навика потрошача претходи квалитетна анализа повезаности људи, процеса и технологија, кроз менаџмент знања. Најпре је потребно осветлити потрошача о томе колико свако појединачно може да одмогне, или допринесе у решавању проблема декарбонизације. Потребно је овладати свим неопходним знањима из интердисциплинарне области интеграције ОИЕ. Затим треба анализирати узрочно последичне везе између свих учесника у процесу одлучивања, свих фаза пројектовања, ревидовања, изградње, коришћења и начина наплате произведене енергије. Ниво знања у области технологије производње електричне енергије је кључан, јер се баш у домену технологија очекују највеће иновације.

Свест и знања о значају веће интеграције ОИЕ са стратешким циљем постизања декарбонизујућег друштва, треба ширити од предшколског образовања, па надаље, кроз сва класична и савремена медијска средства. Акције треба осмислити на нивоу државе и спроводити континуално и интензивно, док свима не постане нормално да се струја може трошити само онда када паметно бројило упали зелену лампицу.

7. Доприноси докторске дисертације

Предложена истраживања имају шири контекст и применљивост, јер се развијени модели могу користити и за одређивање степена интеграције других енергетских извора, и обновљивих, и необновљивих, мада нови необновљиви више нису актуелни, имајући у виду усвојене стратегије развоја до 2050-е. У дисертацији је дата и дискусија о широј употребљивости модела, овде развијених и потврђених на нумеричком примеру интеграције соларне енергије, и на друге ОИЕ.

Истовремено, развијени модели су применљиви и за друге регионе и државе. Нумерички резултати, проистекли на бази коришћења вредности улазних варијабли у тренутку истраживања, могу се сматрати важећим у наредних пет година, а затим их треба ревидовати, имајући у виду да сви инпути симулирају садашње стање у друштву, што је појава променљивог карактера у функцији времена.

Ова се истраживања могу класификовати по општости као посебна, по критеријуму својства предмета као комплексна, по критеријуму времена једне појаве као трансверзална, по припадности науци као интердисциплинарна и по актуелности предмета као актуелна истраживања. Према улози у науци ова се истраживања могу сврстати у акциона.

Резултати истраживања презентовани су текстуално, описивањем, и приказани кроз више табела, слика и дијаграма са упоредним резултатима. Научно објашњење је дијалектичко и представљено кроз анализу, синтезу, апстракцију и генерализацију.

Најзначајнији допринос ове дисертације су развијени модели за дефинисање интердисциплинарно истраженог, најпре степена максимално могуће интеграције соларне енергије у оквирима реалног економског развоја државе, а затим и степена интеграције у реални електро енергетски систем, са постављеним захтевима очувања квалитета животне средине и одрживог развоја, са постојећим правно регулаторним нормама, а на путу ка остварењу стратегије Нове Енергетске Политике 2050-е, тј. према стратешки дугорочно планираном циљу декарбонизујућег друштва.

Развијени и тестирани нтердисциплинарни модели су значајни јер инкорпорирају принципе циркуларне економије у стратешке процесе

оптимизација и у функцији су развоја новог одговорног пројектног друштва са новим вредностима чисте и здраве животне средине.

Допринос ове дисертације је и у томе што развијени модели, захваљујући својој димензији интердисциплинарности, омогућавају приближавање реално остваривом степену искоришћења природног потенцијала ОИЕ у једној држави.

7.1. Научни и стручни доприноси докторске дисертације

Докторска дисертација под називом „Интердисциплинарни модели стратешких интеграција обновљивих извора енергије“ има читав низ научних доприноса. Кључни научни доприноси докторске дисертације огледају се у:

- Развијеном и тестираном интердисциплинарном триангулационом моделу;
- Развијеном и тестираном интердисциплинарном вишекритеријумском регресионом моделу за више улазних варијабли, релевантних за квантификовање могуће интеграције обновљиве енергије у Србији и 28 земаља ЕУ;
- Развијеном и тестираном интердисциплинарном моделу мултидимензионалних генетских алгоритама за одређивање оптималног обима снабдевања обновљивом енергијом у контексту конфликтних интереса и бенефита целе друштвене заједнице;
- Истраживању јавног мњења и експертског мишљења о широј интеграцији обновљиве енергије у Републици Србији;
- Истраживању јавног мњења о прихватљивости обновљиве енергије у локалним заједницама и системима удаљеним од далеководне мреже;
- Бољим одговорима на проучавани проблем интеграције обновљиве енергије, када се истражује интердисциплинарно;
- Развијеној интердисциплинарној методологији за холистичко истраживање оправданости увођења ОИЕ, применљиво за локалне заједнице, регионе и државе.

Истраживања у оквиру докторске дисертације резултују и низом стручних доприноса од којих су најважнији:

- Енергетска самосталност објеката, институција, локалних заједница;
- Већи економски бенефити;
- Већи енергетски бенефити;
- Већи еколошки бенефити;

- Већи бенефити за будуће генерације;
- Могућа примена развијених модела при изради студија оправданости и других планских стратешких анализа, докумената и пројеката.

Са становишта друштвене користи резултати истраживања могу имати вишеструке позитивне импликације кроз:

- Повећање еколошке свести и одговорности грађана;
- Развој интеграције ОИЕ у Републици Србији;
- Развој привреде у Републици Србији;
- Допринос електроенергетском систему Србије диверсификацијом извора енергије;
- Развој локалних заједница;
- Побољшање квалитета животне средине локално и глобално;
- Усклађивање енергетске политике Републике Србије са новом енергетском политиком ЕУ стратегије енергетског развоја до 2050-е;
- Усклађивање Републике Србије са развојном стратегијом „Енергија за све“ („Energy for all“);
- Допринос смањењу емисија гасова стаклене баште.

7.2. Верификација научних доприноса дисертације

Истраживања спроведена у оквиру ове дисертације и добијени резултати су ревидовани кроз девет радова објављених у четири међународна часописа и кроз излагања на пет међународних конференција. Импакт фактори прва два часописа у збиру износе 14.294.

Верификација научних доприноса ове докторске дисертације је извршена кроз двоструку, или троструку “слепо” међународну рецензију, приликом објављивања сваког од радова у часопису или на конференцији.

У даљем тексту се даје списак научних радова који су проистекли из резултата ове докторске дисертације, класификовано према Правилнику Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Радови објављени у врхунским часописима међународног значаја изузетних вредности, категорија M21a:

1. **Stevović Ivan**, Mirjanić Dragoljub, Petrović Nataša. *Integration of solar energy by nature-inspired optimization in the context of circular economy*, Energy 235 (2021): 121297. ISSN 0360-5442, IF 7.147, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121297>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544221015450>/© 2021 Elsevier Ltd.,
2. **Stevović Ivan**, Dragoljub Mirjanić, and Stevović Svetlana. *Possibilities for wider investment in solar energy implementation*. Energy 180 (2019): 495-510. ISSN 0360-5442, IF 7.147, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.194> 0360-5442/© 2019 Elsevier Ltd.

Радови саопштени на скуповима међународног значаја штампани у целини, категорија M33:

3. **Stevović Ivan**, Obradović Vladimir, and Todorović Marija, *Interdisciplinary RES integration models for supporting decarbonizing society projects*, 10th IPMA Research Conference “Value co-creation in the project society“, 19-21 June 2022, Belgrade, Serbia
4. **Stevović Ivan**, *Interdisciplinary Research on Solar Energy Implementation in the Context of Circular Economy*, SDEWES2021-0792, 16th SDEWES Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, October 10 - 15, 2021. Dubrovnik, Croatia
5. **Stevović Ivan**, *Contribution to Strategic Project Management for Dams towards Sustainability*, SDEWES2021-0805, 16th SDEWES Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, October 10 - 15, 2021. Dubrovnik, Croatia
6. **Stevović Ivan**, Vladimir Obradović, *New Values in Photovoltaic Panels Life Cycle in the Function of Sustainable System Optimization*, The 14th International Scientific Conference Contemporary Materials, September 9-10, 2021. The Academy of Sciences and Arts of Republic of Srpska, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina
7. **Stevović Ivan**, *Solar energy implementation as innovation in a system of green marketing logistic*, 1st LA SDEWES Conference, January 28 – 31, 2018, Rio de Janeiro, Brazil

Радови објављени у међународним часописима на проширеној ESCI листи, појављују се на КоБСОНу, немају IF, категорисано као M51:

8. **Stevović Ivan**, Kirin Snežana, Božić Ivan, *Artificial intelligence and nature inspired optimization on integrative capacity of renewable energy in the western Balkan*, Journal Contemporary Materials, ISSN 1986-8669(Print), ISSN 1986-8677 (Online) doi: 10.725 COBISS.RS-ID 18414342, Publisher: Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Bana Lazarevića 1, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, B&H, www.savremenimaterijali.info
9. **Stevović, Ivan**. "Strategic orientation to solar energy production and long term financial benefits." *Archives for technical sciences*, Volume 17/2017, UDC: 62, DOI: 10.5825, ISSN 1840-4855, <http://ip-science.thomsonreuters.com/info/jrneval-status/>

8. Препоруке за даља истраживања

У оквиру даљих истраживања би било интересантно детаљније испитати структуру и величину коштања одрживости и цену заштите животне средине за све енергетске ресурсе. Могући правци истраживања су и: детаљније истраживање других видова ОИЕ, њихов међусобни однос у смислу степена исплативости и одрживости, затварање комплетног циклуса производње соларних фотонапонских ћелија (или ветрогенератора и других облика ОИЕ) до рециклаже, или свођења материјала на ниво поновне употребе, тј. повратка животне средине на нулто стање пре изградње енергетског објекта, а након истека експлоатационог периода.

Даља истраживања могу бити усмерена и ка решавању интермитентности и последично још већем коришћењу сунчеве и других видова обновљиве енергије. Научници, инжењери и доносиоци одлука предлажу да се питање интермитентности соларних електрана у будућности решава променом начина размишљања, одговорности и навика потрошача, као и динамичним ценовним подстицајима. Циљ је да се усклади време потрошње електричне енергије са временом када соларне електране (СЕ) раде, тј. када има сунца, или у случају ветропаркова, када раде ветроелектране – када има ветра.

Једно од могућих решења повећања степена интеграције обновљивих извора енергије лежи у теоријском развоју и практичној имплементацији бихевиористичког модела, који интердисциплинарно обухвата читав низ области, почев од психологије потрошача, маркетиншких метода, преко социолошких истраживања, до управљања променама и менаџмента знања. У овим областима су такође потребна додатна истраживања, како би се убрзао процес освешћења и прихватљивости савремених решења интеграције ОИЕ у широј друштвеној заједници.

У будућности се свакако може очекивати даљи развој у области интеграције соларне и осталих видова обновљивих извора енергије. Ово је подржано најновијим истраживачким кампањама које стално теже:

- побољшању ефикасности трансформације соларне енергије у електричну енергију;
- побољшању материјала за производњу фотонапонских панела (ФНП);

- продужетку века трајања фотонапонских панела („*Energy for all*“);
- смањењу производне цене фотонапонске и остале пратеће опреме;
- побољшању капацитета и перформанси акумулаторских батерија;
- напретку у свим пратећим, сродним технологијама.

Имајући у виду све наведене трендове, уколико би се применио модел развијен у овој дисертацији, разумно би било очекивати будуће повећање оптималног одрживог степена интеграције соларних капацитета до кога ће опадати и емисије и трошкови.

До сада су у Републици Србији урађене бројне техно-економске студије, које су доказале исплативост интеграције ОИЕ у систем, међутим објекти нису изведени. У неким случајевима, извођење техно-економски доказаних оправданих објеката је пролонгирано деценијама. То чак иде до ситуације да је технички и економски исплатив потенцијал, постао неоправдан. Нпр. у случају изградње хидроенергетских објеката. Пролонгирање времена почетка изградње доводи до насељавања речних долина и тиме обезвредњавања технички искористивог потенцијала. Један од праваца будућих истраживања би могао да буде интердисциплинарно истраживање фактора од утицаја на остваривост у реалним условима. Истовремено, тема за истраживање, вредна пажње, би могла бити и где су и које су највеће баријере.

Преласком на поље изван техно-економских студија улази се у зону тешко квантификованих, некада лингвистичких варијабли, као што су утицај на животну средину, прихватљивост технологија, спремност јавности да прихвати иновације, тако да будућа истраживања могу да буду усмерена и на побољшање методологија и изналажење нових математичких модела.

Даља истраживања могу се бавити и анализом опција децентрализоване обновљиве енергије у односу на централизовану производњу енергије, њихових одговарајућих предности и недостатака, као и сличних студија на регионалном, националном или локалном нивоу. Поред тога, друштвене и институционалне компоненте одрживости могу бити веома важне области које такође треба још детаљније разматрати у будућим истраживањима.

9. Закључак

Докторска дисертација је урађена на 148 страница, са 28 слика, 12 табела, 52 формуле и 2 прилога.

Интеграција зелене обновљиве енергије заузима своје значајно место у развоју друштва и зато је овде предмет истраживања развоја нових интердисциплинарних, еколошки компатибилних и одрживих модела интеграције ОИЕ при стабилном снабдевању електричном енергијом, у функцији очувања квалитета животне средине и смањења емисија на земаљској кугли.

Повећање степена интеграције обновљивих извора енергије је питање стратешког, дугорочног планирања за ширу друштвену заједницу. У овој дисертацији су предложена два модела за интеграцију обновљивих извора енергије. Њима је испитана и доказана оправданост проширења интеграције обновљивих извора енергије и квантификован њен допринос локално и у целој друштвеној заједници, у контексту Нове енергетске политике ЕУ, циљано на 2050-у годину.

Теоријске поставке се проверавају и доказују на студији случаја – интеграције соларне енергије. Тако се у оквиру спроведеног истраживања развијеног модела триангулационог приступа доказује исплативост и одрживост идеје о већем степену интеграције соларне енергије у Србији. Истовремено се квантификује колико Србија има веће могућности за интеграцију соларне енергије, у односу на оне које тренутно користи. Истражено је мишљење експертске базе, као и спремност јавног мњења да подржи примену идеје о инвестирању у додатне капацитете обновљивих извора енергије.

Квантификовање оптималног степена снабдевања зеленом обновљивом енергијом у реалном систему, са реалним условима и ограничењима одређено је развијеним моделом генетских алгоритама. Истражено је да ли је концепт увођења соларне енергије у електро енергетски систем Србије, оправдан и да ли даје и какве бенефите даје. Истраживање је обављено почев од локалног нивоа, преко државе, до нивоа ЕУ. Загађења не знају за оквире и границе. Ефекти у смањењу емисија гасова стаклене баште који се реализују локално, имаће одраза на квалитет животне средине на целој земаљској кугли.

Резултати који се добијају у овој дисертацији су посебно значајни, јер представљају развој интердисциплинарних модела, који доносиоцима одлука могу послужити у решавању проблема усклађивања са новом

стратегијом енергетске политике ЕУ, планираном и договореном за 2050-у годину. Дакле, концепт веће интеграције соларне енергије, у снабдевању локалне заједнице, или кроз цели електро енергетски систем, оправдан је и представља допринос од глобалног значаја.

Истраживања урађена у овој дисертацији представљају допринос у решавању проблема емисија гасова стаклене баште из сектора производње енергије, који у загађењима има највеће учешће. Развијени интердисциплинарни модели дају боље одговоре на проучавани проблем. Апликативност модела је тестирана на нумеричким примерима интеграције соларне енергије, са различитим степенима интеграције. Општост је дискутована и доказана у односу на остале видове обновљивих извора енергије.

Овде предложени интердисциплинарни модели могу доносиоцима одлука да помогну у осветљавању питања са којим степеном интеграције ОИЕ ће се постићи који ниво декарбонизације и како ће се то одразити на коштање производње. Питање колико Србија треба да интегрише додатних ОИЕ није линеарна функција просте замене термо блокова са капацитетима ОИЕ. Дневни дијаграм оптерећења је функција променљива у времену. Друштвена заједница, у овом случају Србија, треба да инвестира у додатна истраживања и нове пројекте ОИЕ, како би смањила укупне емисије гасова стаклене баште и допринеда смањењу глобалног загревања и Новој енергетској политици ЕУ 2050.

10. Списак табела, слика и прилога

Списак табела:

- Табела 1. Пет улазних варијабли за 28 земаља Европе и за Србију
- Табела 2. Комбинације регресора и резултати регресионе анализе за пет улазних варијабли
- Табела 3. Инсталирани соларни капацитети – излазна варијабла Y_i , заједно са три додатне припадајуће улазне варијабле: цена електричне енергије за домаћинства, потрошња електричне енергије у индустрији и друга потрошња електричне енергије за 28 европских земаља и за Републику Србију
- Табела 4. Улазне варијабле за МДЛР анализе за Србију за четири временска пресека
- Табела 5. Заступљеност вишезначних одговора на питање које су препреке за инвестирање
- Табела 6. Девет скупова улазних и излазних варијабли измењених за $\pm 5\%$ око почетних вредности
- Табела 7. Укупне емисије CO_2 из ЕЕ система Србије у једном дану
- Табела 8. Доминантни резултати трошкова и емисија за четири сценарија истраживања
- Табела 9. Укупне емисије CO_2 и укупна коштања производње електричне енергије ЕЕ система Србије у једном дану, без трошкова заштите животне средине E и без трошкова одрживости C
- Табела 10. Пирсонов коефицијент корелације између емисија и трошкова
- Табела 11: Средње грешке и Студентова статистика за 4 сценарија интеграције СЕ
- Табела 12: Интеграција сунчеве енергије за производњу електричне у Србији

Списак слика:

- Слика 1. Развој интеграције обновљивих извора енергије као синергијска опција
- Слика 2. Примена соларне енергије као синергија три фактора

- Слика 3. Научне области и подобласти за развој интердисциплинарних модела стратешких интеграција ОИЕ
- Слика 4. Триангулациони модел
- Слика 5. Шема триангулационог модела за истраживање степена стратешких интеграција ОИЕ
- Слика 6. Соларни капацитети који би требало да буду инсталирани према моделу $[Y'i]$ и инсталирани капацитети $[Yi]$ при истовременом укључењу свих улазних варијабли
- Слика 7. Однос соларних капацитета који се могу инсталирати у Србији према корелационом регресионом моделу у односу на земље Европе за свих 31 варијанту [MW]
- Слика 8. Инсталирани капацитети и капацитети које треба инсталирати по МДЛР моделу за 2016-у [MW]
- Слика 9. Ниво објашњења појаве за инсталисане соларне капацитете
- Слика 10. Инсталирани капацитети [MW] и капацитети које треба инсталирати по моделу за 2016, у различитим варијантама искључења земаља са екстремним вредностима
- Слика 11. Соларни капацитети [MW] који треба да буду инсталирани у Србији према МДЛР моделу (ордината) за различите комбинације улазних варијабли (апсциса) за 2016-у
- Слика 12. Соларни капацитети [MW] који би требало да су инсталирани према МДЛР моделу за различите комбинације улазних варијабли за године 2010, 2013 и 2015-у
- Слика 13. Асоцијација између образовања и заинтересованости за инвестирањем у соларну енергију у Србији
- Слика 14. Осетљивост резултата на промене улазних и излазних варијабли за $\pm 5\%$ измењених око почетних вредности, за девет скупова различитих комбинација
- Слика 15. Утицај повећања ФиТ-а у 28 земаља Европе на инсталацију соларних капацитета
- Слика 16. Шема интердисциплинарног модела МДГА
- Слика 17. Шематски приказ модела електроенергетског система у Републици Србији: електране и конзум
- Слика 18. Дневни дијаграм оптерећења за Републику Србију
- Слика 19. Холистички приступ оптимизацијама коштања производње електричне енергије
- Слика 20. Четири сценарија односа трошкова и емисија (са различитим инсталираним капацитетима СЕ: 0 MW, 60 MW, 300 MW и 600 MW)

- Слика 21. Укупни трошкови производње електричне енергије електроенергетског система при интеграцији СЕ: 0MW, 60MW, 300MW и 600MW
- Слика 22. Разлике у трошковима производње електричне енергије у зависности од интегрисаног капацитета СЕ у поређењу са сценаријем 1 (0MW)
- Слика 23. Укупне емисије CO₂ (еквивалентних тона) у ЕЕС за СЕ од 0MW, 60MW, 300 MW и 600 MW
- Слика 24. Разлике у емисијама CO₂ за сваки сценарио у поређењу са 0 MW СЕ
- Слика 25. Сумирани резултати за емисије CO₂ по производним трошковима од 10⁶ (t/10⁶€) за сва 4 сценарија инсталације СЕ
- Слика 26. Разлике у емисијама CO₂ по производним трошковима од 10⁶ € за сваки сценарио у поређењу са 0 MW СЕ
- Слика 27. Зависност емисије од трошкова производње електричне енергије за 600 MW у оквиру 20 доминантних резултата
- Слика 28. Графички приказ развоја интердисциплинарног модела МДГА

Списак прилога:

- Прилог 1. Анкета – интервју
- Прилог 2. Графички приказ развоја интердисциплинарног модела МДГА

11. Номенклатура

<i>DSM</i>	<i>Demand-side management</i> (Управљање потражњом)
<i>AMP</i>	<i>Awareness, motivation and pathways</i> (свест, мотивација и путеви)
<i>IFC</i>	<i>International Financial Corporation</i> (Међународна Финансијска Корпорација)
<i>NEP</i>	<i>New Energy Policy</i> (Нова Енергетска Политика)
<i>OECD</i>	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> (Организација за економску сарадњу и развој)
<i>ОИЕ</i>	Обновљиви извори енергије
<i>IRENA</i>	<i>International Renewable Energy Agency</i> (Међународна агенција за обновљиве изворе енергије)
<i>IEA</i>	<i>International Energy Agency</i> (Интернационална енергетска агенција)
<i>RED</i>	<i>Renewable Energy Directive</i> (Директива о обновљивој енергији)
<i>RECs</i>	<i>Renewable Energy Communities</i> (Заједнице обновљивих извора енергије)
<i>ЕЕС</i>	Електро енергетски систем
<i>ЕУ</i>	Европска Унија
<i>ФНП</i>	Фотонапонски панели
<i>ХЕ</i>	Хидроелектрана
<i>СЕ</i>	Соларна електрана
<i>ВЕ</i>	Ветроелектрана
<i>ТЕ</i>	Термоелектрана
<i>ЕМ</i>	Емисија (гасова стаклене баште)
<i>СО₂</i>	Угљендиоксид
<i>МДЛР</i>	Мулти димензионална линеарна регресија
<i>БДП</i>	Бруто друштвени производ
<i>BDP per capita</i>	Бруто друштвени производ по глави становника
<i>FiT</i>	Стимулативна мера
<i>BDL</i>	<i>Business Doing List</i>
<i>УТЕЕ</i>	Уједначени трошак електричне енергије
<i>LCOE</i>	<i>Levelised Cost of Electricity</i>
<i>WB</i>	Светска банка
<i>ЈПП</i>	Јавно-приватно партнерство
<i>PPP</i>	<i>Public private partnership</i>
<i>МДГА</i>	Мулти димензионални генетски алгоритми
<i>ЕПС</i>	Електропривреда Србије
<i>ЕТФ</i>	Електротехнички факултет
<i>ПМ</i>	Природно математички факултет
<i>АЕ РС</i>	Агенција за енергетику Републике Србије

12. Прилози

Прилог 1. Анкета – интервју

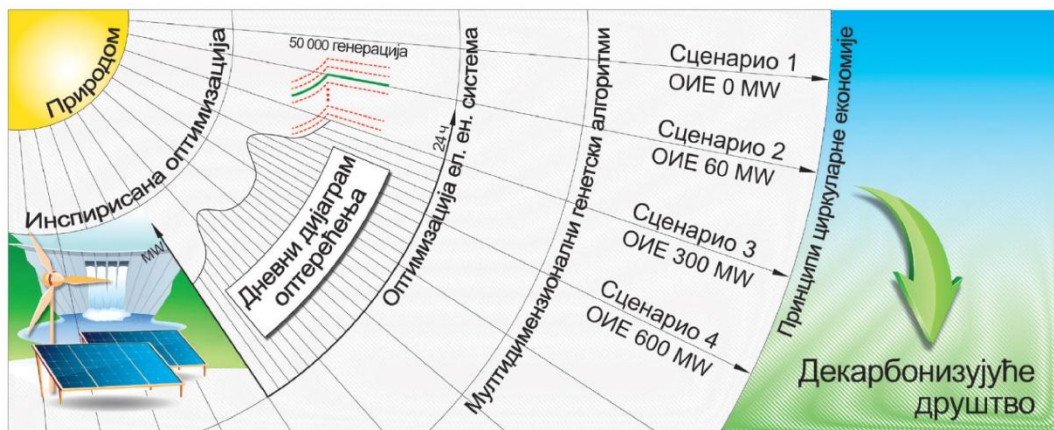
Табела 12: Интеграција сунчеве енергије за производњу електричне у Републици Србији

Име и презиме (Само за интервју)	
Позиција у предузећу (Само за интервју)	
Запослен/а у предузећу (Само за интервју)	
Звање (Само за интервју)	
Да ли се у свом послу бавите било којим аспектом интеграције соларне енергије?	да не
Колико имате година?	
Пол:	М – Ж
Степен образовања:	Основно, средње, факултет, мастер, докторат?
Да ли знате неку соларну електрану или инсталиране фотонапонске панеле у Србији? (заокружити)	да (навести, евентуално и са кључним подацима) не
Да ли законска регулатива у области интеграције соларне енергије у Србији прати законску регулативу ЕУ? (заокружити)	да не
Зашто до сада није више људи инвестирало у соларне панеле у Србији? (може се заокружити више одговора)	нема довољно инвестиција стимулативне тарифе су недовољне стимулативне тарифе су нестабилне тржиште се у целости сматра нестабилним слободан одговор
Да ли бисте Ви, када бисте имали потребна средства, инвестирали у соларну електрану у Србији(заокружити)	да (где) не

Да ли бисте инвестирали у некој другој земљи и где? (заокружити)	да (где) не
Шта блокира већу примену и које су препреке бржем развоју и већој примени соларне енергије у Србији?	Слободан одговор (може се користити и полеђина папира)
Ваш коментар?	Слободан одговор (може се користити и полеђина папира)

Прилог 2.

Слика 28. Графички приказ развоја интердисциплинарног модела МДГА



13. Референтна литература

- Abid, H., Thakur, J., Khatiwada, D., & Bauner, D. (2021). Energy storage integration with solar PV for increased electricity access: A case study of Burkina Faso. *Energy*, 230, 120656.
- Abu-Bader, S. H. (2021). Using statistical methods in social science research: With a complete SPSS guide. Oxford University Press, USA.
- Adedeji, A. R., Zaini, F., Mathew, S., Dagar, L., Petra, M. I., & De Silva, L. C. (2020). Sustainable energy towards air pollution and climate change mitigation. *Journal of environmental management*, 260, 109978.
- Ahmad Ludin, N., Ahmad Affandi, N. A., Purvis-Roberts, K., Ahmad, A., Ibrahim, M. A., Sopian, K., & Jusoh, S. (2021). Environmental impact and levelised cost of energy analysis of solar photovoltaic systems in selected Asia Pacific Region: A cradle-to-grave approach. *Sustainability*, 13(1), 396.
- Batas-Bjelić, I., Rajaković, N., Ćosić, B., & Duić, N. (2015). A realistic EU vision of a lignite-based energy system in transition: Case study of Serbia. *Thermal Science*, 19(2), 371-382.
- Benkovic, S., Milanovic, N., & Milosavljevic, M. (2017). A Framework for the Evaluation of the Feasibility of Public-Private Partnership in Local Government in Serbia. *Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation*, 13(4), 7-23.
- Besançon, R., De Chalendar, G., Ferret, O., Gara, F., Mesnard, O., Laïb, M., & Semmar, N. (2010). LIMA: A Multilingual Framework for Linguistic Analysis and Linguistic Resources Development and Evaluation. LREC,
- Botterud, A., & Auer, H. (2020). Resource Adequacy with Increasing Shares of Wind and Solar Power: A Comparison of European and US Electricity Market Designs. *Economics of Energy & Environmental Policy*, 9(2), 71-99.
- Canales, F. A., Jurasz, J. K., Guezgouz, M., & Beluco, A. (2021). Cost-reliability analysis of hybrid pumped-battery storage for solar and wind energy integration in an island community. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 44, 101062.
- Cerqueira, P. A., Soukiazis, E., & Proença, S. (2021). Assessing the linkages between recycling, renewable energy and sustainable development: Evidence from the OECD countries. *Environment, Development and Sustainability*, 23(7), 9766-9791.
- Child, M., Koskinen, O., Linnanen, L., & Breyer, C. (2018). Sustainability guardrails for energy scenarios of the global energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 321-334.

- Cvijović, J., Obradović, V., & Todorović, M. (2021). Stakeholder Management and Project Sustainability—A Throw of the Dice. *Sustainability*, 13(17), 9513.
- de Chalendar, J. A., & Benson, S. M. (2019). Why 100% renewable energy is not enough. *Joule*, 3(6), 1389-1393.
- Dedinec, A., Taseska-Gjorgievska, V., Markovska, N., Pop-Jordanov, J., Kanevce, G., Goldstein, G., Pye, S., & Taleski, R. (2016). Low emissions development pathways of the Macedonian energy sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1202-1211.
- Do, B., Tran, T., & Nguyen, N. (2021). Renewable Energy Integration in Vietnam's Power System: Generation Adequacy Assessment and Strategic Implications. *Energies*, 14(12), 3541.
- Draper, N. R., & Smith, H. (2014). *Applied regression analysis*. John Wiley & Sons.
- Eluwole, K. K., Saint Akadiri, S., Alola, A. A., & Etokakpan, M. U. (2020). Does the interaction between growth determinants a drive for global environmental sustainability? Evidence from world top 10 pollutant emissions countries. *Science of the Total Environment*, 705, 135972.
- Gburčik, V., Mastilović, S., & Vučinić, Ž. (2013). Assessment of solar and wind energy resources in Serbia. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5(4), 041822.
- Gökgöz, F., & Yalçın, E. (2021). Analyzing the Renewable Energy Sources of Nordic and Baltic Countries with MCDM Approach. *Sustainable Engineering for Life Tomorrow*, 203.
- Hoarcă, I. C. (2021). Romania's energy strategy 2020-2030 with the perspective of 2050. 2021 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI),
- Hoicka, C. E., Lowitzsch, J., Brisbois, M. C., Kumar, A., & Camargo, L. R. (2021). Implementing a just renewable energy transition: Policy advice for transposing the new European rules for renewable energy communities. *Energy Policy*, 156, 112435.
- Hoicka, C. E., Savic, K., & Campney, A. (2021). Reconciliation through renewable energy? A survey of Indigenous communities, involvement, and peoples in Canada. *Energy Research & Social Science*, 74, 101897.
- Huang, P., Sun, Y., Lovati, M., & Zhang, X. (2021). Solar-photovoltaic-power-sharing-based design optimization of distributed energy storage systems for performance improvements. *Energy*, 222, 119931.
- Jäger-Waldau, A., Kougias, I., Taylor, N., & Thiel, C. (2020). How photovoltaics can contribute to GHG emission reductions of 55% in the EU by 2030. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 126, 109836.

- Jankowska, B., Staliński, A., & Trapczyński, P. (2021). Public policy support and the competitiveness of the renewable energy sector—The case of Poland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 149*, 111235.
- Jithendranath, J., Das, D., & Guerrero, J. M. (2021). Probabilistic optimal power flow in islanded microgrids with load, wind and solar uncertainties including intermittent generation spatial correlation. *Energy, 222*, 119847.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K.-H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82*, 894-900.
- Karakosta, C., Flouri, M., Dimopoulou, S., & Psarras, J. (2012). Analysis of renewable energy progress in the western Balkan countries: Bosnia–Herzegovina and Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16*(7), 5166-5175.
- Khan, I., Jack, M. W., & Stephenson, J. (2021). Dominant factors for targeted demand side management—An alternate approach for residential demand profiling in developing countries. *Sustainable Cities and Society, 67*, 102693.
- Khan, S., Khan, M. K., & Muhammad, B. (2021). Impact of financial development and energy consumption on environmental degradation in 184 countries using a dynamic panel model. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(8), 9542-9557.
- Khooaruth, A., Oree, V., Elahee, M., & Clark II, W. W. (2017). Exploring options for a 100% renewable energy system in Mauritius by 2050. *Utilities Policy, 44*, 38-49.
- Knodt, M. (2018). EU energy policy. In *Handbook of European Policies*. Edward Elgar Publishing.
- Kühnbach, M., Bekk, A., & Weidlich, A. (2021). Prepared for regional self-supply? On the regional fit of electricity demand and supply in Germany. *Energy Strategy Reviews, 34*, 100609.
- Lai, C. S., & Locatelli, G. (2021). Economic and financial appraisal of novel large-scale energy storage technologies. *Energy, 214*, 118954.
- Liebensteiner, M., & Wrienz, M. (2020). Do intermittent renewables threaten the electricity supply security? *Energy Economics, 87*, 104499.
- Lokeshgupta, B., & Sivasubramani, S. (2019). Multi-objective home energy management with battery energy storage systems. *Sustainable Cities and Society, 47*, 101458.
- Lü, X., Lu, T., Yang, T., Salonen, H., Dai, Z., Droege, P., & Chen, H. (2021). Improving the energy efficiency of buildings based on fluid dynamics models: a critical review. *Energies, 14*(17), 5384.

- Ma, Z., Li, M.-J., Zhang, K. M., & Yuan, F. (2021). Novel designs of hybrid thermal energy storage system and operation strategies for concentrated solar power plant. *Energy*, *216*, 119281.
- McIlwaine, N., Foley, A. M., Morrow, D. J., Al Kez, D., Zhang, C., Lu, X., & Best, R. J. (2021). A state-of-the-art techno-economic review of distributed and embedded energy storage for energy systems. *Energy*, *229*, 120461.
- Mihic, M. M., Petrovic, D. C., Obradovic, V. L., & Vuckovic, A. M. (2015). Project management maturity analysis in the Serbian energy sector. *Energies*, *8*(5), 3924-3943.
- Mihic, M. M., Petrovic, D. C., Vučković, A. M., Obradovic, V. L., & Đurović, D. M. (2012). Application and importance of cost-benefit analysis to energy efficiency projects in public buildings: The case of Serbia. *Thermal Science*, *16*(3), 915-929.
- Milenković, M., & Pešterić, M. (2021). Transition to Electricity from Renewables in Line with the EU Standards in Serbia: Integration With (Out) Membership and Inconsistent Implementation. In *From Economic to Energy Transition* (pp. 515-543). Springer.
- Moncada, L. G. G., Asdrubali, F., & Rotili, A. (2013). Influence of new factors on global energy prospects in the medium term: comparison among the 2010, 2011 and 2012 editions of the IEA's World Energy Outlook reports. *Economics and Policy of Energy and the Environment*.
- Nag, A. K., & Sarkar, S. (2021). Techno-economic analysis of a micro-hydropower plant consists of hydrokinetic turbines arranged in different array formations for rural power supply. *Renewable Energy*, *179*, 475-487.
- Nair, M., Arvin, M. B., Pradhan, R. P., & Bahmani, S. (2021). Is higher economic growth possible through better institutional quality and a lower carbon footprint? Evidence from developing countries. *Renewable Energy*, *167*, 132-145.
- Obradović, V., Todorović, M., & Bushuyev, S. (2018). Sustainability and agility in project management: contradictory or complementary? Conference on Computer Science and Information Technologies,
- Olabi, A., Onumaegbu, C., Wilberforce, T., Ramadan, M., Abdelkareem, M. A., & Al-Alami, A. H. (2021). Critical review of energy storage systems. *Energy*, *214*, 118987.
- Ortega-Arriaga, P., Babacan, O., Nelson, J., & Gambhir, A. (2021). Grid versus off-grid electricity access options: A review on the economic and environmental impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *143*, 110864.
- Parvizmosaed, M., Farmani, F., Rahimi-Kian, A., & Monsef, H. (2014). A multi-objective optimization for energy management in a

- renewable micro-grid system: A data mining approach. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 6(2), 023127.
- Patel, N., Gupta, N., Kumar, A., & kumar Verma, A. (2018). Multifunctional grid interactive solar photovoltaic systems: A comprehensive review. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 8(4), 2116-2130.
- Pavlović, B., Ivezić, D., & Živković, M. (2021). A multi-criteria approach for assessing the potential of renewable energy sources for electricity generation: Case Serbia. *Energy Reports*.
- Peirovi, R., Moghaddam, A., Miller, C., Moteallemi, A., Rouholamini, M., & Moghbeli, M. (2020). Optimal Chlorination Station Scheduling in an Operating Water Distribution Network Using GANetXL. In *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions, Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability* (pp. 337-340). Springer.
- Peláez-Peláez, S., Colmenar-Santos, A., Pérez-Molina, C., Rosales, A.-E., & Rosales-Asensio, E. (2021). Techno-economic analysis of a heat and power combination system based on hybrid photovoltaic-fuel cell systems using hydrogen as an energy vector. *Energy*, 224, 120110.
- Petrichenko, L., Petrichenko, R., Sauhats, A., Baltputnis, K., & Broka, Z. (2021). Modelling the Future of the Baltic Energy Systems: A Green Scenario. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 58(3), 47-65.
- Pfeifer, A., Herc, L., Bjelić, I. B., & Duić, N. (2021). Flexibility index and decreasing the costs in energy systems with high share of renewable energy. *Energy Conversion and Management*, 240, 114258.
- Plessmann, G., & Blechinger, P. (2017). How to meet EU GHG emission reduction targets? A model based decarbonization pathway for Europe's electricity supply system until 2050. *Energy Strategy Reviews*, 15, 19-32.
- Potić, I., Joksimović, T., Milinčić, U., Kićović, D., & Milinčić, M. (2021). Wind energy potential for the electricity production-Knjaževac Municipality case study (Serbia). *Energy Strategy Reviews*, 33, 100589.
- Priesmann, J., Nolting, L., Kockel, C., & Praktijnjo, A. (2021). Time series of useful energy consumption patterns for energy system modeling. *Scientific Data*, 8(1), 1-12.
- Radojicic, Z., Isljamovic, S., Petrovic, N., & Jeremic, V. (2012). A Novel Approach to Evaluating Sustainable Development (Nowe podejście do waloryzacji rozwoju zrównoważonego). *Problemy Ekorozwoju—Problems of Sustainable Development*, 7(1), 81-85.
- Rajaković, N., & Bjelić, I. B. (2018). Optimalan nivo učešća obnovljivih izvora energije u finalnoj potrošnji energije u Srbiji. *Zbornik*

- Međunarodne konferencije o obnovljivim izvorima električne energije–MKOIEE*, 1(1), 37-44.
- Rodrigo, S. G. (2016). Changing the Energy Model: Step Back on the Europe 2050 Strategy. *Eur. Energy & Envtl. L. Rev.*, 25, 65.
- Şahin, U. (2021). Future of renewable energy consumption in France, Germany, Italy, Spain, Turkey and UK by 2030 using optimized fractional nonlinear grey Bernoulli model. *Sustainable production and consumption*, 25, 1-14.
- Sarkar, D. (2007). Lean for service organizations and offices: A holistic approach for achieving operational excellence and improvements. ASQ Quality Press.
- Scheller, F., Doser, I., Schulte, E., Johanning, S., McKenna, R., & Bruckner, T. (2021). Stakeholder dynamics in residential solar energy adoption: findings from focus group discussions in Germany. *Energy Research & Social Science*, 76, 102065.
- Sepúlveda-Mora, S. B., & Hegedus, S. (2021). Making the case for time-of-use electric rates to boost the value of battery storage in commercial buildings with grid connected PV systems. *Energy*, 218, 119447.
- Simon, J. L. (2019). *The economics of population growth*. Princeton university press.
- Simpson, N. P., Rabenold, C. J., Sowman, M., & Shearing, C. D. (2021). Adoption rationales and effects of off-grid renewable energy access for African youth: A case study from Tanzania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110793.
- Solangi, Y. A., Longsheng, C., & Shah, S. A. A. (2021). Assessing and overcoming the renewable energy barriers for sustainable development in Pakistan: An integrated AHP and fuzzy TOPSIS approach. *Renewable Energy*, 173, 209-222.
- Sowinski, J. (2021). The Impact of the Selection of Exogenous Variables in the ANFIS Model on the Results of the Daily Load Forecast in the Power Company. *Energies*, 14(2), 345.
- Sribna, Y., Trokhymets, O., Nosatov, I., & Kriukova, I. (2019). The globalization of the world coal market—contradictions and trends. E3S Web of Conferences,
- Stankevičiūtė, Ž., & Kunsakaja, S. (2021). Towards to Sustainable Development: Theoretical Research.
- Steblyanskaya, A., Qingchao, X., Razmanova, S., Steblyanskiy, N., & Denisov, A. (2021). China and Russia Energy Strategy Development: Arctic LNG. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(4), 450-460.
- Stevovic, I., Jovanovic, J., & Stevovic, S. (2017). Sustainable management of Danube renewable resources in the region of Iron Gate: Djerdap 1, 2 and 3 case study. *Management of Environmental Quality: An International Journal*.

- Stevovic, I., Mirjanic, D., & Petrovic, N. (2021). Integration of solar energy by nature-inspired optimization in the context of circular economy. *Energy*, 235, 121297.
- Stevović, I., Mirjanić, D., & Stevović, S. (2019). Possibilities for wider investment in solar energy implementation. *Energy*, 180, 495-510.
- Stevović, S., & Nestorović, Ž. (2016). Impact of environment GIS modeling on sustainable water systems management. *Procedia engineering*, 162, 293-300.
- Strielkowski, W., Tarkhanova, E., Baburina, N., & Streimikis, J. (2021). Corporate Social Responsibility and the Renewable Energy Development in the Baltic States. *Sustainability*, 13(17), 9860.
- Sun, Y., Ma, R., Chen, J., & Xu, T. (2020). Heuristic optimization for grid-interactive net-zero energy building design through the glowworm swarm algorithm. *Energy and Buildings*, 208, 109644.
- Tarroja, B., & Hittinger, E. (2021). The value of consumer acceptance of controlled electric vehicle charging in a decarbonizing grid: The case of California. *Energy*, 229, 120691.
- Telli, A., Erat, S., & Demir, B. (2021). Comparison of energy transition of Turkey and Germany: energy policy, strengths/weaknesses and targets. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(2), 413-427.
- Teng, X., Liu, F. p., & Chiu, Y. h. (2020). The impact of coal and non-coal consumption on China's energy performance improvement. *Natural Resources Forum*,
- Todić, D. (2020). "Climate justice" and the Paris climate agreement in the light of greenhouse gas emissions reduction targets. *Medjunarodni problemi*, 72(3), 467-498.
- Todorović, M., & Obradović, V. (2018). Sustainability in project management: a project manager's perspective. *Sustainable growth and development in small open economies*, 88.
- Todorović, M. L., Petrović, D. Č., Mihić, M. M., Obradović, V. L., & Bushuyev, S. D. (2015). Project success analysis framework: A knowledge-based approach in project management. *International journal of project management*, 33(4), 772-783.
- Toljaga-Nikolić, D., Todorović, M., Dobrota, M., Obradović, T., & Obradović, V. (2020). Project management and sustainability: Playing trick or treat with the planet. *Sustainability*, 12(20), 8619.
- Ugwoke, B., Corgnati, S., Leone, P., Borchiellini, R., & Pearce, J. (2021). Low emissions analysis platform model for renewable energy: Community-scale case studies in Nigeria. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102750.

- Uwineza, L., Kim, H.-G., & Kim, C. K. (2021). Feasibility study of integrating the renewable energy system in Popova Island using the Monte Carlo model and HOMER. *Energy Strategy Reviews*, 33, 100607.
- Wallerstein, D. (2020). Food-energy-water (FEW) nexus: Rearchitecting the planet to accommodate 10 billion humans by 2050. *Resour. Conserv. Recycl*, 155, 104658.
- Xu, Q., Lu, Y., Hwang, B.-G., & Kua, H. W. (2021). Reducing residential energy consumption through a marketized behavioral intervention: The approach of Household Energy Saving Option (HESO). *Energy and Buildings*, 232, 110621.
- Yang, D.-x., Jing, Y.-q., Wang, C., Nie, P.-y., & Sun, P. (2021). Analysis of renewable energy subsidy in China under uncertainty: Feed-in tariff vs. renewable portfolio standard. *Energy Strategy Reviews*, 34, 100628.
- Yang, X. J., Hu, H., Tan, T., & Li, J. (2016). China's renewable energy goals by 2050. *Environmental Development*, 20, 83-90.
- Yao, Y., Xu, J.-H., & Sun, D.-Q. (2021). Untangling global levelised cost of electricity based on multi-factor learning curve for renewable energy: Wind, solar, geothermal, hydropower and bioenergy. *Journal of cleaner production*, 285, 124827.
- Young, J. (2021). A Light at the End of a Tunnel or a Freight Train? A Comparative Analysis of Energy Transition in Croatia and Serbia. In *From Economic to Energy Transition* (pp. 545-577). Springer.
- Zhu, T., Wills, R. G., Lot, R., Kong, X., & Yan, X. (2021). Optimal sizing and sensitivity analysis of a battery-supercapacitor energy storage system for electric vehicles. *Energy*, 221, 119851.

Korištene internet stranice:

<https://www.electricitymap.org/map>, pregledano 05.05.2021.

<https://www.irena.org/>, pregledano 25.05.2021.

<https://www.iea.org/>, pregledano 10.03.2021.

<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/republic-serbia/vulnerability>

<https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

<http://popis2011.stat.rs/>

http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_price_statistics, pregledano 07.07.2021.

<https://tradingeconomics.com/country-list/gdp-per-capita?continent=europe>, pregledano 04.07.2021.

<http://www.res-legal.eu/home/>, pregledano 03.07.2021.

<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=DK>,
pregledano 02.07.2021.

<http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/>, pregledano 05.07.2021.

<https://ourworldindata.org/>, pregledano 05.07.2021.

<https://www.oecd.org/development/development-co-operation-report-20747721.htm>, pregledano 15.01.2021.

<https://www.worldbank.org/en/about/annual-report>, pregledano
17.02.2021.

<http://www.eps.rs/lat/Poslovanje-EE>, pregledano, 15.07.2021.

<https://www.energetskiportal.rs/obnovljivi-izvori-energije/energija-sunca/>

14. Biografija autora

Школовање

Иван Стевовић је рођен 26.05.1992. године у Београду, Република Србија. Завршио је III београдску гимназију 2011. године. Исте године уписао је на Универзитету Сингидунум - Пословни факултет у Београду, где је дипломирао 2015. године са просечном оценом 9,88. стекавши титулу дипломираног економисте. Завршни дипломски рад под називом „Зелени маркетинг у функцији одрживог развоја и повећања производње соларне енергије“ одбранио је са оценом 10.

Дипломске академске – мастер студије уписао је 2015. године на Универзитету у Београду, на Факултету организационих наука, на студијском програму Менаџмент, модул Еколошки менаџмент и одрживи развој. И њих је завршио у року са просечном оценом 9,43.

2016е године је са оценом 10 одбранио завршни рад (мастер тезу) под насловом "Могућности коришћења соларне енергије у функцији одрживог развоја еколошког кампа", чиме је стекао звање мастер менаџер. Ментор је била проф. др Маја Леви Јакшић.

Докторске студије, студијски програм Менаџмент, на Факултету организационих наука уписао је 2016/2017-е године. Положио је све, програмом предвиђене испите на докторским студијама са просечном оценом 9,2, пријавио и одбранио Приступни рад и прошао процедуру прихватања извештаја и прихватања теме докторске дисертације.

Радно искуство

Иван Стевовић је радио најпре као менаџер у еколошким камповима. Захваљујући томе је током факултета и мастер студија, као дипломирани економиста, био ангажован преко Студентске задруге на научно истраживачком пројекту технолошког развоја Министарства науке Републике Србије: „Повећање енергетске ефикасности при концепцијском решавању искоришћења обновљивих ресурса у функцији одрживог развоја“. У оквиру тог пројекта Иван Стевовић је учествовао на инсталацији експерименталне мини соларне електране у еколошком кампу.

Иван Стевовић је од 2015е године за време мастер студија радио као сарадник у настави на Универзитету Унион Никола Тесла, на Факултету за екологију и заштиту животне средине, на Архитектонском и на Грађевинском факултету. Био је ангажован на предметима:

- Обновљиви извори енергије;
- Оцена и управљање ресурсима;
- Инжењерство заштите животне средине;
- Екологија и грађена средина.

Поред тога, Иван Стевовић је био учесник на научно истраживачком пројекту технолошког развоја, руковођеном од стране Машинског факултета Универзитета у Београду, подпројекат бр ТР35030/3: „Развој и примена методолошких и софтверских корелационих модела техничких система и животне средине“. Пројекат је финансирало Министарство просвете, науке и технолошког развоја.

Данас је Иван Стевовић запослен у Иновационом центру Машинског факултета у Београду.

Из наведених конкретних ангажовања проистекло је учешће Ивана Стевовића, као *Management Committee Substitute*, на два европска пројекта за сарадњу у науци и технологији ЕУ (*“Renewable energy and landscape management”* – „Обновљиви извори енергије и управљање пејзажом“ и *“Improving Applicability of Nature-Inspired Optimization by Joining Theory and Practice”* – „Унапређење примене природом инспирисаних оптимизација кроз теорију и праксу“).

Иван Стевовић је тренутно учесник на пројекту сарадње са дијаспором, финансираном од стране Фонда за науку Републике Србије. Радни назив пројекта је: Вештачка интелигенција и природом инспирисане оптимизације у функцији одрживог управљања водама (*“Artificial Intelligence and Nature Inspired Optimization in the Function of Sustainable Water Management”*). У оквиру тог пројекта Иван Стевовић је у директној сарадњи са истраживачима из Техничког универзитета у Делфту.

Из напред наведених активности и пројеката су проистекли неки научни радови и на њих се ослањају неки делови докторске дисертације.

Области научног интересовања Ивана Стевовића су: интердисциплинарна истраживања у менаџменту, еколошки менаџмент и одрживи развој, обновљиви извори енергије.

15. Списак објављених радова аутора

Током досадашњег рада Иван Стевовић је написао више научних публикација и учествовао као њихов излагач на међународним и домаћим скуповима и конференцијама. Списак објављених радова, класификован према правилнику Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије је следећи:

M21 - Радови у врхунском часопису међународног значаја:

1. **Stevović Ivan**, Mirjanić Dragoljub, Petrović Nataša. *Integration of solar energy by nature-inspired optimization in the context of circular economy*, Energy 235 (2021): 121297. ISSN 0360-5442, IF 7.147, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121297>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544221015450>/© 2021 Elsevier Ltd.
2. **Stevović Ivan**, Dragoljub Mirjanić, and Stevović Svetlana. "Possibilities for wider investment in solar energy implementation." *Energy* 180 (2019): 495-510. ISSN 0360-5442, IF 7.147, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.194> 0360-5442/© 2019 Elsevier Ltd.

M24 - Радови у часопису међународног значаја признатом посебном одлуком Министарства наука (МН):

3. Nikolic Vladimir, Ivanis Marko, **Stevovic Ivan**, *Innovation of organization model for integral rural development - Serbia case study*, Economics of Agriculture, Year 61, No. 3 (695-706) 2014, Belgrade, UDC 338.43:63, ISSN 0352-3462,

M33 - Радови саопштени на скуповима међународног значаја штампани у целини:

4. **Stevović Ivan**, Obradović Vladimir, and Todorović Marija, *Interdisciplinary RES integration models for supporting decarbonizing society projects*, 10th IPMA Research Conference "Value co-creation in the project society", 19-21 June 2022, Belgrade, Serbia

5. **Stevović Ivan**, *Interdisciplinary Research on Solar Energy Implementation in the Context of Circular Economy*, SDEWES2021-0792, 16th SDEWES Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, October 10 - 15, 2021. Dubrovnik, Croatia
6. **Stevović Ivan**, *Contribution to Strategic Project Management for Dams towards Sustainability*, SDEWES2021-0805, 16th SDEWES Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, October 10 - 15, 2021. Dubrovnik, Croatia
7. **Stevović Ivan**, Vladimir Obradović, *New Values in Photovoltaic Panels Life Cycle in the Function of Sustainable System Optimization*, The 14th International Scientific Conference Contemporary Materials, September 9-10, 2021. The Academy of Sciences and Arts of Republic of Srpska, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina
8. **Stevović Ivan**, Dragoljub Mirjanic, *Sustainability and More Intense Implementation of Solar Energy by Nature Inspired Optimization*, 2nd LA SDEWES - Latin American Conference on Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems, February 9 - 12, 2020, Buenos Aires, Argentina, ISSN 2706-3674 (digital proceedings), Publisher Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Zagreb
9. **Stevović Ivan**, *Solar energy implementation as innovation in a system of green marketing logistic*, 1st LA SDEWES Conference, January 28 - 31, 2018, Rio de Janeiro, Brazil, 2706-3674 (digital proceedings), Publisher Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Zagreb
10. **Stevović Ivan**, Gordana Milosavljević, *Specific training and particularity of human resources management for sports tourist centers*, 6th International Scientific Tourism Conference - BIST 2017, "Sustainable tourism - way to success", Vrnjačka Banja 23-25. juna 2017. ISBN 978-86-80510-02-6 (ECG), pp 80-84.
11. **Stevović Ivan**, *Economic analyses of new photovoltaic materials application and their effects on landscape management*, Proceeding "New Functional Materials and High Technology", Tivat, Montenegro, ISBN 978-5-905364-10-5, pp 37-49

M34 - Радови са скупова међународног значаја штампани у изводу:

12. **Stevović Ivan**, *Research on possible organizational improvement of sport tourist centre as business system*, Abstract Book of 8th International conference of political economy ICOPEC 2017, Institutions, National Identity, Power, and Governance in the 21st Century, June 28-30, 2017, Belgrade, Serbia, www.icopec.org
13. **Stevović Ivan**, *Organization of solar energy production with the goal of long term financial benefits*, International Conference Power Plants 2016, November, 23rd until November, 27th, 2016. Zlatibor, Serbia, ISBN 978-86-7877-027-2, pp 109

M51 - Rad u vodećem časopisu nacionalnog značaja:

14. **Stevović Ivan**, Kirin Snežana, Božić Ivan, *Artificial intelligence and nature inspired optimization on integrative capacity of renewable energy in the western Balkan*, Journal Contemporary Materials, ISSN 1986-8669(Print), ISSN 1986-8677 (Online) doi: 10.725 COBISS.RS-ID 18414342, Publisher: Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Bana Lazarevića 1, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, B&H, www.savremenimaterijali.info
15. **Stevović Ivan**, *Strategic management as a sustainable concept of solar program development*, Ecologica, pp 797-801, Volume 24, No 88, (2017), ISSN 0354 – 3285.
16. **Stevović Ivan**, Sustainability and profitability of solar energy application with case study, Ecologica, pp 480-487, Volume 83(2016)
17. **Stevović, Ivan**. "Strategic orientation to solar energy production and long term financial benefits." *Arhiv za tehničke nauke/Archives for technical sciences* 1, no. 17 (2017). **Međunarodni časopis na proširenoj ESCI listi** (pojavljuje se na KoBSONu, nema IF).

Иван Стевовић, према бази података *Scopus*, има: 20 цитата, без аутоцитата, *h-index* = 3.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора **Иван Стевовић**

Број индекса **5031/2016**

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом **Интердисциплинарни модели стратешких интеграција обновљивих извора енергије**

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије
докторске дисертације**

Име и презиме аутора: **Иван Стевовић**
Број индекса: **5031/2016**
Студијски програм: **Менаџмент**
Наслов рада: **Интердисциплинарни модели стратешких
интеграција обновљивих извора енергије**
Ментор: **проф. др Владимир Обрадовић**

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао ради похрањења у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране дисертације.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом: **Интердисциплинарни модели стратешких интеграција обновљивих извора енергије** која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио:

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)**

④ Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.