

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Илија Р. Батас-Бјелић, дипл. инг. ел.

**СПРЕГНУТА МЕТОДА ЗА ОПТИМАЛНО
ПЛАНИРАЊЕ ОДРЖИВИХ
ЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА БАЗИ
СИМУЛАЦИЈА**

докторска дисертација

Београд, 2016

UNIVERSITY OF BELGRADE

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING

Ilija R. Batas-Bjelić, dipl. ing.

**SIMULATION-BASED OPTIMIZATION OF
SUSTAINABLE ENERGY SYSTEMS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2016

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ И ЧЛАНОВИМА КОМИСИЈЕ

Ментор:

Проф. др Никола Рајаковић, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Чланови комисије:

Проф. др Никола Рајаковић, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Проф. др Иван Шкокљев, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Проф. др Милун Бабић, Универзитет у Крагујевцу - Факултету инжењерских наука

Проф. др Невен Дуић, Свеучилиште у Загребу – Факултет стројарства и бродоградње

Проф. др Горан Квашчев, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Датум одбране: _____.

ЗАХВАЛНОСТ

Поред ментора проф др Николе Рајаковића који је довео почетне идеје у дисертабилну форму и сарадника који су на директан начин били укључени у истраживање које је трајало 8,000-10,000 радних сати током последњих пет година од којих сам пуно научио што је резултирало мојом дисертацијом, желим да захвалим појединцима и институцијама на индиректној помоћи без које не бих имао прилику да уобличим и прикажем ово истраживање.

Најпре желим да захвалим проф. др Србијанки Турајлић за подршку током стицања инжењерског звања, у одласку и након повратка са праксе у Немачкој. Такође, захвалност дугујем и Дуњи Раух и колегама Техничког Универзитета у Дортмунду на охрабрењу да кренем на докторске студије. Немачкој служби за академску размену дугујем захвалност за финансијску подршку мојих боравака у Савезној Републици Немачкој.

Захвалност дугујем професору др Волфгангу Ајхамеру, на гостопримству које ми је приредио на Фраунхоферовом институту у Карлсруеу и од кога сам учио о енергетској ефикасности, упорности и радној култури. Др Александру Ковачевићу захваљујем за сугестије како да размишљам изван оквира инжењерског приступа. Захваљујем проф. др Лианг Лију за пример систематичног приступа припреми докторске дисертације. Марији Радовановић дугујем захвалност за подршку након што су ови нови кораци покренути.

Проф. др Градимиру Божиловићу дугујем захвалност за ауторитет који је прерастао у пријатељство. Проф. др Зорану Поповићу дугујем захвалност и поштовање за књигу [1] коју је написао и која ми је заиста *била од користи*.

Колеги, Ненаду Королији захваљујем на несебичном ангажовању у разговорима које је смо имали откако је дисертација кренула у правцу спрегнутог модела. Проф. др Бранку Ковачевићу захваљујем на визији која је омогућила да се са другим колегама 2011. године запослим као истраживач приправник на Електротехничком факултету.

Мој рад на докторској дисертацији финансиран је од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, пројекат бр. 42009.

На крају захвалан сам својој породици и свима са којима сам сарађивао.

СПРЕГНУТА МЕТОДА ЗА ОПТИМАЛНО ПЛАНИРАЊЕ ОДРЖИВИХ ЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА БАЗИ СИМУЛАЦИЈА

Резиме

Овај рад има за циљ да на научној основи, у квантитативном смислу, одговори на питање која је то техничко-економски оптимална структура националног енергетског система која се саветује код усаглашавања енергетске политике у случају Републике Србије са Европском Унијом. Питање планирања одрживих енергетских система је отворено, за сврху његовог решавања погодно је увођење у научни приступ. Од постојећих фамилија метода енергетског планирања, заснованих на рачунарском моделу, изабрана је и реализована спрегнута метода кроз интегрални приступ коришћењем постојећих модела EnergyPLAN-а и GENOPT-а. Техничко-економски оптималним и изводљивим сценаријима приказана је могућа стратегија усаглашавања енергетске политике Републике Србије и Европске Уније до 2030. године, затим годишњи енергетски, емисиони и финансијски биланс сектора производње и потрошње енергије који омогућава да се развије детаљни програм њеног остваривања. Са повећањем удела варијабилних обновљивих извора енергије у смислу усаглашавања енергетске политике Републике Србије са циљевима Европске Уније за 2050. годину веће потребе за флексибилношћу отварају могућности примене интелигентних енергетских мрежа првенствено кроз управљање потрошњом и електрична возила. Реализација националних, регионалних и локалних енергетских планова могућа је кроз конкретне алате енергетске политике који су на располагању заинтересованим странама у току приступних преговора.

Кључне речи: планирање, модел националног енергетског система, Република Србија, рачунарске симулације, интелигентне енергетске мреже, Европска унија, енергетска транзиција, оптимална енергетска политика, одрживи развој

Научна област: Техничке науке – Електротехника

Ужа научна област: Електроенергетски системи

УДК: 621.3

SIMULATION-BASED OPTIMIZATION OF SUSTAINABLE ENERGY SYSTEMS

Abstract

The aim of this work is scientifically based quantification of the problem of economically optimal national energy system structure which helps harmonization of Republic of Serbia energy policy with European Union. The open question of planning of the sustainable energy systems is suitable to be solved within scientific approach. Among existing energy systems planning methods, based on computer tool, the soft-linked method has been chosen and realized through integrated approach using existing tools EnergyPLAN and GENOPT. The possible strategy of harmonized energy policy of Republic of Serbia with European Union in the year 2030 are presented with technically feasible and economically optimal scenarios with energy, emission and finance yearly balances. More variable renewable energy sources in the case of harmonized energy policy of Republic of Serbia with European Union in the year 2050, opens the flexibility gap for the smart energy systems firstly through demand response and plug in electric vehicles. The realization of national, regional and local energy strategies during accession negotiation is possible by using the energy policy tools available to the various stakeholders.

Keywords: Planning, national energy system model, Republic of Serbia, computer model, smart energy networks, European Union, energy transition, optimal energy policy, sustainable development.

Scientific field: Technical science – Electrical engineering

Specific scientific field: Power systems

UDK: 621.3

САДРЖАЈ

1. Увод у оптимално планирање одрживих националних енергетских система.....	1
1.1. Избор и формулација истраживачког проблема.....	1
1.1.1. Домен истраживања	1
1.1.2. Избор циља истраживања	3
1.1.3. Академски значај	3
1.1.4. Друштвена релевантност	3
1.2. Циљ истраживања.....	4
1.3. Избор и формулација хипотеза-полазних претпоставки	5
1.3.1. Ограничења истраживачког домена	6
1.4. Одређивање предмета истраживања и операционализација појмова	7
1.5. Избор метода истраживања	9
1.6. Структура истраживања.....	9
2. Преглед стања у области стратешког планирања националних енергетских система и избор одговарајућег метода истраживања.....	11
2.1. Типологија метода за планирање и модела националних енергетских система.....	11
2.1.1. Методе енергетског планирања	12
2.1.2. Енергетски модели	14
2.1.3. Оптимизациони модели и методе оптимизације, програмски алати и платформе.....	17
2.1.4. Моделирање одрживости.....	18
2.1.5. Моделирање обновљивих извора енергије	19
2.1.6. Моделирање енергетске ефикасности	21
2.1.7. Моделирање потрошње.....	22
2.1.7.1. Предвиђање потрошње	22
2.1.7.2. Управљање потрошњом.....	22

2.1.7.3. Одзив потрошње	23
2.1.8. Моделирање циљева усаглашавања енергетске политике	23
2.2. Метода сценарија.....	26
2.3. Стратешко планирање енергетике: Република Србија.....	27
2.4. Методолошка ограничења постојећих и предлог методе у складу са потребама.	32
2.4.1. Ограничења постојећих модела и методологија	34
2.4.2. Предлог модела и метода.....	37
3. Спрегнути модел рачунарских алата EnergyPLAN и GENOPT.....	39
3.1. Оптимално планирање одрживих енергетских система.....	41
3.2. Покретање симулација ради оптимизације.....	43
3.3. Постављање проблема оптимизације инвестиције код одрживих националних енергетских система у GENOPT-у	44
3.3.1. Минимизација укупних трошкова, критеријумска функција	44
3.3.2. Избор оптималне политике, управљачке променљиве	45
3.3.3. Усаглашавање политике, имплементација ограничења зависно променљивих, накнадна обрада (post-processing)	45
3.3.4. Додатни трошкови, пред обрада (preprocessing)	46
3.3.5. Увођење техничких мера енергетске ефикасности и структурних мера	47
3.4. Оптимизациони алгоритми.....	49
3.5. Свођење укупних трошкова на годину.....	50
4. Техничко-економски оптимални сценарио одрживе енергетске политике у земљама чланицама ЕУ имајући у виду ресурсе и расположивост технологија са пројекцијом за период до 2030. године и анализа осетљивости: студија случаја Републике Србије.	52
4.1. Егзогене претпоставке	53

4.1.1. Цене.....	54
4.1.1.1. Емисија CO ₂	54
4.1.1.2. Енергенти светско и регионално тржиште	54
4.1.1.3. Опрема	55
4.1.2. Теоретски потенцијал обновљивих извора енергије.....	55
4.1.3. Теоретски потенцијал енергетске ефикасности	58
4.1.4. Прогноза потрошње	58
4.2. Базни сценарио (унутрашње претпоставке).....	59
4.3. Анализа осетљивости техничко-економски оптималних сценарија енергетске политике Републике Србије на промену егзогених параметара.....	61
5. Планирање флексибилног националног енергетског система за сценарије високе пенетрације варијабилних обновљивих извора енергије код дугорочног усклађивање са енергетском политиком ЕУ у периоду до 2050. године: студија случаја Републике Србије.....	67
5.1. Интелигентне енергетске мреже	68
5.2. Егзогене претпоставке	70
5.2.1. Цене.....	70
5.2.1.1. Угљен диоксид.....	70
5.2.1.2. Енергенти светско и регионално тржиште	70
5.2.1.3. Опрема	71
5.2.1.4. Теоретски потенцијал обновљивих извора енергије.....	71
5.2.2. Теоретски потенцијал енергетске ефикасности	71
5.2.3. Прогноза потрошње	73
5.3. Циљеви европске енергетске политике 2050. године	73
5.4. Анализа осетљивости сценарија дугорочно усаглашене енергетске политике Републике Србије на промену егзогених параметара.....	74
5.5. Детаљна анализа доприноса интелигентних енергетских мрежа	78

6. Базираност оптималне националне енергетске политике на разради планова одрживих регионалних и локалних енергетских система	82
6.1. Заинтересоване стране у доношењу националне енергетске политике	82
6.1.1. Наднационалне и националне институције	82
6.1.1.1. Уједињене Нације	82
6.1.1.2. Међународна енергетска агенција (ИЕА) и Међународна агенција обновљиве изворе енергије (ИРЕНА).....	83
6.1.1.3. Европска унија	83
6.1.1.4. Енергетска унија	83
6.1.1.5. Енергетска заједница југоисточне Европе (ЕнЦ)	84
6.1.1.6. Регионални савет за сарадњу.....	84
6.1.1.7. Министарство задужено за енергетику	84
6.1.2. Институције цивилног друштва	85
6.1.2.1. Локалне.....	85
6.1.2.2. Наднационалне	85
6.1.2.3. Национални конвент о Европској унији.....	86
6.1.3. Економске институције: предузећа, индустрија, коморе и банке.....	86
6.1.4. Медијске институције	86
6.2. Процес преговора и његово очекивано трајање	87
6.3. Међузависност одрживих националних енергетских система	88
6.4. Технички и економске интереси регионалних и локалних енергетских система.....	89
6.5. Разрада одрживих регионалних планова.....	89
6.6. Разрада одрживих локалних планова	90
6.6.1. Паметни градови.....	91
7. Закључна разматрања.....	93
7.1. Упоредивање и дискусија резултата.....	93

7.2. Провера полазних хипотеза	94
7.3. Закључак	95
7.3.1. Достигнутост циљева, енергетски и финансијски биланс	95
7.3.2. Техничке мере производње, складиштења и повезивања	96
7.3.3. Техничке мере енергетске ефикасности и структурне мере	97
7.3.4. Регионално и локално планирање	97
7.4. Ограничавајући фактори	97
Литература:	98
Прилог 1. Позивање EnergyPLAN-а и GenOPT-а	118
1. Позиви из RUN-а	118
2. Позиви из командне линије	118
3. Позиви из конфигурационог фајла GenOPT-а	118
4. Вишеструки позиви из Task managera	118
Прилог 2. Поруке о грешкама и елементи оптимизационог задатка	119
1. Прекорачење броја цифара	119
2. Очитавање нулте вредности	119
3. Позивање EnergyPLAN-а и GenOPT-а	120
4. Увођење циљева усаглашавања политике кроз функцију пенала и накнадну обрада (post-processing)	121
5. Увођење сложених управљачких променљивих	122
6. Промена управљачке стратегије	123
7. Увођење додатних трошкова, пред обрада (preprocessing)	123
8. Увођење мера замене енергената	124
Прилог 3. Програмски код GenOpt-а	125
1. Иницијализациони фајл	126
2. Конфигурациони фајл	127

3. Командни фајл	128
Прилог 4. Изглед екрана GENOPT-а након завршетка оптимизације.	139
Подаци о аутору:.....	140

ИНДЕКС СЛИКА

Слика 1 Идејно решење методе оптимизације одрживих енергетских система на бази симулација.....	40
Слика 2 Логика грађења сценарија.	53
Слика 3 Тржишна цена електричне енергије. Хронолошки према ЕЕХ 2008, просечно 67 [€/MWh] током године.	55
Слика 4 Санкијев дијаграм за базни сценарио Републике Србије.....	60
Слика 5 Анализа осетљивости испуњености циљева усаглашавања енергетске политике на егзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2030. годину. ...	61
Слика 6 Анализа осетљивости оптималног енергетског биланса на егзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2030. годину.....	62
Слика 7 Анализа осетљивости укупних актуализованих годишњих трошкова за различите егзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2030. годину. ...	63
Слика 8 Анализа осетљивости управљачких променљивих производње, складиштења и повезивања са другим системима у интерконекцији на егзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2030. годину.	64
Слика 9 Анализа осетљивости управљачких променљивих техничких мера енергетске ефикасности и структурних мера на егзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2030. годину.	65
Слика 10 Тржишна цена електричне енергије.....	70
Слика 11 Анализа осетљивости испуњености циљева усаглашавања енергетске политике на егзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2050. годину....	74
Слика 12 Анализа осетљивости оптималног енергетског биланса на егзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2050. годину.....	75
Слика 13 Анализа осетљивости укупних актуализованих годишњих трошкова за различите егзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2050. годину	76

Слика 14	Анализа осетљивости управљачких променљивих производње, складиштења и повезивања са другим системима у интерконекцији на екзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2050. годину	77
Слика 15	Анализа осетљивости управљачких променљивих техничких мера енергетске ефикасности и структурних мера на екзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2050. годину	78
Слика 16	Седмодневни биланс електричне енергије СА (лево) и БЕЗ (десно) интелигентних енергетским мрежама, критична недеља у априлу 2050. године	79

ИНДЕКС ТАБЕЛА

Табела 1	Типизација инструмената за планирање	12
Табела 2	Типологија модела за стратешко планирање енергетских система	35
Табела 3	Екзогене претпоставке за сценарије 0-8 за 2030. годину	53
Табела 4	Управљачке променљиве, њихова ограничења и кратко објашњење одговарајуће техничке мере	57
Табела 5	Сектори EnergyPLAN-а у којима су примењене техничке мере и њихови специфични трошкови и трајање	58
Табела 6	Екзогене претпоставке у сценаријима 0-8 за 2050. годину	71
Табела 7	Управљачке променљиве, њихова ограничења и кратко објашњење одговарајуће техничке мере	72
Табела 8	Користи примене интелигентних енергетских мрежа у националним енергетским системима	80
Табела 9	Упоредни приказ могућности коришћења алата енергетске политике од заинтересованих страна	87

СПИСАК СКРАЋЕНИЦА

CAPEX	Инвестициони трошкови
CEEP	Критични увоз/извоз електричне енергије
CO ₂	Угљен диоксид
CONOPT	Оптимизација под ограничењима
EEEP	Некритични увоз/извоз електричне енергије
EEX	Берза електричне енергије у Лајпциху
OIEE	Обновљиви извори електричне енергије
ЕнЦ	Енергетска заједница југоисточне Европе
ЕУ	Европска унија
ФЕ	Фотонапонска електрана
IEA	Међународна енергетска агенција
IRENA	Међународна агенција за обновљиве изворе енергије
LPG	Течни гас
OIE	Обновљиви извори енергије
OPEX	Производни трошкови
PXE	Реверзибилне хидроелектране
СФРЈ	Социјалистичка Федеративна Република Југославија
ТЕ	Термоелектране
ТЕ-ТО	Термоелектране-топлане
ТПЕС	Укупна примарна производња енергије
УН	Уједињене нације
ВЕ	Ветроелектрана

1. Увод у оптимално планирање одрживих националних енергетских система.

У уводном поглављу биће приказани предмет, циљеви истраживања и базичне претпоставке везане за реални проблем који истражује са освртом на библиографске изворе и до сада остварене резултате. Биће приказане полазне научне хипотезе: *да ће усаглашавање енергетске политике довести до промене нивоа и структуре трошкова националног енергетског система, затим хипотеза о оптималности скупа техничких мера и на крају хипотеза о подразумеваној примени интелигентних енергетских мрежа*. Биће приказано како је на основу општих научних метода: симулације и оптимизације развијена специфична спрегнута научна метода која ће бити коришћена током истраживања. Биће приказани оригинални научне доприносе методологији енергетског планирања који ће произаћи из овог устаживања који су у вези са развојем и применом спрегнуте методе и квантификацијом синергетског ефекта доприноса различитих техничких мера задатим циљевима. На крају биће приказана структура истраживања са активностима.

Оригиналност овог истраживања [2] је у синтези спреге која није била реализована до сада између два рачунарска алата а посебно јер први пут примењује спрегнути алат у области планирања одрживих националних енергетских система.

1.1. Избор и формулација истраживачког проблема

Полазећи од конкретног проблема, у "стварном свету", који ће бити описан у следећем поглављу мобилисаће се сви интелектуални ресурси за његово решавање, развиће се методологија решавања која укључује методе, које потичу из више различитих дисциплина јер стварни проблеми су по правилу "закомпликовани" и нису решиви унутар једне академске дисциплине [2]. По правилу су ови конкретни проблеми развоја били зависни од ентузијазма појединаца, а нису били предмет систематског државног планирања [3].

1.1.1. Домен истраживања

Након Теслиних открића која су погодовала коришћењу електричне енергије у домаћинствима и индустрији, енергетски системи (а посебно електроенергетски)

најпре због значаја за друштво али због природе трансформације енергије из једног облика у други без економски ефикасних система за сладиштење постају један од најкомплекснијих и најскупљих система. Данас посебно са већим коришћењем обновљивих извора енергије он постаје вероватно најскупљи што сугерише примену оптимизационих метода на све одлуке везано са тим а посебно инвестиционе одлуке.

Република Србија је земља кандидат за чланство у Европској унији, а одржива енергетска политика је једно од обавеза која ће бити прихваћена током преговора. Пуно је разлога који су довели до тога да садашња енергетска политика, углавном базирана на истрошивим горивима, буде неодржива и увозно зависна. То захтева интердисциплинаран приступ у решавању овог реалног проблема [4] који са историјским, економским и технолошким променама постаје решивији али без јасне *мапе пута* дугорочно одрживе енергетске политике. Таква политика начелно треба бити заснована на домаћим и регионалним потенцијалима, јер досадашњи развој сугерише регионални приступ. Овакав приступ енергетској политици до сада је виђен у неким земљама Европске уније у којима су јавне дискусије, којима су претходиле научно релевантне студије и развијене методе, довеле до политичке воље за решавање овог проблема.

У ширем смислу, предмет овог истраживања биће иновирано спрезање симулационог и оптимизационог алата са циљем оптимизације енергетског система и са сврхом планирања националне енергетске политике на бази научно утемељених знања. Данас у оквиру енергетског сектора кључно питање није оправданост преласка на одрживе енергетске системе него техничко-економска изводљивост те транзиције тј. достизање задатих циљева са минималним трошковима. Акцент у овој дисертацији није на разради детаља у реализацији националног енергетског система потребних за његово функционисање већ на стратешком нивоу техничко-економски оптималног планирања расположивих ресурса система као целине. У вези с тим интердисциплинарно ће се истраживати технички и економски аспекти у ширем контексту усаглашавања енергетске политике. Економски аспект односи се на израчунавање укупних трошкова производње енергије базираних на пројекцијама цена доступних технологија,

горива и такси. Технолошки аспект односи се на симулацију примене најбољих расположивих технологија и кроз сучељавање та два аспекта омогућава се квантификација и поређење различитих сценарија. Друштвени контекст усаглашавања енергетске политике међу чланицама Европске Уније (ЕУ) у домену је достизања задатих циљева повећања енергетске ефикасности, коришћења обновљивих извора енергије и ограничења емисија угљен диоксида.

1.1.2. Избор циља истраживања

Истраживања ће бити усмерена на решавање реалног проблема техничко-економски оптималног планирања националних енергетских система. У оквиру истраживања ће се извршити моделирање националног енергетског система и његових ограничења. Методолошки ће се даље на бази симулација, а у форми погодној за рачунарску оптимизацију, истраживати утицаји ограничавајућих фактора на оптимална решења. Сврха истраживања је да покаже да оптимално решење постоји. Као посебни случај биће обрађен национални енергетски систем Републике Србије. Циљ истраживања је развој новог рачунарског оруђа, у коме су спрегнути симулациони и оптимизациони алат, за планирање одрживе енергетске политике. Циљ истраживања не представља доношење одлука у домену вођења енергетског сектора, већ рачунарска подршка експертима за процену квалитета великог броја варијантних решења у предлагању оптималних енергетских политика.

1.1.3. Академски значај

Академски значај истраживања биће дефинисан на два поља: унапређење модела енергетског сектора Републике Србије и унапређење оптималног планирања одрживих националних енергетских система.

Намера овог истраживања није да у методолошком смислу учини поједине одлуке пријемчивијим од других већ да целокупни метод отвори за сугестије које могу побољшати релевантност.

1.1.4. Друштвена релевантност

Друштвена релевантност овог истраживања је већа применљивост експерског знања и јасније сагледавање последица мера енергетске политике пре доношења стратешких одлука, а што ће допринети њиховој остварљивости. Доносиоцима

одлука предложиће се неколико оптималних сценарија енергетске политике и иновативни начин усаглашавања енергетске политике. Овај резултат значајан је за побољшање квалитета и аналитичности у сложеној области енергетског планирања и за научно утемељено доношење одлука у вези са одрживом енергетском политиком у Републици Србији.

Подразумевајући просечан људски век, ову генерацију (укључујући све оне рођене од 1980их наовамо), очекује најпре суочавање са повећањем трошкова производње енергије из локално доступних до сада коришћених ресурса и затим потрошња необновљивих извора. Отуда потреба да се истраживање усмери у планирање енергетских стратегија заснованих и на локално доступним до сада не коришћеним обновљивим изворима енергије.

Јавне политике и одлуке надлежних државних органа треба да буду засноване научним методама [5]. Са обзиром да у Републици Србији систем планирања јавних политика није у потпуности развијен, и потреба да се предложене политике анализирају у смислу утицаја, ствара се потреба да се израдом стратешког документа повећа квалитет заступања националне позиције и тиме успешности самих преговора [6] у оквиру свих фаза придруживања [7].

Аутор нема намеру да доносиоцима одлука предложи ово истраживање као решење за одлучивање енергетске политике, већ да им стави на знање да се засновано на овој методи они могу решавати. Аутор је свестан да техничко-економска оптималност, заснована на научном приступу тзв. *познанствљена политика* [8], може бити нарушена, или стављена по страни као мање значајна, приликом *децизионистичког* приступа доношења политичких одлука, али ипак предлаже њено коришћење, сматрајући да би њеним изузимањем одлуке биле мање мудре [9] и прагматичне.

1.2. Циљ истраживања

У ширем смислу, *предмет* овог истраживања биће метода спрезања рачунарских алата са циљем оптимизације перспективног енергетског биланса, укључујући и електроенергетски али гледано шире ради већих уштеда [10, 11], са *сврхом* научно утемељеног вредновања сценарија [12].

Интердисциплинарно [13, 14] ће се истраживати технички и економски аспекти у ширем контексту ограничења усаглашености енергетске политике [15] са *циљем* развоја рачунарског оруђа у коме су спрегнути симулациони и оптимизациони алат за решавање проблема оптималног планирања одрживих енергетских система и ради подршке [14] експертима и доносиоцима одлука у вредновању квалитета великог броја варијантних решења. Извршиће се моделирање националног енергетског система и његових ограничења у форми погодној за рачунарску оптимизацију на посебном случају Републике Србије.

Одавно се са питања оправданости преласка на одрживе енергетске системе, стигло до научно утемељене вредновања техничко-економске оптималности примене интелигентних енергетских мрежа [16] коришћењем рачунарских модела [14, 17-30]. Ови модели омогућавају симулирање примене скупа техничких мера [14, 31] под унутрашњим и спољњим ограничењима [15] са минималним трошковима [32, 33]. Акцент истраживања неће бити у правцу разраде детаља експлоатације [34, 35] већ на стратешком нивоу [36] техничко-економски оптималног планирања годишњих биланса одрживих енергетских система [14, 37] уз примену интелигентних енергетских мрежа ради трошковано ефикасног достизања задатих циљева.

1.3. Избор и формулација хипотеза-полазних претпоставки

Економски домен је место на коме се сусрећу технолошки приступ и жеља да се монетизира одрживост [38]. Усаглашавање енергетске политике Републике Србије¹ са Европском унијом имаће за последицу доношење скупа техничких мера (замена, увођење технологија, прелазак са једне на другу технологију итд.) које могу резултовати променама енергетског и емисионог биланса а тиме променама нивоа и структуре укупних трошкова за друштво. Претпоставља се да структура националног енергетског система треба да прати пројекције оних егзогених елемената на које Република Србија нема утицаја како би у сваком исходу ових пројекција имала одговор на питање шта је минимални трошак за друштво. Уз претпоставку да се национални енергетски биланс може

¹ према члану 3 Закона о енергетици: Енергетска политика ближе се разрађује и спроводи Стратегијом развоја енергетике Републике Србије, Програмом остваривања Стратегије и Енергетским билансом Републике Србије

оптимизовати минимизацијом укупних трошкова уз спољашње ограничење одрживости [15, 39, 40], треба изабрати такве техничке мере чији је трошкови бити минимални а резултат задовољити ограничења. Ради налажења економски оптималног сценарија одрживе енергетске политике, испитаће се вишеструке варијанте техничких мера, квантификовати њихови резултати у погледу енергетског, економског и емисионог биланса и на крају вредновати оптимизационим методама [41]. Сценарије који нису усаглашени са задатим ограничењима или су скупљи нису допустиви и биће изостављени из даљих анализа. Главне полазне хипотезе овог истраживања су:

- Техничко-економски оптимална одржива енергетска политика доводи до промене нивоа и структуре укупних трошкова у односу на актуелну неодрживу енергетску политику [42-45].
- Постоји оптимални скуп техничких мера одрживе енергетске политике чији су укупни трошкови за друштво минимални.
- Код дугорочног усаглашавања енергетске политике Републике Србије и Европске уније подразумева се примена интелигентних енергетских мрежа [46].

1.3.1. Ограничења истраживачког домена

Општи научни принцип налаже да се за решавање користи најједноставнији модел који даје решење [47], стога је истраживачки домен ограничен на посматрање величина од интереса за доношење одлука енергетске политике, а сматраће се да ће резултати бити примењиви у реалности на основу напредне технологије интелигентних енергетских мрежа.

Треба разликовати *тактички* приступ, који се бави одлучивањем између расположивих опција већ формиране целине и њиховој детаљној разради од *стратешког* приступа, код кога се ради достизања циљева одлучује о градњи система састављеног од више различитих целина [48]. У смислу енергетског планирања прво је *експлоатациони* а друго *инвестициони* проблем, на коме ће и бити акценат. Није ефикасно развијати модел који одговара на све захтеве него развијати тачно оне елементе модела који недостају, јер је лакше повезивати један

модел са другим за специфичне случајеве него правити нови модел сваки пут [49], што је било кључно за доношење одлуке о методи занованој на хибридном моделу, који је у суштини спрегнути модел два рачунарска алата. Први алат, EnergyPLAN [50], је једнотачкасти систем [51], који одговара методи планирања развоја једнотачкастог производног система код електроенергетских система (Single-bus Generation Expansion Planning) [52]. За разлику од статичког планирања, које ће бити предмет овог истраживања, у планирању електроенергетских система постоји и тачније динамичко планирање у смислу посматрања свих година из планерског периода уместо само једне [52] али унапређење тачности у овом случају представљао би сложен методолошки проблем. Фокус истраживања није на токовима снага у електроенергетском систему као нпр. [53, 54], који би се користили за планирање преноса енергије јер они представљају 10-20% укупних трошкова [55, 56]. У ширем смислу оптимално планирање није "експеримент са природом" већ "експеримент са рационалним економским агентима", из чега произилази могуће ограничење примене предложене методологије [57] и потреба да се она унапреди. Прилоком планирања развоја производних капацитета нису узети у обзир елементи неизвесности као нпр. [51] јер се у овом раду прогноза потрошње идеализује перфектом проценом (perfect foresight), а неизвесности на сатном нивоу нема јер је моделован сваки сат. Кварови и испади спадају у проблематику компанија за производњу енергије нису предмет доношења енергетских политика.

Повећање тачности планирања електроенергетског система, у смислу детаљнијег модела експлоатације, токова снага, временских интервала, поступка одлучивања и вероватноће је научно интересантно [58] и важно, али је само део целокупног енергетског планирања [59], па је разумно зарад обухватања целокупног проблема и развоја/извршавања софтверских алата у разумном временском року, жртвовати нешто тачности.

1.4. Одређивање предмета истраживања и операционализација појмова

Рачунарске симулације стандардна су општа научна метода за решавање проблема у присуству просторне и временске усложњености каква се среће код националних енергетских система. Додатно, њихова техничко-економска

оптимизација уз задате циљеве и ограничења представља сложени комбинаторни [60] и оптимизациони проблем, који се већ дуже искључиво решава помоћу рачунара [21]. Такође, целовити рачунарски проблем оптимизације националних енергетских система могуће је решавати само симулационим методама уз помоћ хеуристичких метода (хеуристика) или итеративном методом ("груба сила"), али најбољи однос тачности резултата и утрошка времена гарантује употреба оптимизационих метода.

Рачунарски симулациони алати користе се као метода за проверу испуњења оперативних (унутрашњих) ограничења код националних енергетских система тј. за проверу ограничења снаге и енергије за подмирење потрошње. Алат назван "EnergyPLAN" [50] симулира величине од интереса код националних енергетских система на сатном нивоу за потребе израчунавања биланса енергије, емисија и трошкова на годишњем нивоу. Овим билансима обухваћене су производња и потрошња енергије у секторима постројења електричне, топлотне енергије и саобраћаја, емисије угљен диоксида и укупни актуализовани годишњи трошкови са инвестиционим и експлоатационим елементима. Улазне величине су планиране потрошње енергије у свим секторима од интереса, карактеристике енергетских постројења, типови доступних енергената, специфични трошкови енергената и опреме, таксе итд. Побољшање резултата могуће је остварити симулирањем вишеструких варијанти техничких мера на моделу постојећег енергетског система. Пошто је број варијанти веома велик, чак и под претпоставком примене хеуристика, поступак налажења оптимума је непоуздан и дуг. Са циљем оптимизације енергетског биланса на симулациони задатак додаје се критеријум минималних укупних трошкова. Тако је коришћењем неке оптимизационе методе могуће минимизирати критеријумску функцију збира укупних годишњих актуализованих трошкова националног енергетског система уз ограничења. У оквиру оптимизационог алата названог "GENOPT" [61] могу се применити методе оптимизације за вредновање резултата симулација вишеструких варијанти техничких мера на моделу постојећег енергетског система. Показало се да је на тај начин могуће оптимизовати национални енергетски биланс, алтернативним инвестиционим одлукама, коришћењем улазних величина "EnergyPLAN"-а као управљачких променљивих, а резултата "EnergyPLAN"-а за рачунање

критеријумске функције и проверу ограничења [62]. Овом методом спрезања симулационог и оптимизационог рачунарског алата могућа је минимизација критеријумске функције укупних актуализованих годишњих трошкова националног енергетског система под ограничењима, избором управљачких променљивих, што ће бити *предмет* овог истраживања.

1.5. Избор метода истраживања

Досадашњи радови упућују на коришћење рачунарског модела националног енергетског система Републике Србије који је потребан и довољан за предлагање одрживе енергетске политике. Очекивани научни доприноси овог истраживања су:

- развој и примена нове, оригиналне методе за потребе оптималног планирања одрживих енергетских система на бази симулација, којом се поступак аутоматизује и убрзава израчунавање оптимума
- ефикасно квантификовање синергетског ефекта доприноса различитих техничких мера (нпр. замена електричне припреме топле воде соларном енергијом у сектору домаћинства, увођење постројења за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије у сектор индустрије, прелазак са дизела на биодизел у сектору саобраћаја итд.) циљевима повећања енергетске ефикасности, коришћења обновљивих извора енергије и ограничења емисија угљен диоксида.

Оригиналност методе биће у поступку спрезања рачунарских алата EnergyPLAN и GENOPT са сврхом налажења оптималног перспективног енергетског биланса. Резултат интердисциплинарних истраживања биће оруђе за рачунарску подршку доносиоцима одлука у процесу стратешког планирања одрживог националног енергетског система. Посебан случај и практична примена односи се на енергетски систем Републике Србије.

1.6. Структура истраживања

Истраживање ће обухватити следеће активности, које одговарају поглављима овог рада:

1. Увод у оптимално планирање одрживих националних енергетских система.
2. Преглед стања у области стратешког планирања националних енергетских система и избор одговарајућег модела за Републику Србију.
3. Спрегнути модел рачунарских алата EnergyPLAN и GENOPT.
4. Економски оптимални сценарио одрживе енергетске политике у земљама чланицама ЕУ имајући у виду ресурсе и расположивост технологија са пројекцијом за период до 2030. године и анализа осетљивости: студија случаја Републике Србије.
5. Планирање флексибилног националног енергетског система за сценарије високе пенетрације варијабилних обновљивих извора енергије код дугорочног усклађивања са енергетском политиком ЕУ у периоду до 2050. године: студија случаја Републике Србије.
6. Базираност оптималне националне енергетске политике на разради планова одрживих регионалних и локалних енергетских система.
7. Дискусија резултата, закључак и ограничавајући фактори.

2. Преглед стања у области стратешког планирања националних енергетских система и избор одговарајућег метода истраживања.

Глобално загревање које доводи до климатских промена је решиво [63, 64] избором неке технолошке промене из домена: (1) технике, (2) знања, (3) организације и (4) производа. Пошто је проблем решив оквиру постојећих технологија [18], рад треба усмерити у повећање знања у домену одрживих енергетских стратегија, која обухвата обухвата: (1) анализу, (2) планирање, (4) доношење одлука и (5) практичне аспекте трансформације енергетског система из садашњег у жељено будуће стање [65]. У домену организације треба ићи у правцу парадигме интегралног планирања националних енергетских система, [10] јер он омогућава флексибилнији, поузданији, ефикаснији систем са мањим и стабилнијим трошковима, мање ризике, смањење утицаја на животну средину и боље искоришћење локално и тржишно доступних ресурса. Производ у форми рачунарског алата, као инструмент за планирање, даће финални допринос.

2.1. Типологија метода за планирање и модела националних енергетских система

Прва типологија инструмената за планирање у енергетици² [66] садржи три критеријума: (1) *приступ у описивању* (2) *географско одређење*, и (3) *сврху прављења модела*, касније се проширује [19, 49, 67, 68], што говори да је област у развоју. Критеријуми по којима се типизирају инструменти данас дати су у Табели 1.

² надаље се сматра да је инструмент за планирање исто што и модел

Табела 1 Типизација инструмената за планирање, засновано на [49, 68]

Критеријум	Облик
Сврха прављења модела	Енергетски информациони систем Макроекономски модел Модел производње енергије Модел потрошње енергије Модел енергетског система Модуларни систем за планирање Модел енергетске привреде
Врста моделирања	Одоздо на горе Одоздо на доле
Приступ у описивању	Технички Економски Техничко-економски
Стратешки аспекти анализе	Хоризонт планирања: кратак, средњи, дужи Географско одређење: локални, регионални, национални, глобални Временска резолуција: сатна, карактеристични дан, месечна, годишња Просторна резолуција: једнотачкасти, мрежни Секторска покривеност: сектор, више сектора, комплексна енергетика
Однос инвестиционих интервала	Статички (један инвестициони интервал) Квазидинамички (период унапред, рекурзивни, кратковидни) Динамички (интертемпорални, савршено предвиђање)
Методе	Економетрија Преносна функција Рачуноводство Симулација <i>Линеарно програмирање</i> <i>Вишекритеријумско линеарно програмирање</i> <i>Мешовито линеарно целобројно програмирање</i> <i>Нелинеарно програмирање</i> Динамичко програмирање Системска динамика
Врста једначина	Алгебарске Диференцијалне
Тип функција	Линеарне Нелинеарне
Третирање неизвесности	Детерминистичко Стохастичко
Дискретизација	Дискретне променљиве Континуалне променљиве

2.1.1. Методе енергетског планирања

Процес енергетског планирања заснива се на систематском анализирању података о производњи и потрошњи енергије и њиховој презентацији ради доношења

одлука [59, 69]. Током овог процеса неопходно је: (1) дефинисати специфичне и опште циљеве плана, (2) избора *стратешких аспеката анализе*, (3) идентификовати потребне информације иако су у већини случајева ограничене расположивости и тачности, (4) изабрати аналитички *приступ у описивању*, (5) анализирати коришћењем *метода* и (6) резултате представити доносиоцима одлука, како би се приступило (7) изради енергетског плана. Процес енергетског планирања, [70]: обухвата и: (8) пројекције и (9) избор и математички опис критеријума оптимизације. У процесу енергетског планирања решавају се три главна проблема [49]: (1) алокација ресурса, у смислу ресурса које ће бити коришћени за задовољење потрошње; (2) алокација технологија, које ће бити коришћене; и (3) предвиђање потрошње и цена.

Као циљеви енергетског планирања [71] виде се: (1) одређивање детаљних енергетских потреба економије да оствари раст и достигне развојне циљеве, (2) избор енергетског микса ресурса са најмањим трошковима, (3) очување ресурса и елиминација губитака енергије, (4) диверсификација праваца снабдевања и смањење увозне зависности, (5) задовољење основних енергетских потреба сиромашних, (6) смањење трговинског дефицита, (7) циљани развој региона и економских сектора, (8) обезбеђивање одрживости сектора, (9) очување поузданог снабдевања и стабилности цена, (9) очување животне средине и други циљеви.

Стратешки аспекти енергетског планирања обухватају: (1) хоризонт планирања, (2) географско одређење, (3) временска и (4) просторна резолуција и (5) секторска покривеност. Посматрајући хоризонт енергетског планирања за доношење енергетске политике [27] постоје: (1) краткорочна, која се бави реакцијама на тренутне поремећаје нпр. у снабдевању, (2) средњерочна, која се бави алтернативним инвестиционим одлукама, и (3) дугорочна која се бави анализом улагања у истраживања нових технологија. У смислу временске резолуције постоје [55]: (1) хронолошке³ сатне, (2) одбирци сатних и (3) месечне и годишње методе. Сатне могу бити и нехронолошке као на пример метода "скрининг криве" код које се посматра уређен дијаграм потрошње као прва апроксимација [72].

³ где су сати у току године распоређени према редоследу, даље ћемо то подразумевати.

У смислу односа инвестиционих интервала интервала постоје: *статички* који обухватају циљну и *динамички* приступ који обухватају све године од базе до циљне.

Методе енергетског планирања су [73]: (1) декомпозиција, (2) хеуристика и (3) упрошћавање, а према [12] још и: (3) екстраполација, (4) сценарио, (5) еквилибријум, (6) мешовита анализа, (7) нормативна анализа, (8) визија. Тачност метода енергетског планирања ограничена је [55]: (1) структуром, (2) разматрањем релевантих елемената и (3) динамика, (4) тачношћу претпоставки и (5) третирањем неизвесности.

У смислу третирања неизвесности постоје: (1) детерминистичке, тј. ад хок [74], (2) недетерминистичке. Неизвесност се може моделовати формалним математичким методама као случајан процес нпр. Монте Карло или стохастички, ауторегресија итд. [55] или дуално стохастичко динамичко програмирање али се не практикује код дугорочних прогноза због конзервативности процене. Метод сценарија спада у детерминистичке. Значајану неизвесност код енергетског планирања представља цена енергената у будућности, мада она не утиче на техничку изводљивост, уколико су техничке претпоставке оправдане [75]. Недостатак недетерминистичких метода је значајно повећање трошкова на уштрб редуваности [76], док је код детерминистичких у предвиђању, јер се сматра се да је предвиђање савршено тј. да је очекивање максимално.

Моделовање неизвесности не доприноси повећавању извесности, јер се она једино повећава природно како се хоризонт догађаја примиче, доношењем одлука које се односе на претпоставке, тако да га треба схватити на начин да се наведе скуп претпоставки (контекст) и затим модел одговори на питање: "шта би било... ако би претпоставке биле...?". Суштина моделовања је да се основу познатих егзогених одлука могу претпоставити догађаји и да се онда упитом у модел дође до оптималног решења под датим претпоставкама.

2.1.2. Енергетски модели

У најширем смислу за енергетски модел сматраћемо сваку квантитативну експертску анализу ситуација које имају везе са енергијом, која помаже

сагледавању кључних питања и вредновању повећаног броја варијанти одлука које доносе одговорна лица уз укључивање јавности и њихових техничких и економских последица тако да се дебата и сучељавање заинтересованих страна са идеолошких пребаци на научна питања [9, 27, 49, 77]. Модели су веома корисни у доношењу енергетских политика јер омогућавају сагледавање целине која се не може сагледати посматрањем појединих делова, тако што: (1) експлицирањем претпоставки, (2) дефинисањем узрочно-последичних односа између претпоставки и закључака, и (3) анализом закључака (посебно неинтуитивних) омогућавају дубље разумевање феномена који се посматрају [27]. Сврха енергетских модела [68] је двојна: (1) фактизација (разјашњавање, дијагностиковање и прогнозирање), и (2) предлагање (одлучивање, оптимизација, управљање). Према сврси прављења модела, видети Табелу 1, [68] класификује: (1) енергетски информациони систем, који обухватају ресурсе, примарну и трансформисану енергију до финалне енергије, који се надовезују на (2) моделе потрошње, који обухватају финалну и корисну енергију, услуге и привредну активност, који се надовезују на друге секторе економије ((4) макроекономски модели); (3) моделе енергетског система, који обухвају (1) и (2) без услуга; (5) модел енергетске привреде који обухватају (1), (2) и (5).

Према врсти моделирања, модели могу бити: (1) "одоздо-на-горе", (2) "одозго-на-доле" и (3) хибридне структуре која настаје од (1) и (2) [78]. Карактеристике модела "одоздо на горе" су: (1) економски закони моделовани само унутар енергетског сектора, (2) национална економија представљена егзогено, итд [74].

Према аналитичком приступу методе могу бити, између осталих: (1) симулационе, имитирају техничке карактеристике, (2) оптимизационе, доносе оптималне стратегије претпостављајући оптимално економско расуђивање унутар задатих ограничења и ове методе су комплементарне [59, 79]. Симулационим моделом задовољавамо захтев да се технички део проблема адекватно представи, док оптимизационим постављамо одлуку у оквир централног планирања, које је својствено проблему. Ако се проблем декомпонује типично је да се у два корака: (1) *оптимизацијом* одабира структура а (2) *симулацијом* израчунавају енергетски, емисиони и економски биланси [59]. Сврха симулација је да се покаже да је

енергетски систем у стању да задовољи потрошњу [80] и нема бољег начина да се опише технички део модела, па се и симулационе методе енергетског планирања заснивају на методама оптимизације, само што се ту не ради о оптимизацији инвестицаја него у оптималној производњи под унапред донетим инвестиционим одлукама. Енергетски модел који у себи садржи методу симулације и оптимизације илустровао је [80] декомпозицијом на два нивоа: еволуциони алгоритам за инвестициону одлуку и симулационом хеуристиком за производну одлуку. У детаљној класификацији метода симулације постоје: (1) детерминистичке, (2) теорије игара, (3) системска динамика и (4) рачуарска економика какав је, агентно засновани приступ. Поред математичких оптимизационих метода енергетског планирања [81] постоји хеуристика која је апроксимативна метода јер не гарантује оптимум. Оптимизационим методама биће посвећено цело следеће поглавље.

Студија [49] још класификује енергетские модела према парадигми на: (1) феноменолошке, (2) еквилибристичке, (3) дисеквилибристичке и (4) оптимизационе.

Моделирање је као метода енергетског планирања првобитно примењено на електроенергетски сектор [82], где су са једне стране симулациони алати рачунали трошкове производње и трговања, а са друге оптимизациони алати тражили најјефтиније решење уз унутрашња и спољашња ограничења, данас се развија у правцу: (1) обједињавања сектора, (2) националних и глобалних модела, (3) продужавања хоризонта планирања са разматрањем већих технолошких, политичких и климатских промена, (4) моделирања технолошки "незрелих" технологија, (5) вишекритеријумске оптимизације, (6) мерљивости робусности, флексибилности и одрживости, (7) уважавања производних ограничења [83]. Трендови у моделовању су [27]: (1) повезивање техничких са економским аспектима која омогућава детаљност и економску оптималност одлука (2) модуларност која омогућава специјализован развој различитих подмодела и њихово ефикасно спрезање, (3) боље третирање неизвесности кроз методу сценарија или других формалних метода, (4) разматрање мање вероватних и

жељених случајева, (5) отвореност програмског кода и (6) вишекритеријумско одлучивање.

2.1.3. Оптимизациони модели и методе оптимизације, програмски алати и платформе.

Евалуација, предлагање и вођење националне енергетске политике, где је значај технолошких опција велики, методолошки се још у првим применама заснивала на енергетски моделима, који у себи обједињују техничко - економску оптимизацију ради минимизације трошкова [84]. Пре него се оптимизација примени потребно упознати инжењерску економију [85] и оптимизационе алгоритме [74]. Код оптимизационих задатака сматрају се подразумеваним [11] савршена *конкуренција* међу тржишним актерима, који економски рационалне *одлуке* доносе на савршеним *информацијама*, што је идеализација реалних услова. Оптимизациони задатак планирања развоја⁴ енергетског система у изворној форми облика је [55]:

Минимизирати: дисконтовану суму будућих инвестиционих и оперативних трошкова

под ограничењима (**п.о.**):

Укупна произведена енергија = укупно потрошена енергија за сваки период

Произведена енергија генератора у сваком сату \leq капацитет генератора

Вероватноћа испада генератора \leq задата поузданост генератора

Објективна функција енергетских модела по правилу [49, 84] је: минимизација укупних актуализованих трошкова где је типично оптимизациони задатак постављен у виду линеарног програма (видети Табелу 1) са великим бројем променљивих. На први поглед интересантан метод вишекритеријумске оптимизације одбачен је у случајевима реалног доношења одлука [49] као веома сложен. Додатно користе се оптимизационе *методе*: (1) квадратног програмирања, (2) Lagrange-а релаксација, (3) Nelder–Mead Simplex претраживање

⁴ доношење инвестиционих одлука, на даље се подразумева планирање.

и хеуристичке оптимизационе методе (4) генетски алгоритам, (5) декомпозиција [55] итд. посебно у вези са обновљивим изворима енергије [41].

Програмски алати за планирање развоја енергетских система користе се за: (1) израчунавање поузданости, (2) обрачун трошкова производње и (3) оптимизацију ресурса [55]. Најчешће коришћени специјализовани програмски алати за конфигурацију постојећих и моделовање нових оптимизационих алгоритама за енергетско планирање су: (1) GAMS, (2) CPLEX (3) Xpress-Optimizer, (4) Gurobi Optimizer и други [55]. Развој сопственог модела у неком од ових или сличних алата траје неколико година и обухвата фазе [55]: (1) иницијално планирање, (2) прикупљање, сређивање података и прављење базе, (3) конструкција модела, (4) кодирање, (5) тестирање и (6) валидација. Прегледом великог броја постојећих рачунарских алата [21] закључује да постоје само три национална енергетска модела: EnergyPLAN [50], Mesap PlaNet [68], и SimREN који користе сатну резолуцију и имају могућност оптимизације употребом варијабилних обновљивих извора енергије. За најновију типологија алата погледати [86].

У будуће трендове метода за оптималну алокацију ресурса [87] убраја: (1) линеарно, нелинеарно и динамичко програмирање и (2) методе вештачке интелигенције, док за планирање оптималног енергетског микса под ограничењима убраја: (1) метод хијерархијске анализе⁵ и (2) теорију игара.

2.1.4. Моделирање одрживости

Дефиниција одрживе политике је да третира проблеме загађења животне средине и да обезбеђује физичке и социјалне основе даљег развоја [88]. Моделирање одрживости не треба схватати у смислу чувања животне средине у конзервираном стању по цену заустављања економског раста, већ да се доносе трошковно ефикасне политичке одлуке које максимизирају дугорочни однос користи и трошкова у које су урачунати и индиректни трошкови друштва [88], тзв. социјални трошкови. Такве одлуке постижу циљане ефекте са минималним трошковима, од којих користи има друштво у целини јер је за једну друштвену делатност алоцирана минимална количина добара уместо да је употребљена на други начин.

⁵ Analytic hierarchy process

У примени енергетских модела за доношење трошковно ефикасне одрживе енергетске политике, од чувања ресурса [40, 89-93], прешло се на штедњу енергије⁶ као прву меру која трошковно ефикасно подстиче одрживост [94-96].

2.1.5. Моделирање обновљивих извора енергије

Мада су негативни ефекти коришћења необновљивих извора енергије у Републици Србији очигледни [97], више се критикује коришћења обновљивих извора енергије у техничком и економском смислу што је потребно разјаснити да би се отворио пут њиховој примени.

Данашња технологија, за разлику од почетака електрификације [98], омогућава коришћење и извора енергије који су нестални тј. променљиви у времену, које називамо варијабилни. Посматрајући варијабилност шире она постоји свуда и код хидро потенцијала али је хеуристички смањена применом брана. Код коришћења ветра и сунца за производњу енергије варијабилност је већа и не може бити значајно смањена, мада постоје решења, па је потребно системско решење проблема. Од првих решења [99] до данас проблем се системски сагледалава [100] тако што разматрају се различите варијанте енергетског система који је флексибилан и на страни производње и потрошње за искоришћење варијабилних обновљивих извора енергије. Могућност супституције конвенционалних извора енергије варијабилним обновљивим изворима енергије темељи се на хронолошки могућој замени. Метод се заснива на посматрању могућих вишкова и мањкова електричне енергије током планерског периода са сатном резолуцијом. Вишкови електричне енергије се сматрају критичним ако је немогуће да се потроше или извезу. У техничком смислу, оптималном се сматра она комбинација која има минимум вишкова електричне енергије током планерског периода. Овај критеријум претходи оптимуму у економском смислу где се минимизирају укупни годишњи трошкови који укључују и трговање енергијом.

Технички захтеви за подацима ради моделирања варијабилних обновљивих извора разликују се од необновљивих, јер се морају уважити краткорочни ефекти, који се не могу представити, кривом трајања оптерећења ни преко фактора искоришћења током године, већ је потребна хронолошке сатна резолуција [27].

⁶ Синоном је енергетска ефикасност у случају техничких мера

Описана оптимизациона метода [70] базирана на уређеном дијаграму потрошње није применљива у случају варијабилне потрошње и производње. Без сатних симулација није могуће адекватно моделовати трошкове диспечабилних извора јер се са коришћењем обновљивих извора мења њихова производња тако да се уклапају када има потребе, из чега следи да више није могуће рачунати специфичне трошкове на основу годишњег просечног ангажовања. Без сатних симулација није могуће моделирати оперативна ограничења потрошње, варијабилних обновљивих извора енергије ни интелигентне енергетске мреже адекватно [101, 102], као ни арбитражи тржиште помоћу складишта енергије [103], промене радног режима генератора и сл. [55]. Без сатних модела могу бити донете субоптималне одлуке [104]. Сатне симулације не морају бити и економско диспечирање али заједничко им је да се производне одлуке доносе на сатном нивоу. Економско диспечирање које моделује нелинеарности специфичних трошкова горива, способност генератора за промену радног режима и трошкове заустављања/покретања итд. [105-110] намењено је за краће планерске интервале типа дан унапред и сл. код електроенергетских предузећа, а његова би примена у дугорочним моделима била на уштрб других перформанси [102]. Уважавање промена режима рада не утиче значајно на инвестиционе одлуке [111].

Енергетска транзиција ка обновљивим изворима енергије која је започета још седамдесетих година прошлог века кроз ентузијастичне, некритичне покрете [112] данас је еволуирала у веома јасне економске критеријуме са све мањим економским подстицајима до техничке и економске изводљивости и неизбежности⁷ [113]. Критичари увођења у обновљивих извора енергије у економском смислу предлажу да се трошкови интеграције (који обухватају нпр. балансирање) пребаце на нове произвођаче због пропуштених прилика за производњу из постојећих електрана [114] или трошкове у преносном и дистрибутивном систему [115]. До појаве варијабилних обновљивих извора енергије у енергетском систему ови трошкови нису били приписивани нити једном типу извора електричне енергије већ се проблем представљао као координација. Додатну тешкоћу економског поређења нових извора енергије је чињеница да цена електричне енергије никада није рефлектовала стварне

⁷ "Ако осетите нужност, онда је боље да је волите!", Александар Јерков

трошкове производње из фосилних горива, јер су увек биле [116] [117] и остале под државном контролом. Са друге стране, покривањем инвестиционих трошкова из кредита створен је друштвени трошак на рачун потрошача, који је у међувремену обезвређен. То додатно отежава економско упоређење. Даље [118] објашњава да је цео приступ заснован на метрици специфичних трошкова сакрива ефекат продаје енергије на тржишту, па предлаже да се поред њега укључе профитабилност и укупни трошкови током животног циклуса. Метод специфичних трошкова је компликован јер носи неодређеност укупног броја радних сати, па је пожељно разматрати укупне трошкове. По правилу се необновљиви извори енергије моделују без укључивања индиректних трошкова а посебно социјалних трошкова, који се могу моделовати ценом угљен диоксида, чије би укључивање резултовало скоријом неминовним економским изједначавањем са све јефтенијим обновљивим изворима [119]. Цена која се приказује последица је субвенција [120] није економска па је не треба узимати код алокације ограничених ресурса изазивају тржишне поремећаје [117].

Трендови су да се превазилажење изазова интеграције варијабилних обновљивих извора енергије користе методе [121]: (1) временска прогноза, (2) одзив потрошње, (3) флексибилизација производње, (4) проширивање зона балансне одговорности и (5) скраћивање диспечерског интервала.

2.1.6. Моделирање енергетске ефикасности

Методологија интегралног планирања ресурса⁸ за разлику од традиционалне поред, складиштење енергије, варијабилних извора енергије и управљања потрошњом [55], укључује мере енергетске ефикасности. Техничке мере енергетске ефикасности уређене према трошковима и према енергентима, гаса и електрична енергија, [122] тако да се уштеда види из угла потрошача, али нису анализирани могуће мере на страни производње. Њихово распоређивање у криве понуде⁹ техничких мера енергетске ефикасности према специфичним трошковима потребним за њихову реализацију [38] а сугерисано из разлога економске оптималности [123], приказано је у [124] што даје могућност избора оптималних техничких мера уштеде енергије.

⁸ integrated resource planning

⁹ supply curve

2.1.7. Моделирање потрошње

2.1.7.1. Предвиђање потрошње

У индустријски развијеним земљама које су стабилизоване у демократском и тржишном смислу најчешће се за дугорочно предвиђање потрошње [70] примењују: (1) једноставна метода, екстраполација годишњег раста и (2) регресивна метода. Понекад се регресивна метода примењује и код земаља у развоју где се претпоставља да ће са повећањем друштвеног производа доћи до раста потрошње. Било би погрешно код земаља у транзицији и развоју моделовати као код индустријски развијених земаља [125] на основу историјских података јер се не могу успоставити разумни трендови. Такође треба узети у обзир транзицију са социјалистичке ка капиталистичкој економији и привредној структури [40, 125]. Ове методе коришћене примењиване су у СФРЈ [126], али су се данас показале непоузданим са предвиђања треба прећи на планирање потрошње у складу са енергетском политиком [127]. Посебно су се показале непоузданим тамо где је потрошња највише везана за грејању просторија и топле воде а не са повећањем друштвене и привредне активности. Такође неадекватне су тамо где је пенетрација трајних добара у фази засићења.

Преглед новијих метода прогнозе потрошње дали су [128] од који се издвајају: (1) декомпозиција или анализа употребе¹⁰, (2) АРИМА, (3) вештачка интелигенција итд. Последње две примењују се на краткорочну прогнозу углавном, док је детаљна декомпозиција потрошње на уређаје који се употребљавају веома је тачна за дугорочну прогнозу. Код декомпозиционих метода користе се методе [129]: (1) анализа заступљености трајних добара, (2) анализа типологије зграда и 3) узорковање. Код ових метода финална потрошња је егзогено одређена па није могуће моделовати њено смањење без моделовања управљања потрошњом.

2.1.7.2. Управљање потрошњом

Управљање потрошњом у ширем смислу подразумева све мере које могу дугорочно допринети смањењу тј. енергетској ефикасности или повећању потрошње [130]. То су техничке мере које суштински имају за последицу промену

¹⁰ end use

потрошње услед неке инвестиционе одлуке. У класификују метода дугорочне прогнозе [52], поред споменутих у претходном поглављу, убрајају се комбинована анализа, која поред декомпозиције обухвата и економетријски приступ управљања потрошњом [131, 132]. Овај приступ омогућава моделирање мера енергетске ефикасности кроз моделовање инвестицију у трајна потрошачка добра, промене енергената итд. тако да трошкови за потрошача буду минимални на планерском периоду. Ово је по сложености проблем сличан планирању производње.

2.1.7.3. Одзив потрошње

Под одзивом потрошње подразумевамо краткорочну активност на страни потрошње произроковану бољим искоришћењем ресурса енергетског система али која не мора бити карактерисана уштедом енергије.

Моделирање одзива потрошње је започето доста раније [133, 134]. Метода коју предлажу [135, 136] састоји се од: (1) избора потрошачких уређаја (трајних добара), (2) проценом њиховог расположивог капацитета и (3) искоришћењем изабраног расположивог капацитета. Одзив потрошње у моделује се у EnergyPlan-у [137] на начин где се укупна енергије током године најпре дели на сваки сат а затим множи са уделом броја сати флексибилности уређаја у току једног дана. Више детаља везаних за одзив потрошње може се наћи код [138] и [139].

2.1.8. Моделирање циљева усаглашавања енергетске политике

Да би се промена енергетске политике у смеру усаглашавања остварила потребно је: (1) идентификовати техничке алтернативе, (2) проценити трошкове достизања релевантних политичких циљева по друштво, (3) дерегулисати и (4) повећати учешће друштва у одлучивању [64] кроз увођење свих одлукама обухваћених страна и што већег броја актера који могу променити систем [68] међу које спадају: (1) држава са министарствима и (2) агенцијама, (3) предузећа пружаоци услуга у сектору, (4) инвеститори, (5) индустрија опреме, (6) самостални произвођачи, (7) даваоци зајмова и (8) корисници. Енергетска политика је медијум за размену између политичког система (владе, опозиције, парламента, министарстава и администрације уопште), привреде и осталих заинтересованих страна са бирачима [140] и у том смислу повратне спреге међу њима. Под

политиком (policy) овде не треба подразумевати реторичке вештине (politics), већ у смислу доношења управљачких одлука, прокламовање циљева и критеријума. Такође не треба имати у виду оптималну политику у смилу вишеструких одлука код динамичког програмирања [141] већ скуп структурних интервенција тако да се национални енергетски систем преведе из почетног у циљано стање уз задовољење ограничења. Студија [71] први пут спомиње националне циљеве и ограничења, као и потребу да се првобитно раздвојени сектори у националном енергетском систему посматрају интегрално кроз један национални енергетски мастер план у фазама: (1) одређивање социо-економске позадине, (2) анализа производње и потрошње, (3) енергетски баланс и (4) формулација политике кроз инструменте. У алате енергетске политике [68] поред техничких мера убрајају се: (1) фискалне, (2) регулаторне, (3) креирање потрошње, (4) приватизација, и друге мере.

Сматра се да је политика трошковно ефикасна када су достигнути сви њени циљеви са минимумом трошкова [88]. Економски неефикасне политике не могу се приписати лошој срећи, јер свака је стратегија комбинација економских, технолошких и политичких фактора који се могу предвидети [9]. Технички приступ енергетском планирању подразумева извор најбољих технологија и даље промену структуре националних енергетских система. Други економски приступ био би да се тржишту препусти да одреди најбоље технологије. На крају дионосиоци одлука су ти који праве компромис између ових приступа, којима мора претходити квантификација компромисних величина, уз бригу о: (1) стратешким опредељењима, (2) економском расту и (3) уделу економске размене у расту. Због ових циљева владе обично обликују своју националну енергетску политику [9] тако да: (1) максимизирају производњу и складиштење енергије и ставе је под своју контролу ради енергетске сигурности, (2) субвенционишу националне изворе енергије сматрајући да је то јефтинија опција од увоза енергије, (3) манипулишу ценом енергије када се осигурава конкуритивност домаћих производа, (4) придају значај енергетици као стубу привреде и покретачу привредних активности.

Европска унија је одредила циљеве за 2030 [15, 142], и *ману пута* до 2050 [45] који су флексибилни у смислу одређивања националних циљева кроз имплементацију појединих директива (нпр. 2001/77/ЕС) јер свака земља чланица или кандидат има са тим у вези своје специфичне [143]: (1) почетне услове, (2) условљености развоја, (3) подстицајне мере, (4) доступност инвестиција, (5) међународне уговоре, (6) перцепцију важности. Иако је било критике око доношењу више циљева уместо само једног, уштеде емисија [144], важно је да дође до промене парадигме централизованих нефлексибилних националних енергетских система у новоствареним тржишним околностима [42]. Циљеви које поставила Европска унија односе се на удео обновљивих извора енергије у укупној потрошњи енергије и енергетској ефикасности која доводи до уштеде потрошње примарне енергије и смањењу емисија угљендиоксида у циљној години у односу на базну 2009. годину. Уштеде енергије рачунају се према очекиваној потрошњи у циљној години према подразумеваном сценарију¹¹. Још од Атинског процеса [145] који је створио Енергетску заједницу земаља југоисточне Европе, налик на усаглашавање о заједничком тржишту угља и челика, па све до придруживања, о имплементацији ових циљева се разговара [146] тако да долази до "извоза правила" на земље кандидате тј. преузимања њихове суверености смислу постављања циљева, јер дефакто ови циљеви одрживости постају ограничења њихове енергетске политике. Политика која задовољава ограничавајуће услове представља *дозвољену политику*, а ако ово политика представља и најбољу политику, тада је она *оптимална* [147].

Оптимална политика је она која најмање кошта под претпоставком да свака политика кошта тј. да није само жеља (нада). Оптималну инвестициону одлуку тако да се задовољи циљ за примене обновљивих, без достизања остала два циља и без употребе техничких мера енергетске ефикасности дали су [37]. Међутим, циљеви се међусобом допуњају тако да је постизањем нпр. циља енергетске ефикасности смањена укупна примарна енергија, под условом да је ефикасност система прозводња-потрошња смањује се и финална енергија па је тиме лакше достићи циљ везан за обновљиве [148, 149]. Приметно је да код комбиноване примене финансијских мера долази до ефекта синергије у достизању задатих

¹¹ business as usual (BAU)

циљева јер једна мера намењена нпр. за повећање удела обновљивих извора енергије за последицу има индиректно смањење емисије угљендиоксида што доводи до неизвесности у погледу престижа циљева [150]. Први пут је приказан је синергетски ефекат између достизања циљева, тј. да ограничење енергетске ефикасности достигнуто лабаво¹² а уштеде емисија чврсто [151]. У студији [152] показано да је на глобалном нивоу 40% уштеде емисија угљендиоксида једнако повећању удела обновљивих извора енергије на 26.5% тј. циљ за обновљиве нема додатних трошкова али ово треба испитати на појединачном случају Републике Србије.

2.2. Метода сценарија

Планирање носи претпоставке о будућности или је засновано на предвиђању [153]. Сценарији који су квантитативни могу се назвати и *пројекцијама*, за типологију сценарија видети [154]. Сценарији се користе код дугорочних политика, стратегија и планова као најлакши и реалан начин преношења комплексних информација доносиоцима одлука. Коришћем сценарија решава се проблем неизвесности који прати свако планирање. Додатно је потребно обезбедити флексибилност и трајност процеса планирања који се стално унапређује најновијим информацијама [71]. Неизвесност може бити: (1) краткорочна, мисли се на отказ појединих генератора, и (2) дугорочна када се прогнозирају потребе енергије и цене [55]. Извори неизвесности при моделовању енергетских система могу бити [55]: (1) тржиште нпр. трошкови горива, (2) природа нпр. јачина ветра, количина падавина (3) потрошња, (4) позуданост самих елемената система, (5) регулаторна нпр. мере подстицаја и (6) друго нпр. открића нових технологија, ресурса и природне катастрофе. У студији [73] се за потребе описа несигурности у дугорочној прогнози потрошње сценарио дефинише као: "*Опис потенцијалне будућности и напредовање у том правцу*", у ствари је начин да се сагледају последице различитих варијанти садашњих претпоставки и одлука тзв. контекст¹³ [155]: (1) број становника, (2) бруто домаћи производ, (3) енергетска интензивност, (4) потрошња, (5) трошкови горива, (6) трошкови емисија, (7) трошкови технологија и (8) примена политичких инструмената, уз

¹² slack

¹³ story line

услов међусобне конзистентности [156]. Студија [155] класификују сценарије на: (1) дескриптивне, у које спадају: (а) прогностичи, (б) истраживачки и (в) технички и (2) нормативне, у које спадају: (г) визионарски, (д) одређење уназад¹⁴ и (ђ) мапе пута¹⁵, који се комбинују са моделима енергетског планирања. У смислу технолошких мапа пута кроз сценарије разумно је назначити које ће се технологије примењивати и на који начин: (1) дугорочни потенцијали обновљивих извора енергије, (2) централизовано или децентрализована производња, (3) водород у комбинацији са обновљивим изворима, (4) електрична возила, (5) напредне технологије за складиштење енергије (6) нуклеарна енергија и (7) систем за хватање и складиштење угљендиоксида¹⁶.

Иако најчешће коришћена због својих предности као што су: (1) једноставност, (2) добра покривеност мање вероватних догађаја, метода сценарија не нуди доносицима одлука јединствену препоруку, већ уместо тога, у најбољем случају, неколико детерминистички оптималних сценарија који су међусобом контрадикторни, јер су последица различитих контекста. То се посебно односи на стратешко планирање [68] о чему ће бити речи касније. Различити сценарији очекивано ће имати различита оптимална решења. Слабост сценарија [153] види се у: (1) отворености и ка спољашњим актерима, (2) мешању узрока и последица, (3) преношењу подразумеваног модела доносицима одлука. Детаљан приручник за доносиоце одлука дат је у извештају [157].

2.3. Стратешко планирање енергетике: Република Србија

Истраживање енергетских стратегија је холистичка научна дисциплина [65] која комбинује: (1) технолошка решења, (3) пословне вештине, (4) економске, (5) социолошке и (6) политичке и (7) друштвене науке, и обухвата више заинтересованих страна: (1) академску заједницу, (2) привреду, (3) владу, (4) невладин сектор. У Републици Србији никада није постојао модел ни метода за планирање одрживих националних енергетских система као потребан, нити рационално одлучивање као довољан услов за доношење успешних стратегија из домена енергетске политике. Према закону у Републици Србији прописан је

¹⁴ back cast

¹⁵ road map

¹⁶ carbon capture and storage

начин разраде и спровођења енергетске политике кроз документе Стратегија развоја енергетике Републике Србије, Програмом остваривања Стратегије и Енергетски биланс Републике Србије и њихов садржај¹⁷. Одговор на питање "шта" и односи се на инвестиционе аспекте енергетских система и обухвата документ који се назива стратегија, акциони план [36] или енергетски мастер план, у себи садржи резултате, закључке и препоруке који дају савете за сва питања у вези са доношењем одлука [68].

СФРЈ се изузела од усаглашавања своје енергетске политике и потписивању Европског уговора, одбијајући без образложења, да буде снабдевач, али не и од потраживања на тржишту о угља и челика [159]. Један од могућих разлога је сиромаштво у енергетским изворима нафте, гаса и угља, количински то је 7.5 пута мање од светског просека по глави становника [160], тако да се њихово исцрпљивање може очекивати раније него у остатку света, што налаже активирање нових изворе енергије што пре и у што већем овиму.

У раду [161] развијена је нову техничко-економску методу операционих истраживања, употребом линеарног програмирања, за таблично решавање

¹⁷ Члан 3 Закона о енергетици [158] ***. (2011). *The Energy Law*. Available:

http://www.aers.rs/FILES/Zakoni/Eng/Zakon%20o%20energetici_57-11.pdf

Енергетска политика ближе се разрађује и спроводи Стратегијом развоја енергетике Републике Србије (у даљем тексту: Стратегија), Програмом остваривања Стратегије (у даљем тексту: Програм) и Енергетским билансом Републике Србије (у даљем тексту: Енергетски биланс).

Програм

Члан 5.

Програмом се утврђују услови, начин, динамика и мере за остваривање Стратегије.

Члан 6.

Програм садржи:

- 1) енергетске објекте које је неопходно изградити и реконструисати ради сигурности снабдевања или заштите животне средине и концесије које ће се понудити за изградњу енергетских објеката и рокове за њихово спровођење;
- 2) процену финансијских средстава и изворе финансирања;
- 3) обим коришћења обновљивих и нових извора енергије у укупној производњи енергије;
- 4) мере којима се обезбеђује да прописи који се односе на поступке издавања одобрења, дозвола и лиценцирања који се примењују на објекте за производњу електричне енергије, односно енергије за грејање и хлађење из обновљивих извора енергије, као и на припадајуће преносне и дистрибутивне мреже и поступак претварања биомасе у биогорива или друге енергетске производе, буду једноставни, јасни, доступни и транспарентни;
- 5) коришћење савремених технологија за производњу енергије и енергената;
- 6) мере за стимулисање инвестирања у енергетски сектор;
- 7) коришћење напредних технологија за управљање електроенергетским системом;
- 8) мере за унапређење енергетске ефикасности;
- 9) мере за заштиту животне средине;
- 10) друге елементе од значаја за остваривање Стратегије.

оптималног развоја електропривреде уз критеријум минималних инвестиционих и производних трошкова, одбацујући дотадашњу методу "тенденција плус интерполација". Корићењем хеуристике, попут строге методе коефицијената сигурности да се опише неизвесност потрошње која треба бити задовољена и у најкритичнијем дану који се узима као репрезент године. У студији [33] развијена је метода за оптимизацију структуре националног енергетског система са годишњом резолуцијом, засновану на линеарном програмирању, узимајући у обзир трансформације енергије и продукте трансформација, која се ретко може поставити као планерски проблем у реалности. Касније је развијена и хеуристичка метода константне и варијабилне енергије. Већ 1972. године у СФРЈ, постоји модел бољег искоришћења термоелектрана у функцији потрошње и производње хидроелектрана, кроз коришћења пумпно-акумулационе хидроелектрана за арбитражање [67]. Једна од метода приказана је у [162]. У домену енергетска ефикасност остварују се скромни резултати између осталог у одсуству сагледавања шире економске слике [94]. У студији [40] додаје се услов заштите животне средине на структурни модел "енергетских низова" националног енергетског система али без конструкције модела, из разлога недостатка података. Код оба аутора [33, 40] социјални моменат запошљивости, коришћење потрошачких уређаја домаће производње и домаћих ресурса улази као екстерно ограничење. У студији [40] даље сматра се како за сваки ниво политичких циљева постићи минимум друштвених трошкова у које убраја и социјалне те да се структура енергетског система може оптимизовати минимизацијом ових трошкова. Обновљиви извори енергије, сем традиционалних хидро и биомасе, по правилу изузети су из званичних стратегија [126] и биланса [117]. У студији [117] оптимизује се структура националног енергетског система истицањем критеријума економске сврсисходности као најважнијег при субституцији размењивих и неразмењивих енергената, и то у два корака: први избор енергената, други избор структуре ланца финалне потрошње. Планирање енергетике на бази минималних трошкова дуго је виђен је као сложен и скуп процес [116]. Ипак је [163] развио ОПРЕС модел за планирање развоја електроенергетског система који обухвата оптималну структуру и динамички приступ, са анализом осетљивости коришћењем уређеног дијаграма трајања оптерећења и модификованом методом

константне и варијабилне енергије, али изузимајући варијабилне обновљиве извора енергије. У студији [164] објашњава се хеуристика слагања еквивалентних електрана у уређен дијаграм потрошње по редоследу најнижих варијабилних трошкова. Још у [165] видљива је идеја конвергенције енергетске структуре ка западноевропским земљама, али неће се реализовати, из разлога корелисаности економских и енергетских транзиција [166]. Ове идеје се најпре нападају из угла макроекономских губитака услед увоза мада је одавно позната увозна зависност Републике Србије у погледу технологија [167], која у периоду од 1976-1989 достижу 15% од укупних инвестиција у основна средства привреде, од чега 65% из иностраних извора. Даље [51] развија сатну (нехронолошку) методу, базирану на апроксимацији уређеног дијаграма производње и потрошње са формалним моделовањем неизвесности. Тек [168] спомиње се могућност коришћења свих потенцијала обновљивих извора енергије, а посебно малих хидро, иако су истраживања започета крајем седамдесетих година [169]. Међу циљевима стратегији енергетике одвојено су разматране студије везано за: (1) структуру трошкова у производњи енергије, (2) примену мера енергетске ефикасности у (3) обновљивих извора енергије, (4) хидро и термо производњу намењену извозу, (6) компјутерски модел управљања и (7) регионалне структурне интервенције [170], уз које се предлаже и развој оптимизационе методе којом би се минимизирали укупни трошкови. Типизација метода за дугорочно планирање енергетике са моделима и предлогом [171] да се укључе нове енергетске технологије и еколошка ограничења. У раду [172] предложе се метода спрезања модула: (1) базе података, (2) симулација енергетских токова, (3) потрошње енергије, (4) енергетски биланс и (5) заштиту животне средине у енергетски информациони систем. Од посебног интереса модул симулације енергетских токова на основу којег се може вршити оптимизација у фази доношења одлука. У студији [173] развијен је симулациони модул који билансира суфиците националног електроенергетски система на бази хеуристике карактеристичног дана за сваки месец, али опет доста упрошћено хеуристичком уређеног дневног дијаграма на два сегмента. Обновљиви извори енергије сем хидро и биомасе систематски се изузимају из биланса и планирања стратегија [174, 175]. Водећи се овим закључцима предлаже се недостижања европских енергетских циљева ни у

периоду 2015-2020 [176]. У студији [177] предлаже се енергетска политика базирану на субвенционисаном домаћем лигниту и без емисионих ограничења. У студији [178] феноменолошком методом предвиђају електроенергетски микс са свега 3 % удела обновљивих извора енергије, искључујући хидро. У појединим радовима на тему стратешког планирање енергетике у Републици Србији постоје методолошке основе [179-182] али се не разрађују кроз моделе.

Пошто се енергетика као базна инфраструктурна делатност политички проглашава за један од развојних приоритета [175], као важан аспект стратешког планирања у Републици Србији присутна је заблуда о обостраном међусобном утицају тј. постојању повратне спреге потрошње енергије и друштвеног производа у досадашњим радовима [163, 170, 183, 184]. Ова заблуда изузима могућност да се остварено повећање друштвеног производа уложи у техничке мере којима ће се уштедети енергија тзв. декупловање раста потрошње од раста друштвеног производа које спомиње [185]. Декупловање раста теоријски су доказали [186], а што је и практично видљиво од 1970. година на глобалном нивоу [187] и земљама ОЕЦД [188]. Негативно корелисани раст потрошње од 1990. године на примеру Републике Немачке [189] сведочи да је смањењем потрошње могуће повећати друштвени производ.

Код развоја стратешког планирања енергетике код земаља у развоју [71] предлаже се формирање привремене експертске групе за планирања у електроенергетици заједно са страним експертима, и да се затим изврши транзиција према Министарству енергетике и Енергетској агенцији, али то није дало резултате у Републици Србији. Након 2000. уз помоћ Светске банке израђена студија основе развоја енергетике [190, 191] убрзо затим и Стратегија до 2015. године, такође на међународном експертском нивоу хеуристичким методама [192, 193], даје преглед програма, мера и активности које се имају предузети са инвестиционим трошковима од 3.7% укупно оствареног бруто друштвеног производа до 2015. године. Стратеги документи енергетике Републике Србије, надаље су пратили ову праксу међународних експерата и коришћења рачунарских алата попут LEAP-а за израду Нацрта стратегије развоја енергетике Републике Србије за период до 2025 са пројекцијама до 2030. године [43], Национални акциони план за обновљиве

изворе енергије [194], први [195], и други [196] национални акциони план за енергетску ефикасност.

Досадашње Стратегије по правилу су се базирале на постојању лигнита без узимања у обзир његове истрошивости нити вредновања последица истрошеног ресурса и нису су одговориле на питање којим иновацијама се то може надоместити. Ненаучни, несвеобухватни и нехолистички приступ у стратешком енергетском планирању у Републици Србији дао је катастрофалне последице са резултатом да енергетске стратегије не могу одговорити захтевима друштва ни ЕУ, уз субвенционисање енергената са високим екстерним трошковима [120]. Цене енергената које не одговарају економској вредности производа не могу бити критеријум алокације ограничених ресурса, јер то доводи до погрешних економских сигнала који не подстичу принцип компаративних предности, већ изазивају даље тржишне поремећаје [117]. То парадигма се мора одбацити и трагати за новом у смислу одрживих енергетских система. У термодинамичком смислу, будућност нација одржива је под условом високе ефикасности конверзије ресурса у додатну материјалну вредност [197].

2.4. Методолошка ограничења постојећих и предлог методе у складу са потребама.

У процесу прикључења Европској унији, потребно је користити рачунарски алат за анализу сценарија који ће омогућити сагледавање енергетског, економског и емисионог биланса одлука везаних за оптимални развој националног енергетског система под ограничењима, јер би било погрешно правити стратегију енергетике коју ЕУ не прихвата или која је није најјевтинија. Досадашњи приступ у планирању енергетске политике није дао основе за одрживост и усклађивање циљева енергетске политике. Феноменолошки приступ, везивање потрошње енергије и бруто друштвеног производа извођењем категорије еластичности треба изоставити јер не могу регистровати каузалност нити су подесни за моделовања енергетских транзиција и трансформације енергетских система, нити је помоћу њих могуће сагледати последице одлука и доношење техничких мера. Еквилибрисички приступ такође није применљив код креирања енергетске политике јер би се изговор неусаглашавања могао преписати тржишту.

Оптимизациони приступ у правцу директног, инжењерског, тражења решења под задатим ограничењима би био најподеснији, под претпоставком да је потребно да се енергетски систем трансформише у смеру усаглашавања Европске енергетске политике па је потребно испитати више варијанти.

Потребно је инвестирати у сектор енергетике тако да се минимизирају укупни трошкови и притом указати на карактеристичне примере и оптималне сценарије. Циљ није да се коришћењем вишекритеријумског одлучивања искључе доносиоци одлука већ да им се да подршка приликом одлучивања. Из угла владе Републике Србије, укупни трошкови су управљачка променљива, све друго су ограничења. Основни циљ рангирања могућих опција је доношење и вођење средњерочне енергетске политике, на периоду дужем од 15 година тако да се може остварити дугогодишњи оптимум јер би се код код периода планирања краћем од трајања добара, отежало решавање овог проблема у будућности. Оваквим планирањем биће побољшано сагледавање њених трошкова што ће допринети реалности и изводљивости.

Израда енергетског мастер плана и учешће у процесу је по обиму и делокругу посао владе Републике Србије кроз Министарство енергетике. Одвојена израда стратешких докумената доводи до грешака при достизању циљева енергетске политике [148, 198] а тиме и до повећања трошкова па треба променити методологију која обухвата све циљеве унутар једног стратешког документа који мора бити јединствен и независан од извора финансирања. Обухватање свих циљева и њихово заједничко решавање у методолошком смислу је значајно јер омогућава синергетски ефикас [199]. Методолошки то омогућава да се техничке мере не бирају према једном циљу већ да се остави могућност да уколико нека нека мера има економски потенцијал да се он искористи у потпуности за остваривање било ког циља. Додатно омогућено је посматрати међусобни утицај техничких мера. Важно је да се не посматра један сектор него сви, јер су национални циљеви јединствени па постоји проблем преноса надлежности уштеде из једног у други. Европска комисија флексибилна је у погледу достизања циљева, кроз секторе у оквиру заједничког националног енергетског плана али се сматра да су поред инвестиција у техничке мере енергетске ефикасности и

обновљивих извора енергије потребне и структурне инвестиције међу којима и интелигентне енергетске мреже, јер се су [46, 200] показали уштеде енергије и емисија, и подршка у интеграцији варијабилних обновљивих извора енергије.

2.4.1. Ограничења постојећих модела и методологија

EnergyPLAN се показао подесним код моделовања одрживих националних енергетских система али нема могућност оптимизације инвестиција [201, 202] што је потребно код стратешких докумената. Типологија постојећих одозго на горе модела дата је у Табели 2.

Табела 2 Типологија модела за стратешко планирање енергетских система.

Име	Нац иона л	Сатни , хроно лошки	Обновљ иви	Енергетска ефикасност на стани потрошње	Ограничња политичка, циљеви у смислу оне, енергетска ефикасност, емисије и шире одрживост	Интелигентне енергетске мреже нпр. одзив потрошње, интегрални приступ	Оптимизација инвестиције	Бесплатан, доступан или постоји лиценца на факултету	Тржишне транзакције	Извор
EnergyPLAN	да	да	да	не ¹⁸	не	да	не	да	да	[50]
BESOM	да	не	не	не	да	интегрални	да	не	да	[84]
Mesap PlaNet	да	да	да	не	да/не	интегрални	не	€6,800	не	[68]
SimREN	да	да	да	да	да/не	делимично	да	не	не	
MODEST	да	не	не	да	да/не	делимично	да	не	да	[25]
EFOM	да	не	да	не	да/не	интегрални	да	не	не	[203]
MARKAL/TIMES	да	не	да	да	да	интегрално	да	€3,775	да	[204]
TASES	да	да	да	не	не	интегрално	да	не	да	[80]
RENPASS	да	да	да	не	да	електрична ен.	да	да	да	[23]
MESSAGE	да	не	да	не	да	интегрално	да	да	не	[79]
ReEDS	да	не	да	не	да	електрична ен.	да	не	да	[205]
GENESYS	не	да	да	не	да	електрична ен.	да	не	не	[206]
OSeMOSYS	да	не	да	не	да	да	да	да	не ²	[104]
PLEXOS	да	да	да	не	да	интегрални	да	не	да	[207]
NETPLAN	не	не	да	не	да	делимично	да	не	не	[208]
LEAP	да	не	да	да	да	да	не ¹⁹	да	не	[209]
IPM	да	не	да	не	да	делимично	да	не	не	[210]
HOMER	не	да	да	да	да	делимично	да	да	да	[211]
SEXPOT	не	да	да	не	не	делимично	да	не	да	[212]
REMIX	не	да	да	не	да	интегрални	да	не	не	[75]

¹⁸ изворно, али је могуће надградњом.¹⁹ изворно, могуће уз OSeMOSYS

СПРЕГНУТА МЕТОДА ЗА ОПТИМАЛНО ПЛАНИРАЊЕ ОДРЖИВИХ ЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА БАЗИ СИМУЛАЦИЈА

CoDiMoSO	да	не	да	не	да	интегрални	да	не	не	[213]
Green-X	да	не	да	да	да	делимично	да	да	да	[214]
PowerACE	да	да	да	не	не	делимично	да	не	да	[35, 215]
THEA	да	да	да	не	да	делимично	да	не	да	[111]
Switch	да	не	да	да	да	делимично	да	не	да	[216]
***	да	да	да	не	да/не	делимично	да	не	да	[217]
***	да	не	да	не	не	делимично	да	не	да	[218]

GENOPT је коришћен у спрези са LEAP-ом [219] и EnergyPLUS [220] али не у случају националних енергетских система. Типичан случај код планирања националних енергетских система је коришћење методе "одоздо-на-горе" је комбинација са симулационим и оптимизационим методама, као и "одозго-на-доле" у комбинацији са еквилибристичким [14]. Техно-економски оптимизациони модели су по правилу "одоздо-на-горе" са недостатком да могу нарушити економски еквилибријум развоја, запошљености и конкурентности [78]. Студија [29] сматра непримереном примену оптимизационих модела у земљама у развоју из разлога недостака података, неразвијености тржишта и постојања реалне функције оптималне алокације, па ипак могуће је применити одоздо-на-горе, оптимизациони национални енергетски модел у Републици Србији узимајући у обзир да су цене одређене екстерно [117]. У прегледном чланку [22] минимизација инвестиционих и производних трошкова су у конфликту, јер метода изузима коришћење обновљивих извора енергије и трошкове емисија. Методу [131] треба унапредити да буде могуће економски поредити техничке мере енергетске ефикасности са другим техничким мерама нпр. градња обновљивих извора енергије, градња интелекционих и др.

2.4.2. Предлог модела и метода

Предмет истраживања биће развој оригиналне методе за моделовање перспективних сценарија националних енергетских система који укључује симулацију и оптимизацију примене техничких мера на страни производње, преноса и потрошње енергије ради трошковано ефикасног усаглашавања енергетске политике.

Сврха је развити *одоздо на доле* врсте, *модела енергетског система*, са *техничко-економским* приступом описивању, на *средњерочном* хоризонту планирања, *националног* географског одређења, са *сатном* временском и *једнотачкастом* просторном резолуцијом, који секторски покрива *комплексну енергетику*, са *статичким* односом инвестиционих интервала, коришћењем *симулационих* и *оптимизационих* метода, и са *детерминистичком* методом третирања неизвесности.

Овај модел имаће мањи ниво ендогенизације претпоставки у односу на постојеће. Неће имати представу неенергетских сектора у форми која би омогућавала макроекономске утицаје. Висок ниво описа технологија производње и потрошње енергије, коришћењем приступа "одоздо на горе" треба да омогући сагледавање резултата донетих одлука. Поред симулационог, треба решити и оптимизациони проблем додавањем алата на EnergyPLAN и применом статичке оптимизације јер динамичка оптимизација је још увек изазов [60]. EnergyPLAN користити као алатку за годишње сатно билансирање трошкова, енергије и емисија а задатак оптимизације решавати треба решавати коришћењем GENOPT-а. Модел трошкова треба да садржи инвестициони и производни део јер се ефекат увођења варијабилних обновљивих извора очекује у оба дела трошка. Са већом применом техничких мера обновљивих извора енергије и енергетске ефикасности очекује се повећавање инвестиционих трошкова и смањење производних трошкова. Објективна функција треба да буде укупни годишњи трошак енергетског система а не специфични трошак произведене енергије [221]. Од ограничења поред циљева усаглашавања енергетске политике још треба додати: (1) технолошка, (2) ресурсна, и (3) потрошњу. Развој оптимизационих алгоритама и нових модела неће бити циљ истраживања па су изабрана и спрегнута два комплементарна алата. Детаљно рашчлањивање потрошње према потрошачким уређајима потребно је ради сагледавања ефеката управљања и одзива потрошње који може укључити функционалности интелигентних енергетских мрежа.

Правилно изабране техничке мере показале синергетски ефекат јер на трошковно ефикасан начин задовољавају ограничења. Хеуристичком избора техничких мера и сектора у којима је интензитет емисија највећи и који су најактивнији током године треба доћи до лакшег достизања циља уштеде емисија. Подоптимални радни режими, услед делимичног ангажовања, у термоелектранама неће се узети у обзир. За потребе овог неће се користити модел унутар сатног диспечирања и токова снага из разлога занемарљивог доприноса резултатима. Идеја је да овај рад буде основа за разраду акционих планова појединих сектора, са укључивањем токова снага, детаљном анализом производних трошкова, позданости, стабилности итд. [11] које су до сада развијене [54, 222, 223].

3. Спрегнути модел рачунарских алата EnergyPLAN и GENOPT.

Из разлога који су описани у првом и на начин који је предложен у другом поглављу, у овом (трећем) поглављу приказан је спрегнути модел рачунарских алата EnergyPLAN [50] и GENOPT [61]. Спрега се односи на размену улазних и излазних података ова два алата. Размена података између EnergyPLAN -а и оптимизационог алата обавља се разменом текстуалних фајлова. Тако је могуће спрегнути било који симулациони алат са GENOPT-ом без модификације и компајлирања ових алата. Једини услов је да симулациони алат користи текстуални фајл за улазне податке, резултате и јављање грешака [61] што и јесте био случај код EnergyPLAN-а (видети *Додатак 1. Позивање EnergyPLAN-а и GenOPT-а* и *Додатак 2. Поруке о грешкама и елементи оптимизационог задатка*).

GENOPT је предвиђен за проблеме *оптимизације на бази симулација* (simulation based optimization [224]) где *критеријумска* функција није позната у аналитичком облику нити је то потребно [61]. Корисник може изабрати оптимизационе алгоритме из постојеће библиотеке или имплементирати своје [61]. Ако је *критеријумска* функција неконвексна или недиференцијабилна тада се користи генерализовани метод Хук-Цивса [225] или хеуристике [61].

Оптимизационим моделом GENOPT (Generic Optimization Program) бирају се *управљачки вектори*²⁰: снаге појединачних енергетских извора или техничке мере енергетске ефикасности за сваку годину из планерског периода тако да буде задовољена основна и додатна *ограничења* а *критеријумска функција* буде минимална. У основна *ограничења* спадају балансна и структурна *ограничења*. Балансна *ограничења* представљају изједначавање производње и потрошње и трговања на сатном нивоу. Структурна *ограничења* представља усаглашавање енергетске политике са ЕУ. Додатна *ограничења* односе се на *ограничења управљачких вектора*. Задовољење структурних и додатних *ограничења* гарантовано је у GENOPT-у а задовољење баланских *ограничења* гарантује

²⁰ decision vector

EnergyPLAN. За детаље програмског кода видети *Додатак 3. Програмски код GenOpt-a*.

Идејно решење коришћења спрегнуте методе дато је на Слици 1. је приказано у раду [62] а целокупна реализација у раду [226].

Задатак оптимизације одрживих енергетских система формулише се у GENOPT-у. Конфигурацијом GENOPT фајлова задају се ограничења *управљачких вектора* и *зависно променљивих*. Овако конфигуриран GENOPT позива EnergyPLAN који је раније конфигуриран тако да описује структуру националног енергетског система и све егзогене претпоставке о трошковима технологија, горива и емисија. Резултат EnergyPLAN-а у виду годишњих биланса енергије, емисија и трошкова улазни је податак у следећем кораку оптимизације GENOPT-а, на основу кога се генеришу нови *управљачки вектори* у складу са оптимизационим алгоритмом. Ова процедура се траје док се не заврши оптимизација, видети *Додатак 4. Изглед екрана GENOPT-а*.



Слика 1 Идејно решење методе оптимизације одрживих енергетских система на бази симулација [62], засновано на [227]

3.1. Оптимално планирање одрживих енергетских система

Критеријумска функција збира укупних годишњих актуализованих трошкова оптималног националног енергетског система у последњој године планерског периода треба да буде минимална [62, 226]:

$$\min_{RES, EE, S \in P} A = A_{CAPEX}(RES, EE, S) + A_{OPEX}(RES, EE, S) \quad (1)$$

п.о.

$$\Delta^1(RES, EE, S) = TPES_{2030}(RES, EE, S) - 0.73 * TPES_{2030}(0,0,0) \leq 0, \quad (2)$$

$$\Delta^2(RES, EE, S) = 0.27 * GFEC_{2030} - E_{RES,2030}(RES) \leq 0 \quad (3)$$

$$\Delta^3(RES, EE, S) = Q_{CO2,2030}(RES, EE, S) - 0.60 * Q_{CO2,2009} \leq 0 \quad (4)$$

$$0 \leq RES \leq RES_{max}, 0 \leq EE \leq EE_{max}, 0 \leq S \leq S_{max} \quad (5)$$

где су:

A -укупни годишњи актуализовани трошкови енергетског система, критеријумска функција,

A_{CAPEX} -укупни годишњи актуализовани инвестициони трошкови,

A_{OPEX} -укупни годишњи актуализовани производни трошкови,

$TPES_{2030}$ - укупна примарна енергија у 2030. години, зависна променљива,

$TPES_{2030}(0,0,0)$ - укупна примарна енергија у 2030. години без примене мера

$E_{RES,2030}$ - укупна енергија из обновљивих извора енергије у 2030. години, зависна променљива,

$Q_{CO2,2030}$ -укупна емисија CO2 у 2030. години, зависна променљива,

$Q_{CO2,2009}$ -укупна емисија CO2 у референтној 2009. години

RES -вектор обновљивих извора, слободна променљива

EE -вектор мера енергетске ефикасности, слободна променљива

S -вектор структурних мера, слободна променљива

RES_{max} , EE_{max} , S_{max} -технички потенцијали мера обновљивих извора, енергетске ефикасности и структурних мера, ограничење

P -скуп могућих енергетских политика описаних техничким мерама.

Уштеда енергије уводи се као *управљачка* променљива. Овако је избегнуто вредновање мера само према трошковима, тзв. MAC (Marginal Abatement Cost) криве, већ се допринос њихов допринос рангира у задовољењу структурних *ограничења*. Предност методе је да не треба накнадно рачунати трошкове појединих мера па их сабирати, већ се оне у EnergyPLAN-у аутоматски рачунају као *додатни трошкови* у зависности од уштеде енергије и специфичног трошка уштеде енергије. Изабрана мера енергетске ефикасности тако улази у укупне трошкове (инвестиционе и операционе) па се тако остварује њено вредновање у односу на остале мере.

Проблем се своди на оптимални избор *управљачких променљивих* које описују мере нпр:

- инсталисана снага ветроелектрана п.о. 500-5000 MW, са кораком 256
- конзум угља у домаћинствима п.о. 0-1.5 TWh, са кораком 0.25 (конзум = конзум_{max} - уштеда)
- топлотни конзум у систему даљинског грејања п.о. 6-9.9 TWh_{th}, са кораком 0.25
- електрични конзум п.о. 35-38.7 TWh_{el}, са кораком 0.25
- итд.

под *ограничењима*. Могуће су многе друге мере, јер око 700 (седам стотина) улаза у EnergyPLAN и њихова линеарна комбинација могу бити *управљачке* променљиве, неки од примера су:

- замена горива и куповину новог котла у домаћинству нпр. прелазак са угља на гас или даљинско грејање, прелазак са електричног грејања на топлотну

пумпу или прелазак са електричних грејача воде на соларне колекторе (видети Додатак 2. део Увођење мера замене енергената).

- структурне интервенције нпр. смањење техничког минимума, промена капацитета водова у интерконекцији итд.
- цена горива, CO₂,
- управљачких стратегија као и техничка или тржишна оптимизација (видети Додатак 2. део Промена управљачке стратегије).
- итд.

Сваку од *управљачких* променљивих могуће је задати и дискретно нпр. величине агрегата (видети *Додатак 2. део Увођење* сложених управљачких променљивих). Детаљан приказ мера и одговарајућих *управљачких* променљивих биће дат у следећем поглављу.

3.2. Покретање симулација ради оптимизације

Ради оптимизације, GENOPT, на бази једног или више *улазних шаблон фајлова*, аутоматски генерише *управљачке векторе* за симулациони алат. На овај начин GENOPT може да мења *улазне фајлове* симулационог алата. *Конфигурационим фајлом*, корисник одређује како ће се позивати симулациони алат и где GENOPT може наћи вредност његове критеријумске функције (видети Додатак 1).

Шаблон улазне фајлове прави корисник тако што копира постојећи *улазни фајл* и измени га тако да дефинише *управљачке променљиве* коришћењем кључних речи. GENOPT онда мења те кључне речи са нумеричким вредностима и тако аутоматски креира серију *улазних фајлова*. Коришћење GENOPT 3.1.0 за оптимизацију инвестиција у спреси са симулатором производње EnergyPLAN 11.2, потребно је конфигурисати *улазни шаблон фајл* у коме је назначено које од *улазних* променљивих у EnergyPLAN ће бити коришћене као *управљачке* променљиве у GENOPT-у, и то дефинисати у *командном* фајлу, видети Додатак 3. Промена вредности *управљачке* променљиве од једног до другог корака оптимизације а тиме и *улазне* променљиве од једне до друге симулације, одређена

је оптимизационим алгоритмом који је такође дефинисан у *командном* фајлу, *Додатак 3. Број корака оптимизације одговара броју симулација.*

Извршавање сваког корака оптимизације своди се на:

- генерисање *улазног* фајла,
- позив симулације и чекање фајлова *извештаја* и *резултата симулације* и
- читање значајних података за критеријумску функцију из фајла *резултата симулације*.

Завршетком свих корака оптимизације, или грешком у извршавању, генеришу се фајлови извештаја и излаза оптимизације који документију сваки корак.

Начин на који се позивају симулације описан је у *конфигурационом* фајлу. Овде се имплицитно наводе имена фолдера и фајлова који се користе као улаз и излаз из GENOPT-а, док се експлицитно наводи путања до симулационог алата.

Сврха *иницијализационог* фајла је да се експлицитно наведу адресе коришћених *улазних* и *излазних* фајлова ради покретања симулације и рачунања критеријумске функције. У њему је реализована и *критеријумска* функција, видети *Додатак 3.*

3.3. Постављање проблема оптимизације инвестиције код одрживих националних енергетских система у GENOPT-у

Поставка инвестиционог оптимизационог проблема код одрживих националних енергетских система у GENOPT-у своди се на дефинисање *критеријумске* функције, *ограничења*, *управљачких* и *зависних* променљивих конфигурацијом фајлова описаних у преходном подпоглављу. Није довољно само поставити оптимизациони проблем, већ је потребно користити предобраду и накнадну обраду да се овај проблем опише.

3.3.1. Минимизација укупних трошкова, критеријумска функција

За оптимални национални енергетски систем, укупни трошкови након примењених техничких мера енергетске политике су минимални. Укупни трошкови националног енергетског система израчунати у EnergyPLAN-у састоје се из инвестиционих, енг. CAPEX и производних, енг. OPEX који укључују: трошкове горива, варијабилне и фиксне производне трошкове, трошкове трговања

електричном енергијом и таксе на емисије CO₂ сведене на годину. *Критеријумска* функција дефинисана је у *иницијализационом* фајлу, видети *Додатак 2*, као сума трошкова који се могу наћи у *излазном* фајлу EnergyPLAN-а.

3.3.2. Избор оптималне политике, управљачке променљиве

Управљачке променљиве, које су техничке мере енергетске политике: обновљивих извора енергије, енергетске ефикасности и структурне, груписане су у три *управљачка вектора RES, EE и S*. Име, почетна вредност, доња и горња граница (ограничење), дати су у *командном* фајлу, *Додатак 3*. Све *управљачке променљиве* су континуалне, мада је могу бити задате и дискретно.

Укупне уштеде енергије мерама вектора енергетске ефикасности на страни потрошње:

$$Savings_{total} = \sum_{i \in EE} Savings_i \quad (6)$$

потребно је посебно израчунати јер се то користи за рачунања *ограничења* код *зависно променљивих*. Рачунање *додатних трошкова* управљачких вектора енергетске ефикасности и структурних, биће приказано у једном од следећих подпоглавља.

3.3.3. Усаглашавање политике, имплементација ограничења зависно променљивих, накнадна обрада (post-processing)

Корисници GENOPT-а упућени су на имплементацију ограничења *зависно променљивих* преко функције пенала (или баријере). Ова процедура уводи *ограничења* у *критеријумску* функцију. Најпре се све једначине ограничења напишу тако да је на десној страни нула (0), једначине 2-4, а затим се множе са новом променљивом тзв. Лагранжовим мултипликатором [228] на следећи начин [61]:

$$\tilde{f}(x, \mu) \triangleq f(x) + \mu \sum_{i=1}^3 \max(0, \Delta^i(x))^2 \quad (7)$$

где су:

$\tilde{f}(x, \mu)$ -нова критеријумска функција, која укључује функцију пенала,

$f(x)$ -оригинална критеријумска функција,

μ -Лагранжов мултипликатор,

$\Delta^i(x)$ -структурна ограничења, зависне променљиве,

$\Delta^1(x)$ -за TPES ограничење (одговара једначини 2.),

$\Delta^2(x)$ -за RES ограничење (одговара једначини 3.) и

$\Delta^3(x)$ за CO₂ ограничење (одговара једначини 4.).

Овако написане једначине уводе се у *иницијализациони* фајл GENOPT-а коришћењем тзв. накнадне обраде (post-processing) која је приказана у *Додатку 2*. Оптимизационе процедура, у којој раније дефинисана балансна *ограничења* обезбеђују да се промене у функцијама ограничења на страни потрошње "виде" на страни производње и обрнуто, наставља се до задовољења свих структурних *ограничења* са захтеваном тачношћу. Овако се може десити да у тренутку достизања последњег, нека од *ограничења* већ буду премашена. Ограничења *управљачких променљивих* уводе се у *командном* фајлу (*Додатак 3*).

3.3.4. Додатни трошкови, пред обрада (preprocessing)

Додатни трошкови (видети *Додатак 2*. део *Увођење додатних трошкова*) код техничких мера енергетске ефикасности и структурних мера уводе се коришћењем пред обраде. У супротном, под претпоставком минимизације трошкова као *критеријумске* функције, њихове *управљачке* променљиве, би увек биле изабране. У пред обради, *додатни* трошкови рачунају се на основу једначина у *управљачком* фајлу које су типа:

$$C_{ADD} = EE_{specific} * (CAPEX_S + OPEX_S) \quad (8)$$

где су:

C_{ADD} -додатни трошкови код техничких мера енергетске ефикасности,

$EE_{specific}$ -уштеда енергије услед техничких мера енергетске ефикасности,

$CAPEX_S$ - специфични инвестициони трошкови код техничке мере енергетске ефикасности,

$OPEX_S$ - специфични експлоатациони трошкови код техничке мере енергетске ефикасности,

и затим се уписују у *улазне* фајлове EnergyPLAN-а пре покретања симулације, како је предвиђено *шаблонским улазним* фајлом. *Додатни* трошкови одређени су инвестиционим трошком, операционим трошком (обично је нула) и животним веком техничке мере. Ова метода омогућава рачунање *додатних* трошкова за неколико различитих (до десет) технички мера енергетске ефикасности или структурних мера. Даље је потребно за сваку од мера дефинисати и њен технички потенцијал. Мере замене (МЗ) енергената уводе се смањивањем субституисаног уз пропорционално повећање субституентног енергента уз претпоставку једнаке финалне енергије. Ове мере такође могу имати *додатне* трошкове нпр. новог уређаја и трошкове прикључења. Приликом увођења бише различитих техничких мера енергетске ефикасности за исти енергент потребно је обезведити да њихов збир буде мањи или једнак потрошњи. Из тог разлога се за сваки од енергената посебно рачуна збир уштеде. Код структурних мера нема директних користи али се њихови доприноси могу вредновати кроз побољшање *критеријумске* функције и релаксацију *ограничења*.

3.3.5. Увођење техничких мера енергетске ефикасности и структурних мера

Као што је споменуто, техничке мере енергетске ефикасности могу бити: технолошке мере (ТМ) код којих се уводи нова технологија и мере замене енергената (МЗ) тј. преласка са једног на други енергент. Тако на пример после технолошке мере уштеда (SavingCoalRef) и замене енергената (SwitchCoalBiomass, SwitchCoalGas) за управљачку променљиву потрошње угља у сектору домаћинства за сваку следећу итерацију ради се пред обрада. Нове вредности потрошње енергената биомасе и гаса додају се на њихове досадашње потрошње. Такође се врши пред обрада и актуализација укупних инвестиционих и операционих компонената додатних трошкова (видети *Додатак 2* део *Увођење мера замене енергената*). Смањење производње топлоте у сектору даљинског грејања уводи се као технолошка мера: унапређењем топलोвода ради смањења

транспортних губитака (SavingHeatNetw), енергетском санацијом вишепородичних зграда ради смањења њихове годишње потрошње (SavingHeatRef) и увођењем индустријских постројења за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије у систем даљинског грејања (IndustrialCHP). Овде се такође уводе *додатни* трошкови. Уштеда електричне енергије унапређењем електричне мреже (SavingElecCable) као ТМ и МЗ електричног индивидуалног даљинским грејањем (SwitchEHDH) уводе се налик на претходне (e.g. SavingHeatNetw and SwitchCoalBiomass) стим што је потребно додатно умањити потрошњу електричне енергије у *ElectricityDemand* сектору EnergyPLAN-а. Мера замене електричног индивидуалног грејача воде соларним колекторима електрис (SwitchElecSolarWH) уводи се преко *топлотне пумпе у индивидуалном сектору* EnergyPLAN-а са јединичном ефикасношћу. Структурна мера, управљиве потрошње (DemandResponse) уводи се усвајањем расположиве флексибилне енергије у току 24 сата (*total flexible energy during one day*) и пред обрадом флексибилне снаге (*maximal load*) при сваком сценарију употребне ове мере. Додатно је потребно од стане оптимизационог алгоритма изабране количине управљиве потрошње у односу на технички потенцијал, одузети од укупне неуправљиве потрошње. Уштеда природног гаса у индустрији као ТМ (SavingGasInd) уводи се смањивањем потрошње (*industry sector*) уз *додатне* трошкове. Замена енергената у сектору саобраћаја из дизел на електричну енергију, *управљачка* променљива (ElecPHEVSmart), уводи се као издвојена потрошња уз изузимање из неуправљиве потрошње у пред обради. Додатно, на бази исте потребе за транспортом пред обрађује се уштеда у дизелу и додатна потрошња електричне енергије. На крају су уводи и капацитет прикључења на електричну мрежу, капацитет еквивалентне батерије као и додатни трошкови такође у пред обради и на бази броја додатних електричних возила. Друга мера замене енергента односи се на замену дизела биодизелом (BioDiesel), и укључује трошкове градње рафинерије. Техничке мере енергетске ефикасности на страни производње имају две могуће варијанте: престанак рада старих неефикасних јединица (*oldTPPsize, oldCHPsize*) и градњу нових ефикасних јединица (*newTPPsize, newCHPsize*). Ове промене праћене су променом снаге еквивалентне

термо и комбиноване електране за производњу топлотне и електричне енергије, које прати и промена техничког минимума:

$$TPP_{min,new} = 0.3 * TPP_{max,new} + 0.6 * TPP_{max,old} \quad (9)$$

јер су старе електране мање флексибилне у односу на нове (овде је усвојено 0.6 и 0.3 у односу на пројектовану снагу). Променом структуре еквивалентних електрана мења се и ефикасност производње (видети и *Додатак 2* део *Увођење сложених управљачких променљивих*):

$$\eta_{TPP,el} = \frac{\sum_{TPP} P_{max} * \eta_{el}}{\sum_{TPP} P_{max}} \quad (10)$$

Структурна мера повећања капацитета интерконекције, уводи се на бази *додатних* трошкова рачунајући просечно растојање суседних главних градова ваздушном линијом и специфичних трошкова MW*km:

$$HVAC_{specific\ costs\ per\ MW} = Distance_{average} * HVAC_{specific\ costs\ per\ MW*km} \quad (11)$$

Структурна мера изградње складишта електричне енергије, на бази пумпно акумулационе електране, уводи се преко управљачке променљиве (StorageP) и пред обрадом капацитета за складиштење.

Детаљан преглед уведених техничких мера у биће приказан табеларно у следећем поглављу.

3.4. Оптимизациони алгоритми

За решавање вишедимензионог оптимизационог проблема препоручује се метод генерализованог Хук-Џивсовог алгоритма [225] који предвиђа коришћење континуланих управљачких променљивих. Прецизност алгоритма могуће је подешавати преко параметара у *командном* фајлу: максимални број итерација, максимални број једнаких резултата, делилац финоће мреже, експонент финоће мреже, инкремент финоће мреже, број редукција дужине корака. Избор алгоритма примерен је под претпоставком да је *критеријумска* функција конвексна. Могућа

је имплементација овог алгоритма са вишеструким почетним условима што смањује вероватноћу непроналажења глобалног минимума.

3.5. Свођење укупних трошкова на годину

Појам укупних трошкова националног енергетског система је сложен и није егзактно одређен. Поред елемената трошкова који су обухваћени разликује се и методе којима се они рачунају [229]. Приказани метод оптимизација на бази симулација, заснива се на резултату који даје EnergyPLAN а то су актуализовани трошкови система сведени на годину. Инвестициони део своди се на годишње рате са усвојеном интересном стопом за сваки од елемената националног енергетског система на усвојеном животном веку, без остатне вредности [50]:

$$A_{CAPEX,E} = \frac{i * CAPEX}{1 - (1 + i)^{-n}} \quad (12)$$

где су:

$A_{CAPEX,E}$ -инвестициони трошак елемента Е сведен на годину, годишња рата, ануитет

i -годишња стопа актуализације, камата

n -број година, животни век.

Фиксни оперативни трошак рачунају се као фиксни проценат инвестиционих трошкова, а варијабилни одговара годишњем билансу дате технологије. Укупни годишњи трошкови добијају се као збир годишњих трошкова елемената. Трошкови трговања енергијом рачунају се током симулације. Овакав метод је поједностављење реалног економског проблема, али даје униформни приступ у економском вредновању различитих технологија. Метод који би укључио свођење свих трошкова на садашњу или будућу вредност, рачунање остатне вредности, узео у обзир податке о пуштању у погон итд. што би додатно усложнило проблем. Исто важи за избор свођења на почетак, средину или крај године, затим трајање изградње итд. Тачност методе рачунања укупних трошкова није предмет овог истраживања и може се повећати накнадно коришћењем сложенијих метода.

Применљивост спрегнуте методе приказане у овом поглављу је генерална. У следећим поглављима биће представљени резултати примене спрегуте методе за два временска хоризонта усаглашавања енергетске политике ЕУ у 2030. и 2050. години са студијом случаја за Републику Србију.

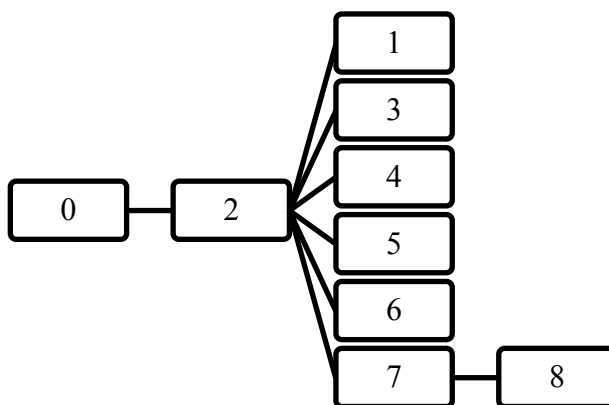
4. Техничко-економски оптимални сценарио одрживе енергетске политике у земљама чланицама ЕУ имајући у виду ресурсе и расположивост технологија са пројекцијом за период до 2030. године и анализа осетљивости: студија случаја Републике Србије.

Могуће је изабрати управљачке променљиве са реалним ограничењима тако да минимизирају критеријумску функцију укупних актуализованих годишњих трошкова националног енергетског система Републике Србије уз задовољење ограничења усаглашавања енергетске политике са ЕУ. Економски оптимални сценарио резултат је методе оптимизације на бази симулација при усвојеним претпоставкама прогнозе цена, процена техничких потенцијала и прогноза потрошње. Укупни трошкови, начин остваривања енергетског и емисионог биланса који је усаглашен са циљевима ЕУ за 2030, начин задовољења и премашења ограничења, и избор управљачких променљивих зависи од прогноза и процена. Ради смањења неодређености које из тога произилазе биће примењен метод *анализе осетљивости* и коришћено укупно осам (8) сценарија за које ће бити фиксирани претпоставке. Механизам економски оптималног задовољења ограничења обично је такав да се примењују најјевтиније мере које највише доприносе достизању задатих циљева у мери у којој то омогућавају њихови потенцијали. Пошто неке техничке мере као резултат имају задовољење сва три циља њихова примена може бити настављена након задовољења првог и другог циља уколико је то најјекономичније. Тако потенцијал неких мера може имплицитно ограничити примену других, мање економичних мера. Симулација примена сваке техничке мере према избору оптимизационог алата биће изведене у претходно дефинисаним дискретним корацима. Овде је избор управљачких променљивих одређен хеуристичком експертске процене највећих очекиваних доприноса нпр. мере у сектору који има највећи фактор искоришћења током године, замена енергената са највећом специфичном емисијом итд.

Овај приступ је отворен, јер кандидује све техничке мере да буду изабране. Овај приступ типа неједнакости омогућава да нека ограничења буду премашена. Задатак типа једнакости је такође могућ. Овај тип задатка омогућава истраживање, обрнутог проблема: задовољење сва три ограничења променом економичности појединих управљачких променљивих.

4.1. Егзогене претпоставке

Егзогене претпоставке на којима ће се извршавати симулације заснивају се на прогнозама и биће представљене детаљно у овом поглављу. Оне се односе на прогнозе цена емисија угљен диоксида, енергената и опреме, затим претпостављеном техничком потенцијалу обновљивих извора енергије и мера енергетске ефикасности и на прогнозама потрошње. Пошто је неодређеност велика биће примењена метода сценарија тако да обухвати што већи број очекиваних вредности. На Слици 2 приказан је начин грађења сценаријаа егзогене претпоставке о сценаријима дате су у Табели 3.



Слика 2 Логика грађења сценарија.

Табела 3 Егзогене претпоставке за сценарије 0-8 за 2030. годину.

	Јединица	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Извор
Просечна цена електричне енергије	€/MWh	67	67	67	67	33	100	67	67	67	[230]
Управљачка стратегија		тржишна									
Камата	%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
CO ₂ такса	€/t	30	15	30	45	30	30	30	30	30	[230-232]
Угаљ	€/GJ	3	3	3	3	3	3	1.5	4.5	4.5	[45, 152, 230, 233]
Лож уље	€/GJ	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	6.0	17.9	17.9	
Гас	€/GJ	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	5.4	16.1	16.1	
Биомаса	€/GJ	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	1.9	5.7	5.7	
Бензин	€/GJ	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	9.1	27.4	27.4	
Дизел	€/GJ	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	8.4	25.2	25.2	
LPG	€/GJ	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	7.5	22.5	22.5	
Енергетски засад за конверзију	€/GJ	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	1.8	5.3	5.3	
Сировина за биомасу/биогаз	€/GJ	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	1.8	5.3	5.3	

4.1.1. Цене

4.1.1.1. Емисија CO₂

Најновије прогнозе таксе на емисије угљен диоксида, за секторе укључене у трговину емисијама, (Emission Trading Sector) за период до 2030. године износе 20-70 €/t [230-232, 234, 235]. Ове прогнозе веома су непоуздане па ће за референтни сценарио бити усвојена средња вредност од 30 €/t а касније ће се урадити анализа осетљивости која ће обухватити горњу и доњу границу прогнозе.

4.1.1.2. Енергенти светско и регионално тржиште

Светско тржиште сирове нафте основа је за формирање цена осталих регионално и локално доступних енергената, под условом да из неког разлога нису субвенционисани. Цена сирове нафте на светском тржишту у 2030. години од према најновијим прогнозама креће се 16.3-17.4 €/GJ (око 120 \$/барел) према [45, 230, 233]. Производи сирове нафте прате ову цену у фиксном односу. Прогнозирана цена природног гаса је 7.3-14.15 €/GJ [45, 152, 230, 233]. Прогнозирана цена угља је 2-4.53 €/GJ [45, 152, 230, 233]. Цена лигнита, зависно од смањења субвенција, креће се од претпостављених 1.45 €/GJ па све до прогнозиране цене угља. Цена електричне енергије одређена је трошковима производње и таксама, под условом да из неког разлога није субвенционисана. Велепродајна цена електричне енергије која не садржи таксе одређује се на тржишту. Прогнозирана велепродајна тржишна цена електричне енергије за 2030. годину је 67 €/MWh [230], мада је била прогнозирана и до 125 €/MWh [235]. На Слици 3 приказана је тржишна цена електричне енергије, која хронолошки одговара историјској вредности из 2008. године за сваки сат у изабраној недељи, али је скалирана.



Слика 3 Тржишна цена електричне енергије. Хронолошки према EEX 2008, просечно 67 [€/MWh] током године.

4.1.1.3. Опрема

Цене дистрибуције горива до централизованих и децентрализованих електрана, индустрије и малих потрошача, затим специфични варијабилни производни и трошкови одржавања, инвестициони трошкови, фиксни производни и трошкови одржавања, радни век за све коришћене типове опреме одређени су према [236].

4.1.2. Теоретски потенцијал обновљивих извора енергије

Теоретски потенцијал обновљивих извора енергије користи се као горње ограничење управљачких променљивих у сваком кораку оптимизације. Највећа одступања процена у литератури су погледу потенцијала ветра и сунца, док су хидропотенцијал и потенцијал биомасе углавном усаглашени. Често се у студијама на основу конзервативних процена теоријских потенцијала за производњу енергије из обновљивих ресурса сунца и ветра онда рачунају њихови укупни инвестициони трошкови [237].

Процене теоретског потенцијала за производњу енергије из ветрелектрана у Републици Србији крећу се од 1.1 TWh/годишње [43], преко 15.6 TWh/годишње [238], 20 GW [239] па све до 216 TWh/годишње [240]. У случају производње из фотонапонских електрана процене су још конзервативније 0.48 TWh/годишње за фотонапонске електране [43, 235]. Уколико би се посматрала сва расположива

површина, не само кровови, довољно је 9 km^2 па да се произведе енергија која се потроши током године у Србији [241]. Имајући у виду годишње просечне инсолација од 1.4 MWh/m^2 и густину ветра на Кошавском подручју и до преко 2.7 MWh/m^2 [242] закључујемо да теоретски потенцијали ових ресурса превазилазе конзервативне процене па, спрегнутом методом симулације и оптимизације, треба утврдити њихов економски потенцијал. Код хидропотенцијал може се рачунати на додатно око 9 TWh/годишње или око 3 GW , док је код биомасе могуће повећати коришћење за преко 27 TWh/годишње [43].

Теоретски потенцијал обновљивих извора енергије дат је у Табели 4.

Табела 4 Управљачке променљиве, њихова ограничења и кратко објашњење одговарајуће техничке мере.

Управљачка променљива	Мера	Сектор EnergyPLAN-а	Јединица	Вектор	Доња	Горња	Корак	Пред обрада	Извор	
WIND	изградња ВЕ	Renewable energy	MW	RES	0	3000	3000	не	претпоставка	
PV	изградња ФЕ		MW		0	3000	3000	не	претпоставка	
HPP	изградња ХЕ		MW		0	1500	1500	не	претпоставка	
SavingCoalRef	уштеда угља реновирањем	Individual	TWh/год.	ЕЕ	TM	0	0.45	0.45	да	[243]
SwitchCoalGas	замена угља гасом		TWh/год.		M3	0	0.5	0.5	да	
SwitchCoalBiomass	замена угља биомасом		TWh/год.		M3	0	0.5	0.5	да	
SavingHeatRef	уштеда топлоте реновирањем	DH	TWh/год.		TM	0	0.5	0.5	да	претпоставка
SavingHeatNetw	уштеда топлоте унапређењем топловода		TWh/год.		TM	0	1	1	да	
IndustrialCHP	увођење индустријских ТЕ-ТО	Industry, DH	TWh/год.		TM	0	1	1	да	претпоставка
SwitchEHNDH	замена електричног даљинским грејањем	Individual, DH	TWh/год.		M3	0	3	3	да	[244]
SavingElecCable	уштеда електричне енергије унапређењем мреже	Electricity demand	TWh/год.		TM	0	1	1	да	претпоставка
SwitchElecSolarWH	замена електричних бојлера соларним колекторима	Individual, Electricity demand	TWh/год.		M3	0	2	2	не	[244]
DemandResponse	увођење управљиве потрошње	Electricity demand	TWh/год.		S	0	2	2	да	претпоставка
SavingGasInd	уштеда гаса у индустрији	Industry	TWh/год.	ЕЕ	TM	0	3	3	да	[243]
ElecPHEVSmart	замена дизел електричним аутомобилом	Transport	TWh/год.		M3	0	2	2	да	претпоставка
БиоDiesel	замена дизела биодизелом	Transport, Biomass conversion	TWh/год.		M3	0	2.3	2.3	не	[243]
newTPPsize	изградња нових ТЕ	DH	MW		TM	0	700	700	не	претпоставка
oldTPPsize	декомисија старих ТЕ		MW		TM	1000	3936	700	не	претпоставка
newCHPsize	изградња нових ТЕ-ТО		MW		TM	0	2000	2000	не	претпоставка
oldCHPsize	декомисија старих ТЕ-ТО		MW		TM	0	350	350	не	претпоставка
StorageP	изградња РХЕ	Electricity storage	MW	S	650	1330	650	не	претпоставка	
Transmission	изградња интерконекиције	Regulation	MW		3600	5000	1000	да	претпоставка	

4.1.3. Теоретски потенцијал енергетске ефикасности

Теоретски потенцијал мера енергетске ефикасности обухвата секторе потрошње, производње и саобраћаја дати су у Табели 2. Специфични трошкови мера енергетске ефикасности и валидност дати су у Табели 3. Детаљнија студија трошкова техничких мера дата је у [245].

Табела 5 Сектори EnergyPLAN-а у којима су примењене техничке мере и њихови специфични трошкови и трајање. (*TWh_{flexible}/год, ** М€/MW)

Енергент	Мера	Сектор	Специфични трошкови		Радни век [година]	Извор
			CAPEX [М€/TWh/год.]	OPEX [%CAPEX]		
Угаљ	SwitchCoalBiomass	individual	348	2	30	[246]
	SwitchCoalGas		149	2	30	[246]
	SavingCoalRef		445	0	50	[246]
Топлотна енергија	IndustrialCHP	industry	1000	4	30	претпоставка
	SavingHeatNetw	district heating	1000	0	50	претпоставка
	SavingHeatRef		2500-6666	0	50	[247, 248]
Електрична енергија	SwitchEHDH	individual, district heating	300	3	30	[246]+претпоставка
	SavingElecCable	electricity	100	0	50	претпоставка
	SwitchElecSolarWH	individual	3087	2	20	[246]
	Transmission	regulation	0.13255**	1	50	претпоставка
	DemandResponse	individual	5*	0	n.a	претпоставка
Дизел	ElecPHEVSmart	transport	0.5**	0	20	[249]
Гас	SavingGasInd	industry	34-154	0	15	[250]

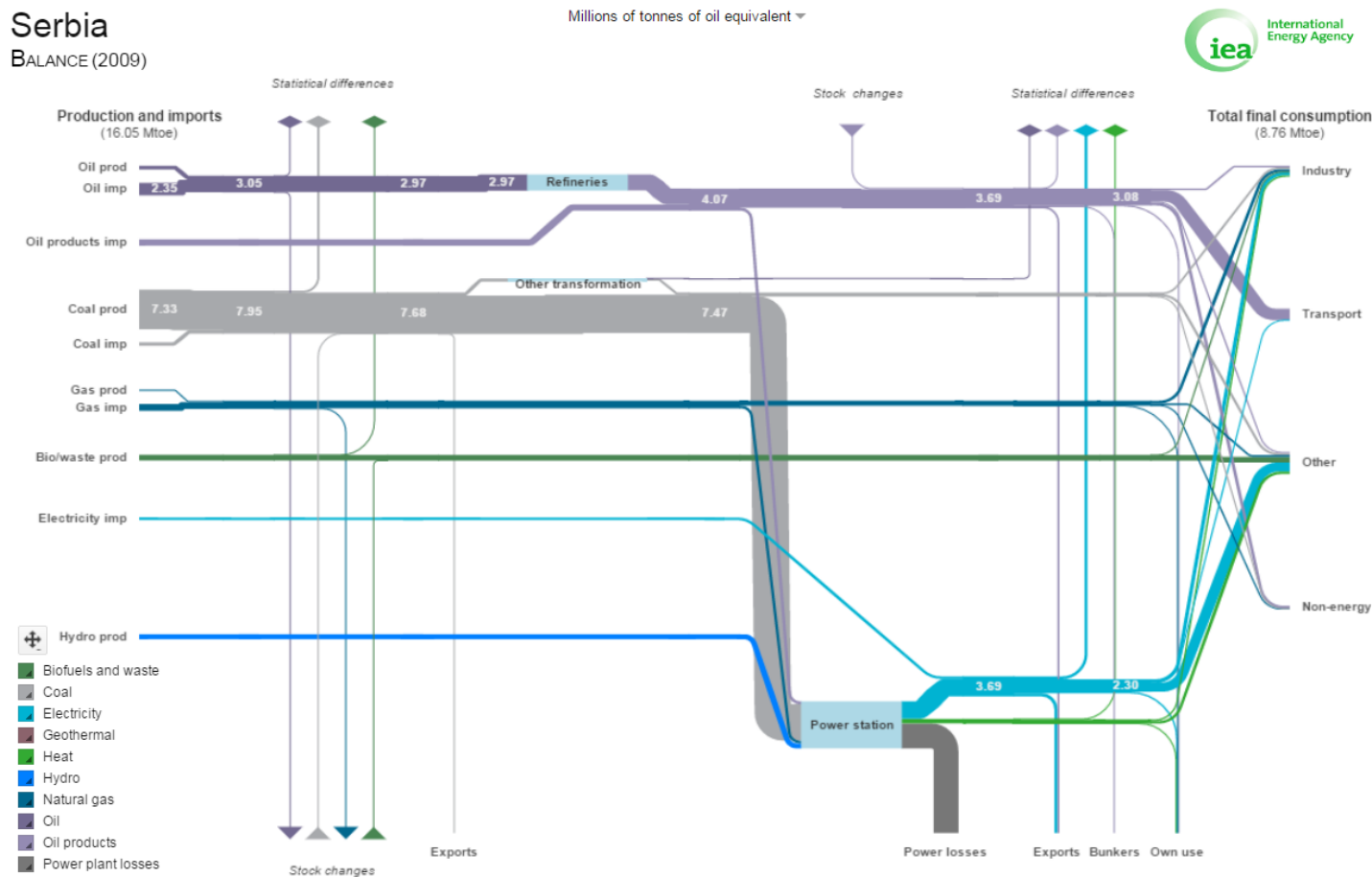
4.1.4. Прогноза потрошње

Прогноза потрошње у референтном сценарију потребна је да се у односу на њу рачунају потенцијалне уштеде. У досадашњим прогнозама потрошње коришћењем регресионе методе на бази бруто националног дохотка и популације: [251] до 2020, [184, 252] до 2030 прогнозира пораст потрошње примарне енергије за 21.3% од 2009 до 2030 у базном сценарију, или 222 TWh/годишње (нема прогнозе финалне енергије). Према [243], сценарио без мера енергетске ефикасности, који ће бити коришћен за референтни сценарио финална потрошња у 2030. години биће 129 TWh/годишње. Студија [253], заснована на приступу системске динамике, и претпоставкама раста бруто националног производа,

прогнозира финалну потрошњу од 112.8 TWh/годишње у 2020, и 122.1 TWh/годишње у 2030, које су испод референтног сценарија [243].

4.2. Базни сценарио (унутрашње претпоставке)

Претпоставља се најпре базни сценарио за 2009. годину, чији је Санкијев дијаграм дат на Слици 3 и који одговара моделу који је описан у раду [254].



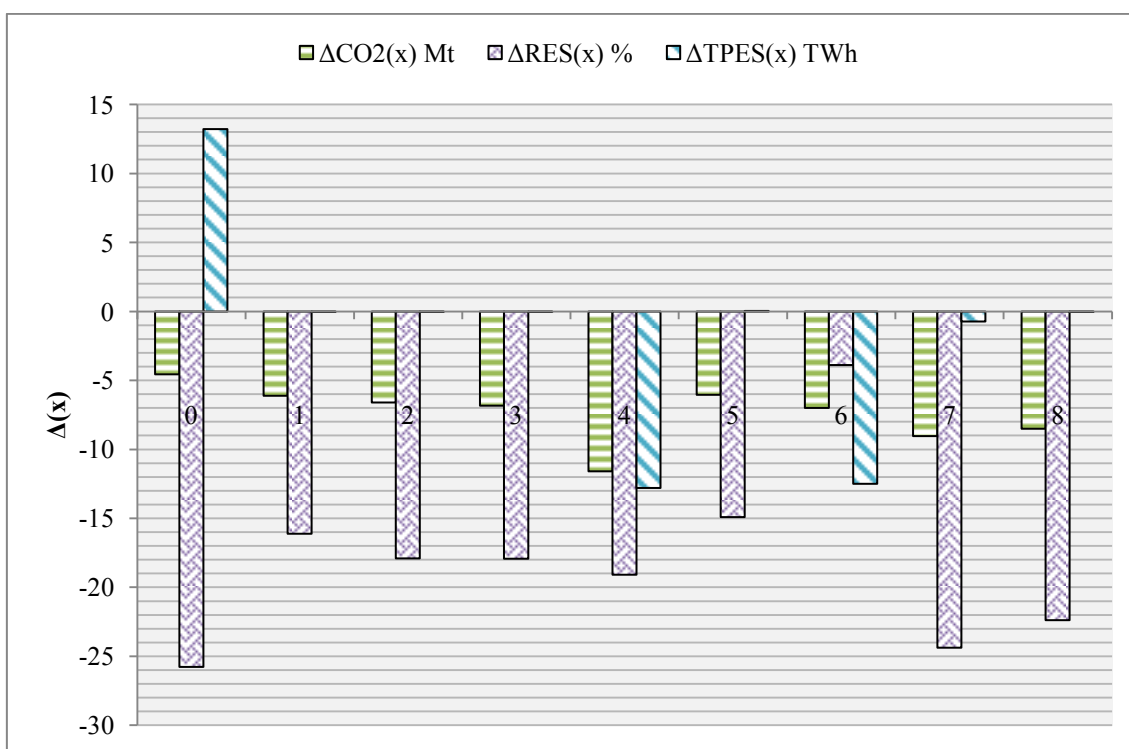
Слика 4 Санкијев дијаграм за базни сценарио Републике Србије [255]. Biofuels and waste-биомаса и отпад, Coal-угаљ, Electricity-електрична енергије, Geothermal-геотермална енергија, Heat-топлота, Hydro-хидро енергија, Natural gas-природни гас, Oil-сирова нафта, Oil products-производи нафте, Power plant losses- губици у електанама.

4.3. Анализа осетљивости техничко-економски оптималних сценарија енергетске политике Републике Србије на промену егзогених параметара

Претпоставке и прогнозе нису довољно поуздане зато ће бити урађена анализа осетљивости и алтернативни сценарији.

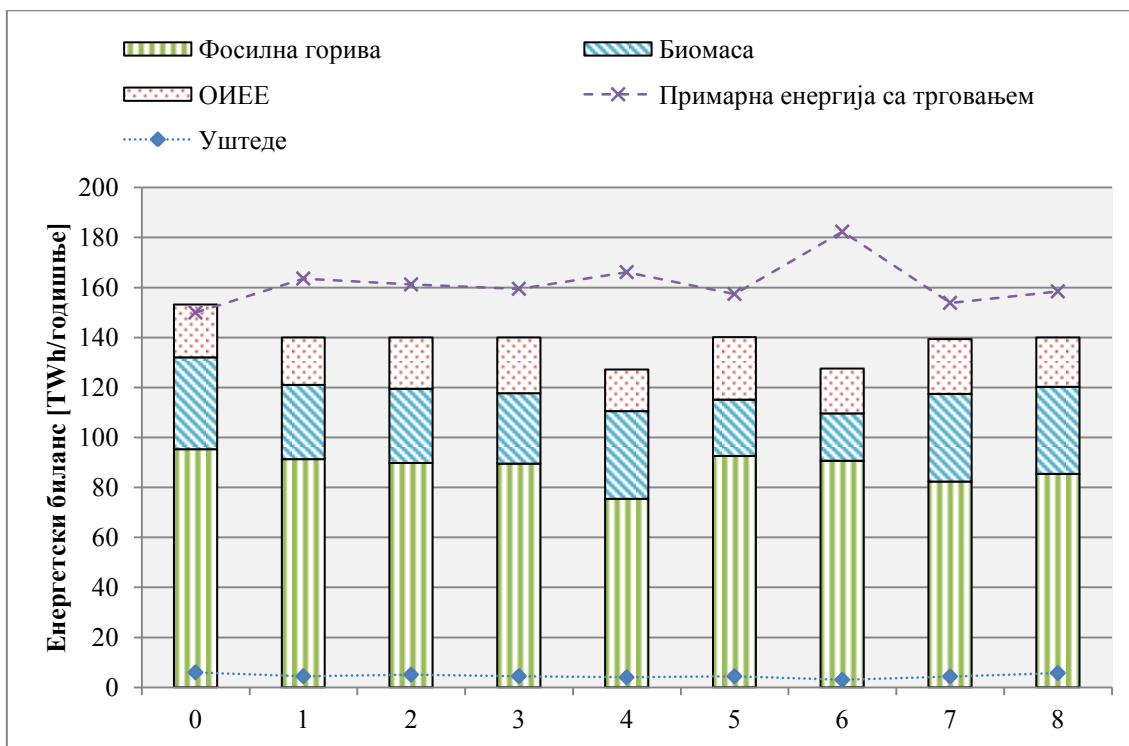
Економски оптимални сценарио (0) без усаглашавања потребан је да се израчунају трошкови усаглашавања. Код њега су све претпоставке исте као и код сценарија усаглашене енергетске политике (2) али нема ограничења.

Анализа осетљивости испуњености циљева усаглашавања енергетске политике на егзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2030. годину дата је на Слици 5.



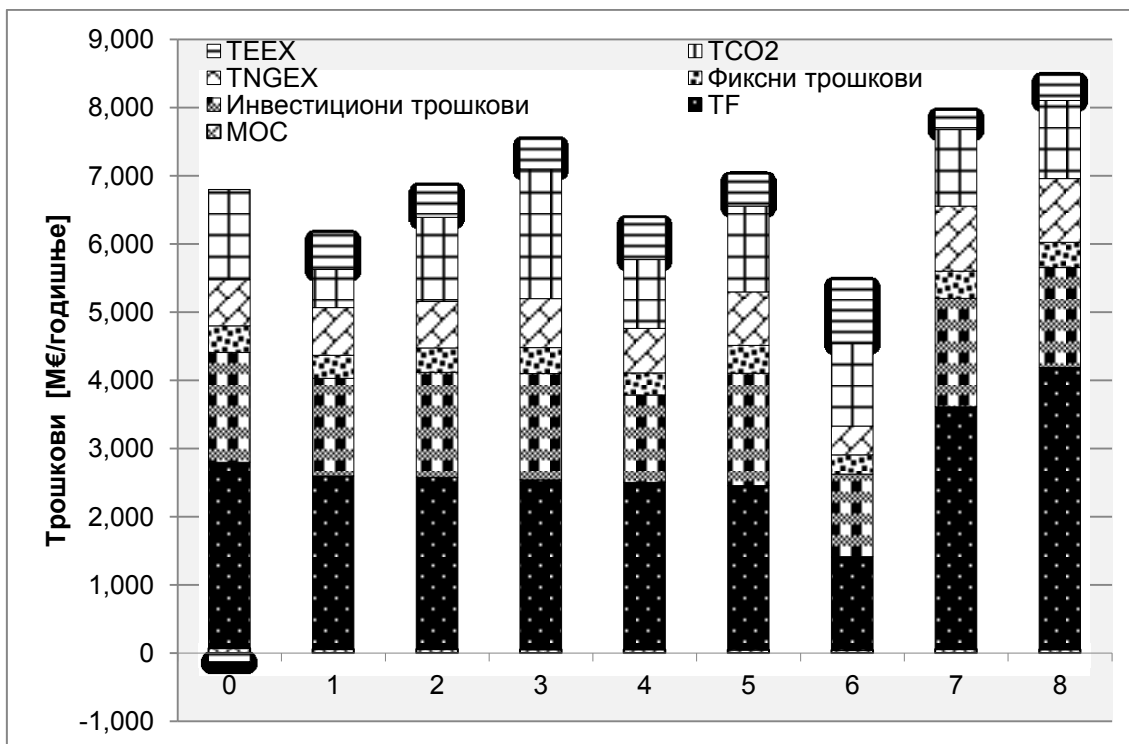
Слика 5 Анализа осетљивости испуњености циљева усаглашавања енергетске политике на егзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2030. годину. $\Delta\text{CO}_2(x)$ -одступање од циља уштеде емисије CO_2 , $\Delta\text{RES}(x)$ -одступање од циља удела обновљивих извора у финалној потрошњи енергије, $\Delta\text{TPES}(x)$ -одступање од циља уштеде примарне енергије (негативно значи да је циљ премашен, позитивно да није достигнут). 0-OPT, 1-CONOPT low CO_2 , 2-CONOPT norm CO_2 , 3-CONOPT high CO_2 , 4-CONOPT low Elec, 5-CONOPT hi Elec, 6- CONOPT low Fuel, 7-CONOPT high Fuel, 8-CONOPT w.o. SG

Анализа осетљивости оптималног енергетског биланса на егзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2030. годину дата је на Слици 6.



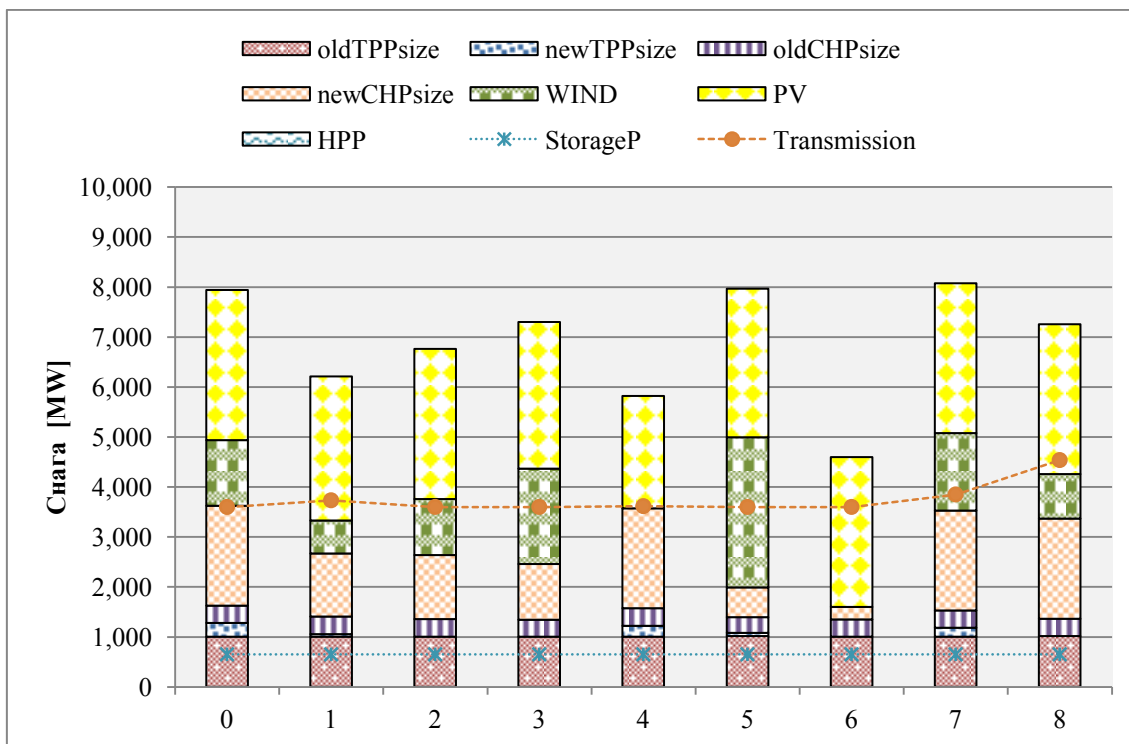
Слика 6 Анализа осетљивости оптималног енергетског биланса на егзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2030. годину. ОИЕЕ-обновљиви извори електричне енергије.

Анализа осетљивости укупних актуализованих годишњих трошкова за различите егзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2030. годину дата је на Слици 7.



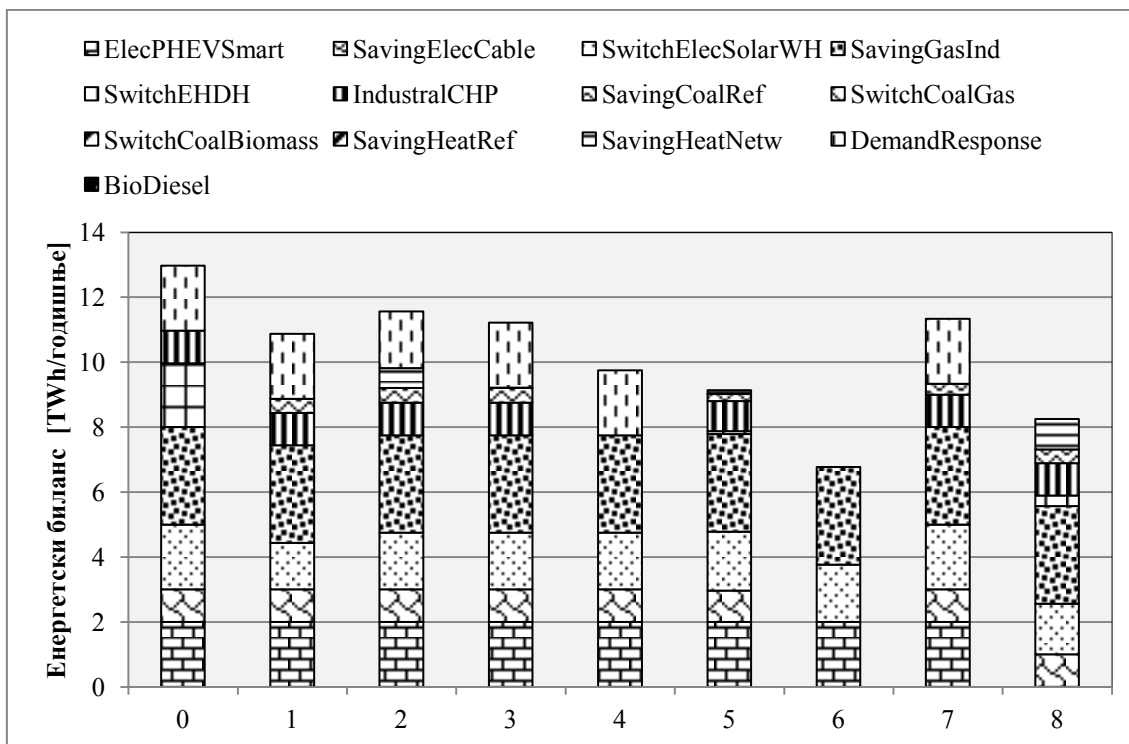
Слика 7 Анализа осетљивости укупних актуализованих годишњих трошкова за различите екзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2030. годину. Варијабилни трошкови: TNGEX-трошкови набавке природног гаса, TCO2-трошкови емисија у систему трговања емисијама, TEEX-трошкови размене електричне енергијом, MOC-маргинални производни трошкови, TF-укупни трошкови горива.

Анализа осетљивости управљачких променљивих производње, складиштења и повезивања са другим системима у интерконекцији на екзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2030. годину дата је на Слици 8.



Слика 8 Анализа осетљивости управљачких променљивих производње, складиштења и повезивања са другим системима у интерконекцији на екзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2030. годину. WIND- изградња VE, PV- изградња FE, HPP- изградња HE, newTPPsize-изградња нових TE, oldTPPsize-декомисија старих TE, newCHPsize-изградња нових TE-TO, oldCHPsize-декомисија старих TE-TO, StorageP-изградња RHE, Transmission-изградња интерконекције.

Анализа осетљивости управљачких променљивих техничких мера енергетске ефикасности и структурних мера на егзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2030. годину дата је на Слици 9.



Slika 9 Analiza osetljivosti upravljačkih promenljivih tehničkih mera energetske efikasnosti i strukturnih mera na egzogene pretpostavke prema scenarijima 0-8 za 2030. godinu. SavingCoalRef-ušteda uglja renoviranjem, SwitchCoalGas-zamena uglja gasom, SwitchCoalBiomass-zamena uglja biomasom, SavingHeatRef-ušteda toplote renoviranjem, SavingHeatNetw-ušteda toplote unapređenjem toplovoda, IndustrialCHP-uvođenje industrijskih TE-TO, SwitchEHDH-zamena električnog daljinskim grejanjem, SavingElecCable-ušteda električne energije unapređenjem mreže, SwitchElecSolarWH-zamena električnih bojlera solarnim kolektorima, DemandResponse-uvođenje upravljive potrošnje, SavingGasInd-ušteda gasa u industriji, ElecPHEVSmart-zamena dizel električnim automobilom, BioDiesel-zamena dizela biodizelom.

Конвергенција је успешна, видети у *Додатку 4*. Циљеви су достигнути у свим сценаријима сем, циљ уштеде енергије у сценарију без усаглашавања, јер није било економски оптимално. Овакви резултати су последица нижих каматних стопа, ниске цене обновљивих извора и техничких мера енергетске ефикасности као и високе цене емисија. Механизам достизања је доминантно преко повећања обновљивих извора енергије, мада има и уштеда, у свим сценаријима сем у случају јевтине електричне енергије и фосилних горива, када је доминантни механизам увоз, па је уштеда примарне енергије доминантно реализована

смањењем производње и увозом електричне енергије. Увоз је у свим сценаријима значајан сем у сценарију без усаглашавања када постоји незнатни извоз. Значајан увоз има за последицу значајну градњу интерконеције само у сценарију без интелигентних енергетских мрежа. Производња је базирана на фотонапоским електранама, које су конкурентне увозу, сем у сценаријима јевтине електричне енергије (4) и јевтиних фосилних горива (6), када је је мање конкурентна, док у овим сценаријима ветроелектрана уопште нема. Као субституент за ова два варијабилна извора индикативно је да се гради електрана са комбинованом производњом електричне и топлотне енергије, произведене из значајних количина биомасе. Градња нових термо електрана на лигнит значајнија је се само у сценарију без усаглашавања (0) и у сценарију јевтине електричне енергије (4) када се мање граде други извори. Структурна мера управљиве потрошње није примењена у сценарију скупе електричне енергије (5) због економски оправданог и технички погодног извоза, и у сценарију јевтиних горива (6) када због значајног увоза нема критичних ситуација на страни потрошње. Индикативно је да нема хидро ресурса, што може бити последица високе специфичне цене ове технологије али и мањих очекиваних производњи у односу на постојеће хидро. У сценарију без интелигентних енергетских мрежа (7) мање је варијабилних ОИЕ, па је веће искоришћење фосилних електрана и већи увоз енергије.

5. Планирање флексибилног националног енергетског система за сценарије високе пенетрације варијабилних обновљивих извора енергије код дугорочног усклађивање са енергетском политиком ЕУ у периоду до 2050. године: студија случаја Републике Србије.

Флексибилност национални енергетских система може се посматрати на различитим временским периодима [256, 257], од експлоатационог до планерског задатака [258]. У случају експлоатације флексибилност је ограничена особинама система и она се може повећати само променом структуре система. Планирање промене структуре система треба да узме у обзир флексибилност система у експлоатационом смислу [259]. Тако планирани системи могу да боље да одговоре на промене које су последица варијабилности производње и потрошње. Одговор на ове промене бољи је уколико су промене у границама очекивања, што се повећава временском прогнозом. Флексибилност се огледа у могућности да један елемент система преузме производњу или потрошњу у тренутку када други изостане. Флексибилност се може описати и кривом брзине промене снаге у току једног сата (*ramp rate*). Када је флексибилност система мања него потреба за флексибилношћу јавља се критична производња електричне енергије (СЕЕР). Ова величина описује флексибилност енергетског система у сваком сату у току године. Флексибилност појединачног елемента националног енергетског система подразумева да тај елемент може променити своју тренутну производњу/потрошњу и остати у новом стању одређени број сати до измене потребе за флексибилношћу. Бранске хидроелектране могу нпр. на одређени период прекинути производњу и прећи у режим акумулације, термоелектране могу прећи у режим топлог старта итд. Често се под појмом флексибилности националног енергетског система подразумева само постојање реверзибилне хидроелектране. Поред реверзибилне хидроелектране која спада у *системе за складиштење енергије*, постоје још: интерконекција, *управљива потрошња и флексибилна производња* [258] а може се говорити и о *системској флексибилности* [260]. Могућности за повећање флексибилности националних енергетских система су [261]: (1) флексибилност потрошње, (2) флексибилност производње, (3) системи за складиштење енергије, (4) трговање, (5) повећање капацитета интерконекције, (6) интеграција сектора и (7) одбацивање производње из

обновљивих извора енергије. Резултати повећање флексибилности у системском смислу описани су у раду [262]. Захтеви за флексибилношћу долазе од свих технологија производње енергије [263]. Посматрајући само обновљиве изворе [100] сматра да постоји оптимална комбинација у националном енергетском систему тако да је количине критичне електричне енергије минимална. Повећањем удела варијабилних обновљивих извора повећава се потреба за флексибилношћу националних енергетских система у мери у којој је њихова производња променљива и неизвесна [260]. У случају екстремне сигурности, какав се среће у теорији, повећање флексибилности би требало да прати увођење варијабилних обновљивих извора по снази и енергији али обично су производње ових извора довољно предвидљиве и некорелисане тако да за таквом сигурношћу нема потребе. Флексибилност енергетских система природно се повећава са повећањем растојања [256] услед ефекта *просторног углачавања* (spatial smoothing), што је посебно изражено код ветра [264]. Флексибилност кроз интелигентне енергетске мреже огледа се у интеграцији више сектора и повећаном флексибилношћу свих сектора: електричне, топлотне енергије и саобраћаја [265].

5.1. Интелигентне енергетске мреже

Посебан изазов у достизању циљева приликом планирања одрживих енергетских система посвећује интелигентним електроенергетским мрежама²¹ [266], иако су оне само део интелигентних енергетских мрежа [16] јер су оне у складу са парадигмом високих удела обновљивих извора електричне енергије, посебно варијабилних [267]. Интелигентне енергетске мреже као појам настају двехиљадитих, након аутоматског читавања потрошње осамдесетих и паметних бројила деведесетих година прошлог века. Појам интелигентне електроенергетске мреже долази од Закона о енергетској независности и безбедности²² из 2007. године. Праћен је великим бројем студија у којима је показано да доводи до уштеда емисија и енергије, као и да повећава флексибилност система за интеграцију варијабилних обновљивих извора енергије [46, 200, 268] показано. Концепт интелигентних енергетских мрежа још увек се развија и нема опште усаглашене платформе и стандарда. Интелигентне

²¹ smart grid

²² Energy Independence and Security Act of 2007

енергетске мреже представљају нову парадигму, тзв. "другу енергетску револуцију", која доноси суштинске промене у индустрију производње и продаје енергије [269]. Уколико се превазиђу изазови имплементације, кроз пилот пројекте [270], ова парадигма омогућиће пуно користи [271-273]. Пилот пројекти примене технологија интелигентних електроенергетских мрежа [274] данас се спроводе на преко двеста две локације у С.А.Д и преко педесет девет локација ван С.А.Д. [275], од чега тридесет један у Европској Унији, који је до 2015. године порастао на двеста четрдесет осам [276].

Студија која је укључила трошкове имплементације интелигентних бројила у Европској Унији [277] показала је да не постоји економска оправданост, али треба посматрати и шире аспекте модернизације мреже. У раду [278] приказане су економске предности флексибилне потрошње и варијабилне производње уз коришћење динамичког тарифирања.

Симулација производних трошкова на бази економског диспечинга на сатном нивоу показала је да је могуће задовољити 80% годишње потрошње електричне енергије у С.А.Д. из обновљивих извора енергије [279]. Амбицизније студије за 2050. годину, са уделом до 100% из обновљивих извора енергије, рађене су за многе државе: Данску [280], Немачку [281, 282], Македонију [283], Грчку [284], за Европску унију [42, 45, 285], енергетску заједницу југоистичне Европе [233, 286, 287], и глобано [264, 288]. Студија [235] предвидела је да је немогуће превазићи 65% обновљивих извора у производњи електричне енергије, због ограничености ресурса. У случају да укупно буде 60%, планирано је да укупна улагања у интерконекцију не пређу 600 М€. Ова студија нису одговорила на питање колики су трошкови достизања амбициознијих циљева за 2050. године и нису узеле у обзир сатне хронолошке податке нити оптимизациони приступ у изради сценарија.

Одрживи национални енергетски системи могу бити планирани тако да буду флексибилни. Интелигентне енергетске мреже моделираће се преко управљиве потрошње и интеграције електричних возила са резултујућим уштедама. Постојање интелигентних енергетских мрежа услов је за интеграцију дистрибуиране производње о којој ће бити речи у следећем поглављу.

5.2. Егзогене претпоставке

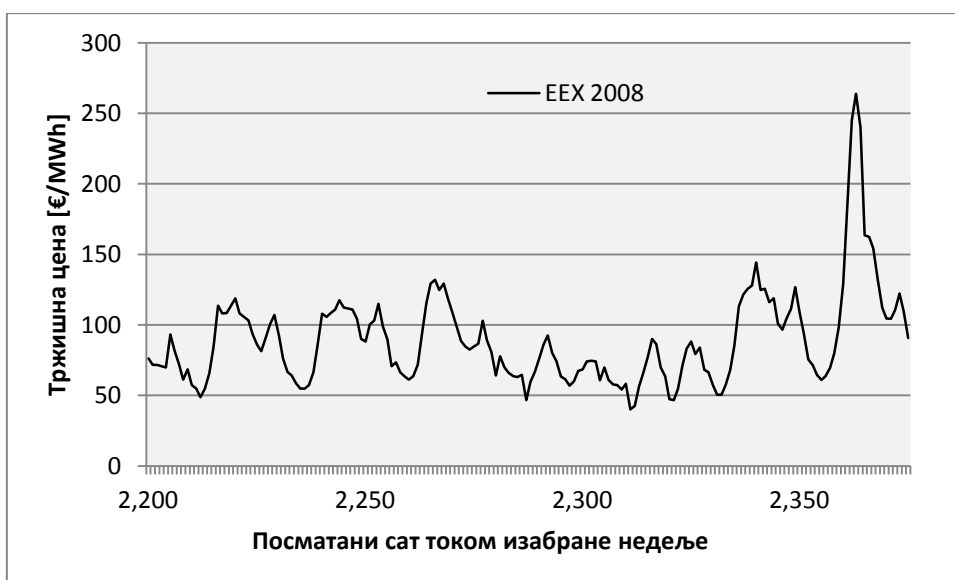
5.2.1. Цене

5.2.1.1. Угљен диоксид

Најновије прогнозе таксе на емисије CO₂, за секторе укључене у трговину емисијама, (Emission Trading Sector) за период до 2050. године износе 6.6-160 €/t [45, 231, 232, 235]. Ове прогнозе веома су непоуздане па ће за референтни сценарио бити усвојена средња вредност од 50 €/t а касније ће се урадити анализа осетљивости која ће обухватити шири опсег.

5.2.1.2. Енергенти светско и регионално тржиште

Цена сирове нафте на светском тржишту у 2050. години од према најновијим прогнозама креће се 18.5-27.17 €/GJ (око 140-200 \$/барел) према [45, 230, 233]. Прогнозе цена природног гаса крећу се 7-23.6 €/GJ [45, 152, 230, 233]. Прогнозе цена угља крећу се 3.5-7.55 €/GJ [45, 152, 230, 233]. Цена лигнита, зависно од престанка субвенција, креће се од претпостављених 1.45 €/GJ па све до прогнозе цене угља. Прогнозирана цена електричне енергије за 2050. годину је 87 €/MWh [230], дата је на Слици 1, мада је била прогнозирана и до 170 €/MWh [235]. Прогнозирана је цена биомасе од 6.3 €/GJ [233]. Егзогене претпоставке за различите сценарије дате су у Табели 1.



Слика 10 Тржишна цена електричне енергије. Хронолошки према ЕЕХ 2008, просечно 87 [€/MWh] током године.

Табела 6 Егзогене претпоставке у сценаријима 0-8 за 2050. годину.

	Јединица	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Извор
Просечна цена електричне енергије	€/MWh	87	87	87	87	43	130	87	87	87	[230]
Управљачка стратегија		тржишна									
Камата	%	5									
CO ₂ такса	€/t	50	35	50	75	50	50	50	50	50	[230-232]
Угаљ	€/GJ	5	5	5	5	5	5	2.5	6.3	6.3	[45, 152, 230, 233]
Лож уље	€/GJ	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	6.6	16.4	16.4	
Гас	€/GJ	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	7.0	17.5	17.5	
Биомаса	€/GJ	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	3.2	7.9	7.9	
Бензин	€/GJ	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	10.0	25.1	25.1	
Дизел	€/GJ	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	9.3	23.1	23.1	
LPG	€/GJ	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	8.5	21.3	21.3	
Енергетски засад за конверзију	€/GJ	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	3.0	7.5	7.5	
Сировина за биогаз/биомасу	€/GJ	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	3.0	7.5	7.5	

5.2.1.3. Опрема

Претпостављене цене опреме преузете су из студије [236] за 2050 годину.

5.2.1.4. Теоретски потенцијал обновљивих извора енергије

Теоретски потенцијали у 2050. години, видети Табелу 7, повећани су у односу на 2030. годину, сматрајући да је било довољно времена, видети Табелу 4. У раду [235] потенцијал за ветроелектране у 2050. години је 4,000 GWh, фотонапонске 2,200 GWh. Са аспекта интеграције у преносни електроенергетски систем 2,000 MW је могуће интегрисати са минорним инвестицијама у мрежу 110 kV [289].

5.2.2. Теоретски потенцијал енергетске ефикасности

Теоретски потенцијал мера енергетске ефикасности приказан је у Табели 7.

Табела 7 Управљачке променљиве, њихова ограничења и кратко објашњење одговарајуће техничке мере.

Управљачка променљива	Мера	Сектор EnergyPLAN-а	Јединица	Вектор	Доња	Горња	Корак	Пред обрада	Извор	
WIND	изградња ВЕ	Renewable energy	MW	RES	0	6000	6000	не	претпоставка	
PV	изградња ФЕ		MW		0	6000	6000	не	претпоставка	
HPP	изградња ХЕ		MW		0	3000	3000	не	претпоставка	
SavingCoalRef	уштеда угља реновирањем	Individual	TWh/год.	EE	TM	0	0.45	0.45	да	[243]
SwitchCoalGas	замена угља гасом		TWh/год.		M3	0	0.5	0.5	да	
SwitchCoalBiomass	замена угља биомасом		TWh/год.		M3	0	0.5	0.5	да	
SavingHeatRef	уштеда топлоте реновирањем	DH	TWh/год.		TM	0	0.5	0.5	да	
SavingHeatNetw	уштеда топлоте унапређењем топловода		TWh/год.		TM	0	1	1	да	претпоставка
IndustrialCHP	увођење индустријских ТЕ-ТО	Industry, DH	TWh/год.		TM	0	1	1	да	претпоставка
SwitchEHDH	замена електричног даљинским грејањем	Individual, DH	TWh/год.		M3	0	3	3	да	[244]
SavingElecCable	уштеда електричне енергије унапређењем мреже	Electricity demand	TWh/год.		TM	0	1	1	да	претпоставка
SwitchElecSolarWH	замена електричних бојлера соларним колекторима	Individual, Electricity demand	TWh/год.		M3	0	2	2	не	[244]
DemandResponse	увођење управљиве потрошње	Electricity demand	TWh/год.	S	0	4	4	да	претпоставка	
SavingGasInd	уштеда гаса у индустрији	Industry	TWh/год.	EE	TM	0	5	5	да	[243]
ElecPHEVSmart	замена дизел електричним аутомобилом	Transport	TWh/год.		M3	0	4	4	да	претпоставка
BioDiesel	замена дизела биодизелом	Transport, Biomass conversion	TWh/год.		M3	0	2.3	2.3	не	[243]
newTPPsize	изградња нових ТЕ	DH	MW		TM	0	2000	2000	не	претпоставка
oldTPPsize	декомисија старих ТЕ		TM		1000	3936	700	не	претпоставка	
newCHPsize	изградња нових ТЕ-ТО		MW		TM	0	3000	3000	не	претпоставка
oldCHPsize	декомисија старих ТЕ-ТО		MW		TM	0	350	350	не	претпоставка
StorageP	изградња РХЕ	Electricity storage	MW	S	650	1330	650	не	претпоставка	
Transmission	изградња интерконекије	Regulation	MW		3600	7000	1000	да	претпоставка	

Теоретски потенцијал мера енергетске ефикасности и структурних мера повећан је у односу на 2030. годину, сматрајући да је до тада већа изградња остварљива.

5.2.3. Прогноза потрошње

Према прогнозама за 2050. годину потрошња електричне енергије у Републици Србији биће 49 TWh/год [75]. У раду [235] прогнозиране је раст потрошње електричне енергије 0.9-1.2%/год 2010-2030 и 0.7-1.4%/год у периоду 2030. до 2050. године. Ово су веома оптимистичне прогнозе раста потрошње када се има у виду демографски и економски показатељи. Са методолошке стране нема разлике у томе да ли је прогнозирана већа потрошња јер су тада могуће и веће уштеде. Из ових разлога, за 2050. годину биће коришћене прогнозе потрошње финалне енергије односно саобраћаја из 2030. године, као и базни сценарио из 2009. године. Мере замене енергената и технологија остају једини слободни чиниоци који могу довести до промена ових прогнозираних вредности.

5.3. Циљеви европске енергетске политике 2050. године

Циљеви за 2050. годину нису јасно дефинисани, али је постоји више мапа пута на нивоу ЕУ како да се они достигну који обухватају ову годину нпр. [45, 285, 288]. У њима се говори о уштеди емисија од 80-95% у односу на базну годину тзв. декарбонизацији. Када се говори о циљевима за обновљиве изворе, говори се о циљу 95-100% [264, 290] удела у производњи електричне енергије, са обзиром да је, упркос техничким изазовима, могуће због великог броја технологија на располагању. Такође, сматра се да за остале секторе као што је индустрија и саобраћај, треба "оставити" нешто од укупних емисија тамо где је замена енергената неизводљива. Достицање овако високих циљева постиже се великим бројем техничких мера, јер трошкови маљег скупа постају веома високи када се прилази циљевима. Моделовање великог броја техничких мера је могуће али изискује веома исцпне студије које превазилазе амбиције овог истраживања. Зато ће за Републику Србију бити усвојен је нешто мање амбициозан циљ уштеда у емисијама од 80%, што износи 9.2 Mt/год. Постизање ове уштеде само из сопствене производње без размене енергије практично је неоствариво без потпуне промене структуре националног енергетског система, па је усвојено да се циљ може достићи "извозом" емисија. На овај начин емисије које су настале у Републици Србији, приписују се земљи у коју се извози електрична енергија произведена из фосилних горива. Достицање циља декарбонизације, праћено је референцом да удео обновљивих извора енергије буде око 40-80% од укупне енергије,

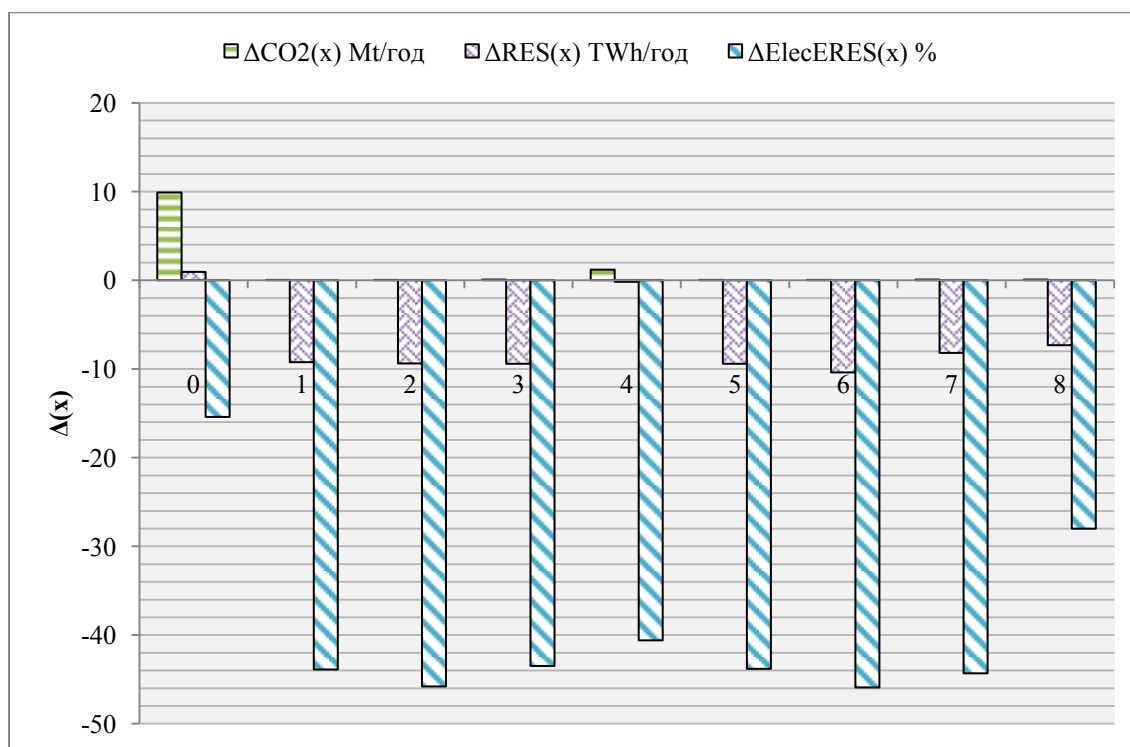
па је тако за Републику Србију усвојено 60%, али ово као ни удео обновљивих извора у производњи електричне енергије нису ограничења, већ се само приказују као додатна референца. Узимајући их као ограничења наметнули бисмо циљеве секторима, а то није оптимално. Тако се оптимизациони задатак мења да од постојећих ограничења преостаје само, декарбонизација:

$$\Delta^1(RES, EE, S) = Q_{CO2,2050}(RES, EE, S) - 0.2 * Q_{CO2,2009} \leq 0 \quad (13)$$

5.4. Анализа осетљивости сценарија дугорочно усаглашене енергетске политике Републике Србије на промену егзогених параметара

Претпоставке и прогнозе нису довољно поуздане зато ће бити урађена анализа осетљивости и испитани алтернативни сценарији.

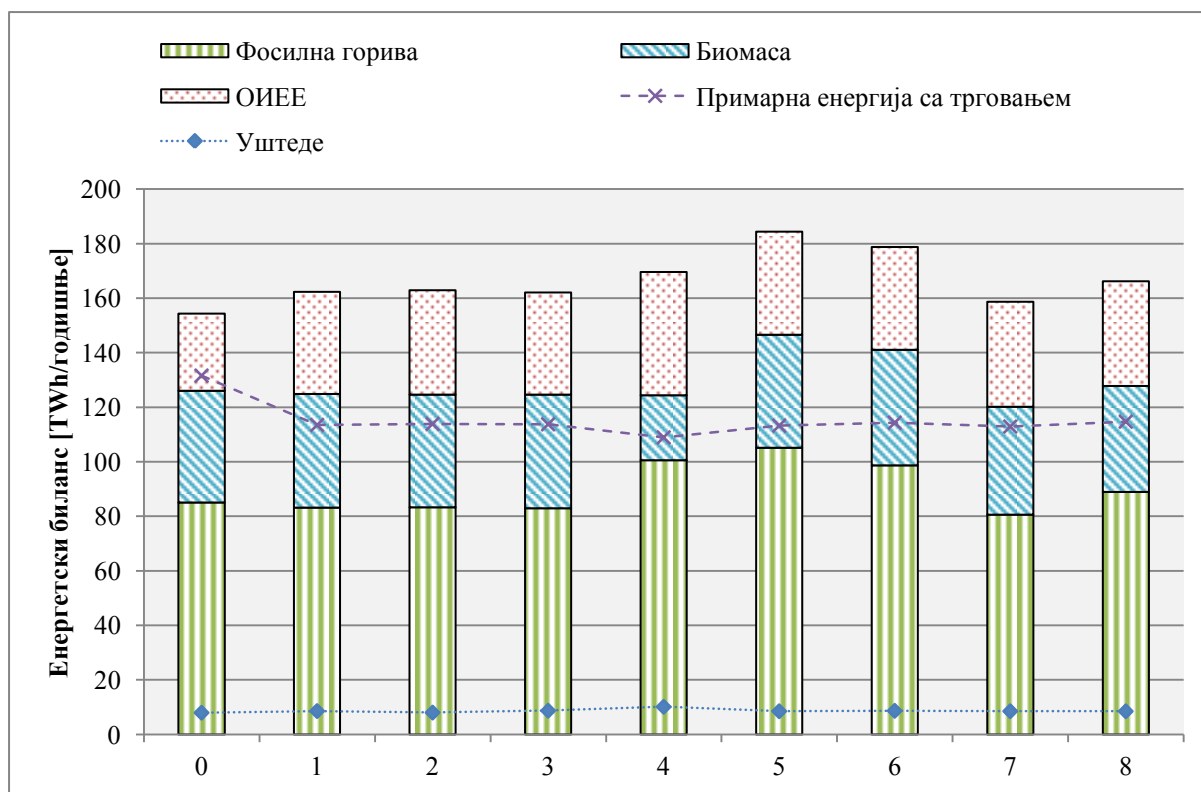
Анализа осетљивости испуњености циљева усаглашавања енергетске политике на егзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2050. годину дата је на Слици 11.



Слика 11 Анализа осетљивости испуњености циљева усаглашавања енергетске политике на егзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2050. годину. $\Delta CO_2(x)$ -одступање од циља уштеде емисије CO_2 , $\Delta RES(x)$ -одступање од референтног удела обновљивих извора у финалној потрошњи енергије, $\Delta ElecERES(x)$ -одступање од референтног удела

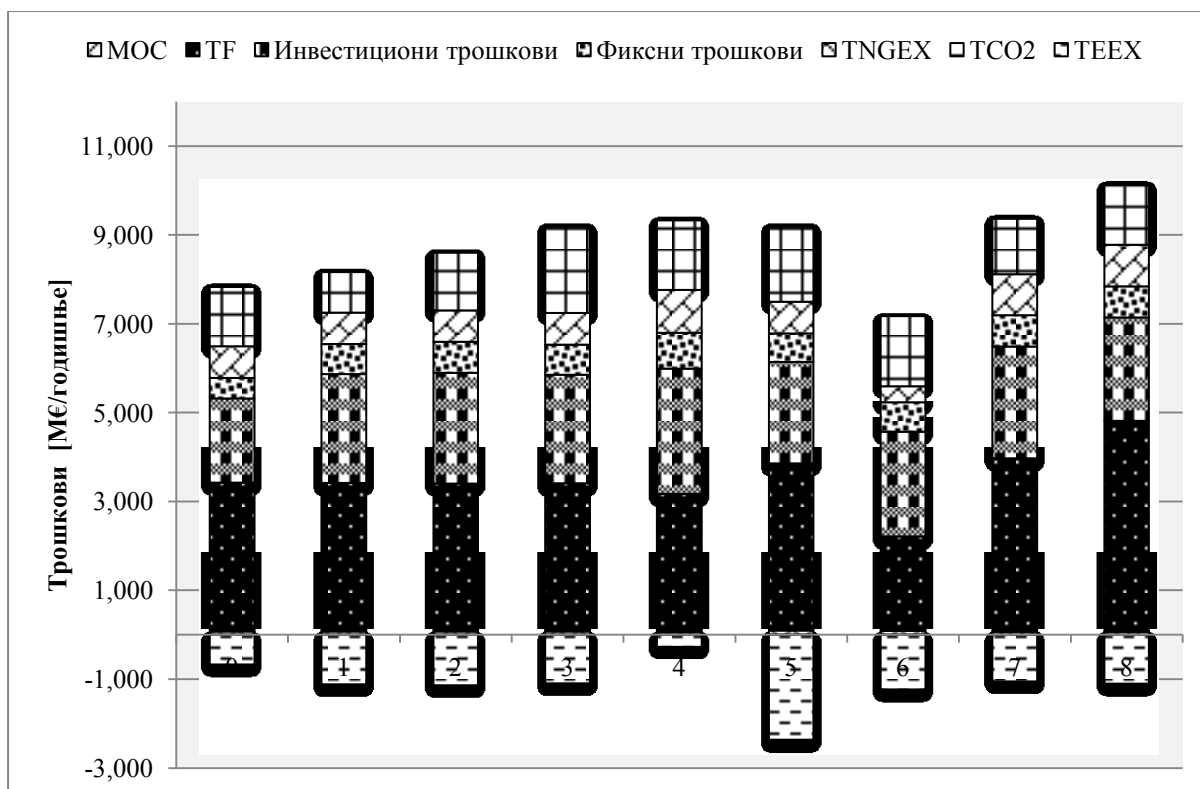
обновљивих извора електричне енергије у производњи електричне енергије (негативно значи да је циљ премашен, позитивно да није достигнут). 0-OPT, 1-CONOPT low CO₂, 2-CONOPT norm CO₂, 3-CONOPT high CO₂, 4-CONOPT low Elec, 5-CONOPT hi Elec, 6- CONOPT low Fuel, 7-CONOPT high Fuel, 8-CONOPT w.o. SG

Анализа осетљивости оптималног енергетског биланса на егзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2050. годину дата је на Слици 12.



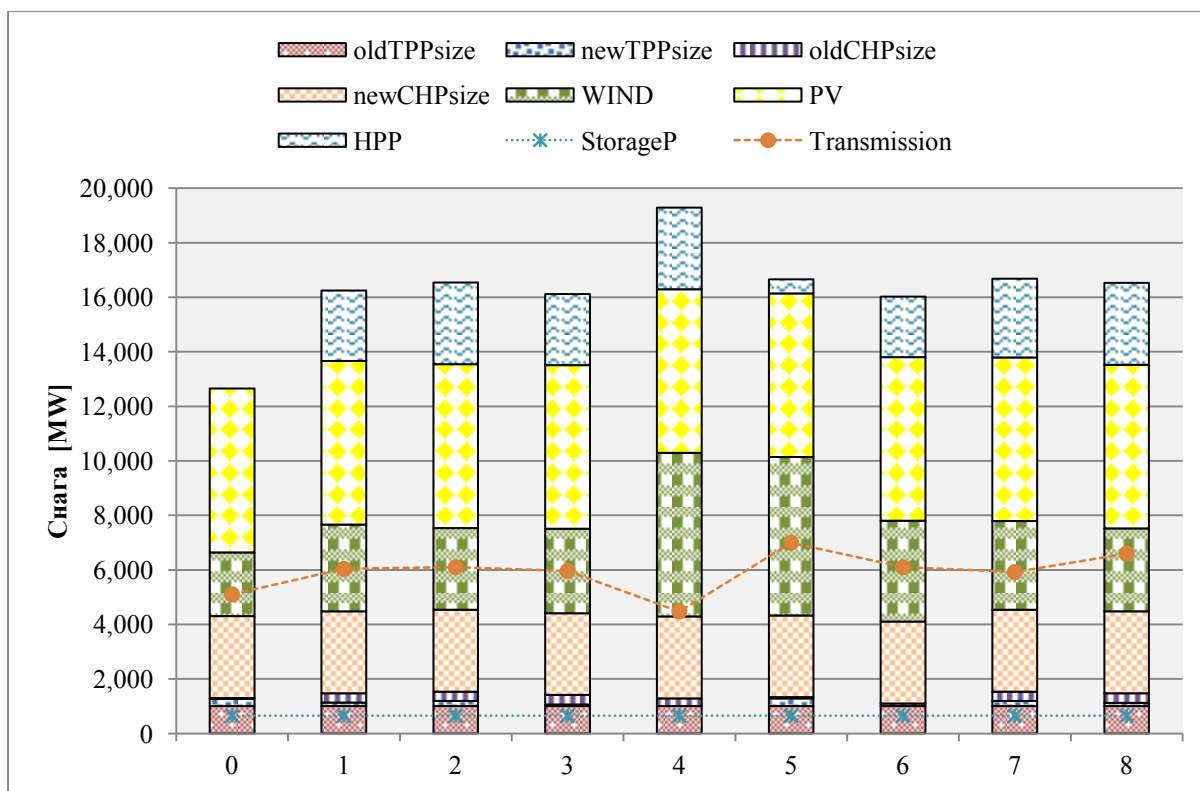
Слика 12 Анализа осетљивости оптималног енергетског биланса на егзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2050. годину. ОИЕЕ-обновљиви извори електричне енергије.

Анализа осетљивости укупних актуализованих годишњих трошкова за различите егзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2050. годину дата је на Слици 13.



Слика 13 Анализа осетљивости укупних актуализованих годишњих трошкова за различите екзогене претпоставке, према сценаријима 0-8 за 2050. годину. Варијабилни трошкови: TNGEX-трошкови набавке природног гаса, TCO2-трошкови емисија у систему трговања емисијама, ТЕЕХ-трошкови размене електричне енергијом, МОС-маргинални производни трошкови, TF-укупни трошкови горива.

Анализа осетљивости управљачких променљивих производње, складиштења и повезивања са другим системима у интерконекцији на екзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2050. годину дата је на Слици 14.



Слика 14 Анализа осетљивости управљачких променљивих производње, складиштења и повезивања са другим системима у интерконекцији на екзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2050. годину. WIND- изградња ВЕ, PV- изградња ФЕ, HPP- изградња ХЕ, newTPPsize-изградња нових ТЕ, oldTPPsize-декомисија старих ТЕ, newCHPsize-изградња нових ТЕ-ТО, oldCHPsize-декомисија старих ТЕ-ТО, StorageP- изградња РХЕ, Transmission-изградња интерконекције.

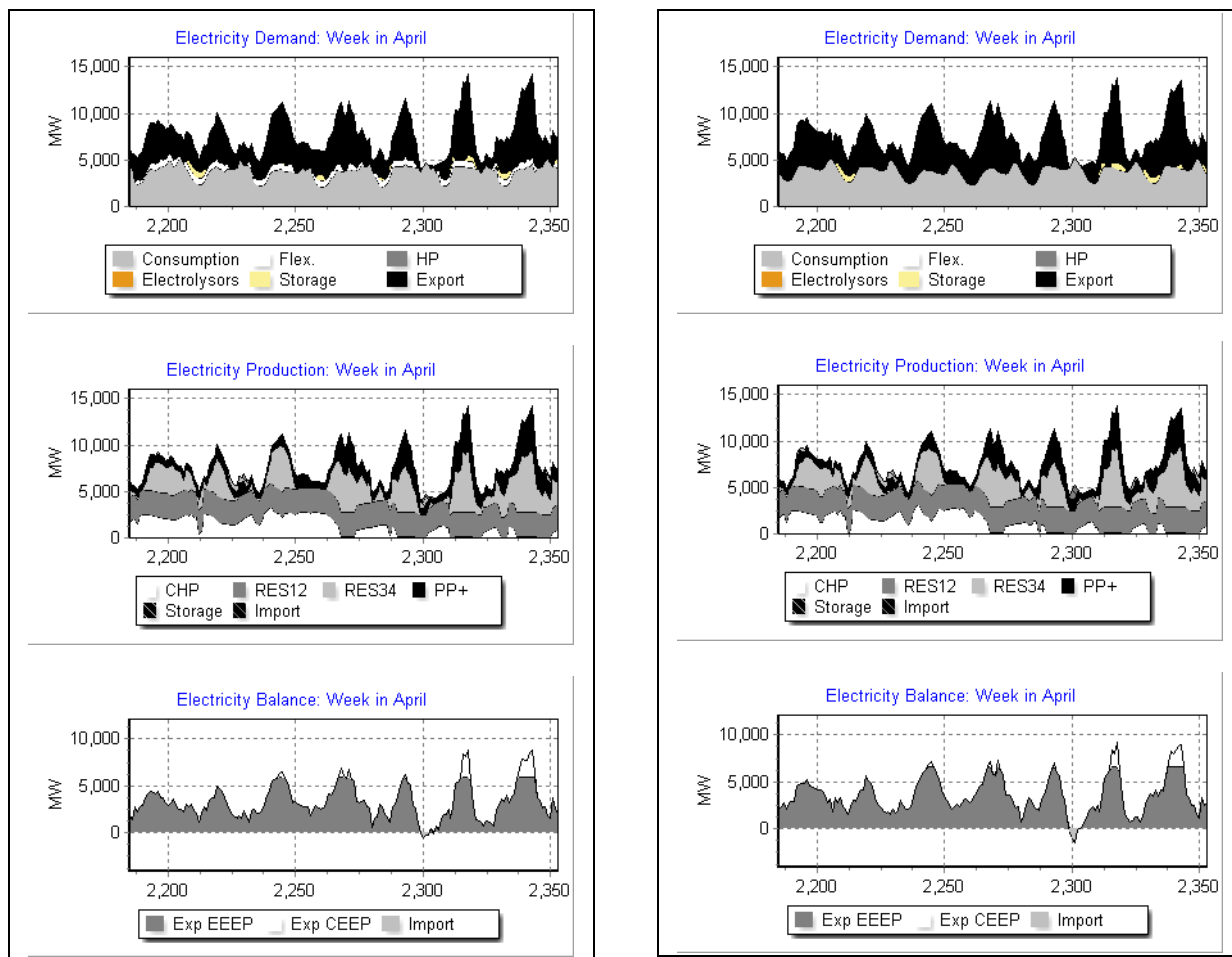
Анализа осетљивости управљачких променљивих техничких мера енергетске ефикасности и структурних мера на екзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2050. годину дата је на Слици 15.



Слика 15 Анализа осетљивости управљачких променљивих техничких мера енергетске ефикасности и структурних мера на егзогене претпоставке према сценаријима 0-8 за 2050. годину. SavingCoalRef-уштеда угља реновирањем, SwitchCoalGas-замена угља гасом, SwitchCoalBiomass-замена угља биомасом, SavingHeatRef-уштеда топлоте реновирањем, SavingHeatNetw-уштеда топлоте унапређењем топловода, IndustrialCHP-увођење индустријских ТЕ-ТО, SwitchEHDH-замена електричног даљинским грејањем, SavingElecCable-уштеда електричне енергије унапређењем мреже, SwitchElecSolarWH-замена електричних бојлера соларним колекторима, DemandResponse-увођење управљиве потрошње, SavingGasInd-уштеда гаса у индустрији, ElecPHEVSmart-замена дизел електричним аутомобилом, BioDiesel-замена дизела биодизелом.

5.5. Детаљна анализа доприноса интелигентних енергетских мрежа

Седмодневни биланс електричне енергије СА (лево) и БЕЗ (десно) интелигентних енергетским мрежама, критична недеља у априлу 2050. године дат је на Слици 16.



Слика 16 Седмодневни биланс електричне енергије СА (лево) и БЕЗ (десно) интелигентних енергетским мрежама, критична недеља у априлу 2050. године. Consumption-неуправљива потрошња, Flex-управљива потрошња, HP-топлотне пумпе, Electrolysors-електролизери, Storage-складишта + електрични аутомобили, Export-извоз, CHP-производња ТЕ-ТО, RES12-производња проточне ХЕ, RES34-производња ВЕ и ФЕ, PP+ производња ТЕ и акумулационе ХЕ, Storage-PXE, Import-увоз, Exp EEEP- извоз у складу са капацитетом интерконекиције, Exp CEEP-критичан извоз који превазилази капацитет интерконекиције.

Допринос интелигентних енергетских мрежа дугочном усаглашавању енергетске политике дат је у Табели 8.

Табела 8 Користи примене интелигентних енергетских мрежа у националним енергетским системима.

	јединица	са	без
$\Delta\text{CO}_2(x)$	Mt	0	0
$\Delta\text{RES}(x)$	%	-8	-7
$\Delta\text{ElecERES}(x)$	%	-44	-28
Примарна енергија	TWh/год.	159	166
Примарна енергија са трговањем	TWh/год.	113	115
Емисије CO ₂	Mt/год.	25	27
Емисије CO ₂ кориговано	Mt/год.	9	9
Инвестициони трошкови	М€/год.	2,518	2,330
Варијабилни трошкови	М€/год.	5,086	5,991
TNGEX	М€/год.	926	936
TCO ₂	М€/год.	1,247	1,348
МОС	М€/год.	68	65
TF	М€/год.	3,904	4,747
TEEX	М€/год.	-1,051	-1,100
Фиксни трошкови	М€/год.	702	701
Укупни трошкови	М€/год.	8,306	9,022

Конвергенција задовољења ограничења је добра, кориговане емисије угљен диоксида је задовољен углавном преко високе пенетрације варијабилних обновљивих извора енергије, али и мерама енергетске ефикасности, што за последицу има значајан извоз, који доноси приходе али захтева инвестиције у интерконекцију. Уштеде применом интелигентних енергетских мрежа су у увозу енергената, док без њих механизам достизања CO₂ кор циља прелази са варијабилних ОИЕ на увоз електричне енергије за који се не урачунава емисија.

Провера флексибилности завршава се на сатном нивоу, а даље треба поновити студију стабилности сектора електроенергетике би требало за приказане сценарије да се покаже да у будућим могућностима и околностима стабилност може бити

одржана у жељеним границама. То ће бити изазов за развој струке али и пратећих струка.

6. Базираност оптималне националне енергетске политике на разради планова одрживих регионалних и локалних енергетских система.

У алате енергетске политике за достизање националних циљева спадају: (1) техничке мере у експлоатацији и (2) планирању, (3) образовање и (4) пропаганда (промоција) и (5) политика цена енергената, (6) директне инвестиције, (7) таксе, субвенције и друге финансијске механизме [71, 291] који морају бити координисани. У мери у којој су у стању да користе ове алате *заинтересоване стране* могу учествовати у креирању енергетске политике.

6.1. Заинтересоване стране у доношењу националне енергетске политике

Удруживање ради доношења одлука може бити на нивоу појединаца у демократском друштву избором владе, док између влада постоје наднационалне институције које управљају у име више држава. Са друге стране у економском смислу постоје релације између компанија које се баве енергетском делатношћу и пратеће индустрије. Трећа заинтересована страна су наднационалне и локалне институције цивилног друштва, а четврта институције независних медија. Постоји детаљнији приступ у груписању заинтересованих страна [292].

6.1.1. Наднационалне и националне институције

Наднационалне и националне институције имају политичке циљеве њихове одлуке су обавезујуће. У наднационалне институције спадају: Уједињене нације (UN), Организацију земаља извозница нафте (ОПЕС) (у које спадају државе Алжир, Ангола, Еквадор, Кувајт, Ирак, Иран, Либија, Нигерија, Катар, Саудијска Арабија, Уједињени Арапски Емирати и Венецуела), Међународна енергетска агенција (IEA), Енергетска повеља (ECT), Форум земаља извозница природног гаса (GECF), Међународни енергетски форум (IEF), Г8, Г20, Међународна агенција обновљиве енергије (IRENA) [293]. У случају земаља југоисточне Европе релеватне наднационалне организације су још: Енергетска унија, Енергетска заједница земаља југоисточне Европе и Регионални савет за сарадњу.

6.1.1.1. Уједињене Нације

У смислу Оквирне конвенције о промени климе, Уједињених нација, Република Србија сматрајући се земљом у развоју, изузета је из Анекса држава чланица које имају обавезу уштеде емисија али имају обавезу да подноси извештаје. Први

извештај је поднет [294] и у току је израда другог извештаја. Услед штета које су проузроковане екстремним климатским условима у Републици Србији постоји намера уштеде емисија у односу до 2030. године у односу на 1990. годину [295]. Република Србија учествује на конференцијама о Уједињених нација о промени климе од 2009. године и учествоваће на конференцији у Паризу 2015. године.

6.1.1.2. Међународна енергетска агенција (ИЕА) и Међународна агенција обновљиве изворе енергије (ИРЕНА)

Међународне енергетске агенције имају улогу преноса сазнања чланицама, груписања институција које се баве тематиком и давањем примера другим институцијама [296]. Међународна енергетска агенција издаје публикације о коришћењу појединих технологија нпр. [297-301] и прогнозе какав је *Светски преглед енергетике* [302] али и званични емисиони и енергетски биланс за државе [303]. Међународна агенција обновљиве енергије приказала је *мапу пута* [304] како да се до 2030. године дуплира коришћење обновљивих извора енергије као и светски атлас обновљиве енергије.

6.1.1.3. Европска унија

Зелени папир [305], [306], стратегија 2020. године [307], 2050. године [45] и 2030. године представљају сложени оквир енергетске политике Европске уније. Критичари енергетске политике Европске уније [308] сматрају да су њени кључни изазови: баланс између суверености и заједништва, егоцентрични приступ чланица, сегментираност, схватање енергетске безбедности и доминација краткорочних интереса. Мишљење Европске комисије о напретку Републике Србије ка чланству Европске уније [309-312] које се односи на енергетику јесте да је он остварен у недовољној мери и да није усклађен са оквиром ЕУ, те да је даљи рад потребан на јачању и независности институција.

6.1.1.4. Енергетска унија

Енергетска унија обухвата: Европски парламент, Европску комисију, земље чланице и треће земље имају своје улоге у овом процесу чији коначни облик зависи од исхода политичких консултација и законодавних активности у 2015, 2016. и 2017. години [313]. У току 2015. године Република Србија остварила је напредак ка циљевима Енергетске унији погледу гасне интерконекције [314].

6.1.1.5. Енергетска заједница југоисточне Европе (ЕнЦ)

Уговор од Енергетској заједници југоисточне Европе потписан је у Атини [145]. Поред девет (9) потписница уговора (Албанија, БиХ, БЈР Македонија, Косово*, Молдавија, Србија, Турска и Црна Гора, Украјина и Европска унија), постоје још четири (4) земље посматрача, и деветнаест (19) држава учесница у процесу. Чланице су покушале да дођу до заједничке енергетске политике у неколико наврата, кроз Енергетску стратегију енергетске заједнице [315], кроз Пројекте од заједничког интереса [316] али је тежња ка националним интересом превладала све остале интересе. Енергетска заједница издала је велики број *студија* нпр. [317-320]. Енергетска заједница оформила је Групу на високом нивоу [321] која је задужена за давање конкретних предлога Европској комисији. Као решење предлаже се [322] јачање правно обавезујуће улоге Енергетске заједнице југоисточне Европе.

6.1.1.6. Регионални савет за сарадњу

Регионални савет за сарадњу сачињава дванаест (12) чланица: Албанија, БиХ, Бугарска, Грчка, Хрватска, Словенија, БЈР Македонија, Молдавија, Румунија, Србија, Турска и Црна Гора, Косово и Тројка ЕУ. Ова институција у својој стратегији Југоисточна европа 2020 [323] спомиње енергетику као једну од димензија (димензија X) развоја, која се базира на документу [315].

6.1.1.7. Министарство задужено за енергетику

Министарство задужено за енергетику је национална институција којом руководи Министар енергетике. До сада су донети закони [324], [158], [325], стратегије [326], акциони планови [194-196] и бројни правилници. Нацрт Стратегије развоја енергетике Републике Србије до 2025 са пројекцијама до 2030. године је у процедури [327] и очекује се његово усвајање до краја 2015. године. Општи капацитет националних институција Републике Србије за анализу политика ограничен, што се огледа у недостатку анализе политике и разматрања опција и *ex ante* процене утицаја [6].

* This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244 and ICJ Advisory opinion on the Kosovo declaration of independence.

Република Србија чланица је УН, Енергетске повеље, ИРЕНА-е, Енергетске заједнице југоисточне европе, Регионалног савета за сарадњу и има Министарство рударства и енергетике.

6.1.2. Институције цивилног друштва

Сматра се да институције цивилног друштва, могу допринети енергетској транзицији јер имају информације које стављају на располагање грађанима. Додатно, имају меку моћ на основу информација и тако остварују неформалну контролну функцију над процесима доношења одлука [328]. Њихове ставови и препоруке су необавезујући често се издају у форми *предлога за јавну практичну политику*.

6.1.2.1. Локалне

Фактори који утичу на основања локалних невладиних организација [329] су поред осталих: раст цена енергената, висок ниво фокусираности на питања животне средине, слабости владајућих организација да испуне своја обећања, жеља за енергетском самосталношћу заједница. Захваљујући пре свега информисању од стране локалних невладиних организација, јавност у Републици Србији упозната је са процесом доношења одлука о животној средини [330, 331], препорукама, потенцијалима и критеријумима примене обновљивих извора енергије [332] и могућностима учешћа у доношењу одлука у области енергетике и климатских промена [333] и правима грађана на правну заштиту по овим питањима [334]. Неке од институција цивилног друштва фокусиране су на примену биомасе [335], одлучивање на локалном нивоу [336, 337] и на заокрету у креирању енергетске политике кроз веће учешће грађана [338] или на сам процес преговора [339].

6.1.2.2. Наднационалне

Неке од наднационалних организација цивилног друштва попут REN21 [340] информишу јавност о примени обновљивих извора енергије. Посебну групу наднационалних институција цивилног друштва чине *развојне агенције* попут USAID, GIZ, DEFRA итд. Ове организације надомешћују недостатак капацитета за достизање циљева енергетске политике у националним институцијама у:

системском, организационом и индивидуалном смислу као и у смислу повезивања [292, 341]. Република Србија није основала развојну агенцију.

6.1.2.3. Национални конвент о Европској унији

Подразумевајући висок ниво информисања јавности, институције цивилног друштва постају важне и у процесу Европских интеграција, [342] из чега ће произаћи њихова контролна функција, па и директно, увођење у сам процес кроз подгрупе у оквиру преговарачких група [343]. Формално увођење институција цивилног друштва у процес настало је оснивањем Националног конвента о Европској унији, са саветодавном функцијом по угледу на модел Словачке. Радна група број петнаест (15) задужена за поглавље Енергетике, препознала је питања енергетске ефикасности и обновљивих извора енергије као најважнија, са фокусом на локалне самоуправе [344].

6.1.3. Економске институције: предузећа, индустрија, коморе и банке.

Економске институције попут јавних предузећа, индустрије опреме, коморе и удружења (Српско удружење за енергију ветра, Национална асоцијација за биомасу, итд.) имају економске интересе енергетској делатности и могу фаворизовати поједине технологије. Типично своје интересе и позиције износе кроз тзв. *беле књиге* [345] или радове [346]. Банке својим одлукама [347] и посебним финансијским инструментима могу фаворизовати поједине технологије у економском смислу. Коморе попут Немачке инжењерске коморе, издају *брошуре* о користима појединих технологија [348]. Произвођачи опреме такође се могу удруживати у конзорцијуме нпр. Конзорцијум за консалтинг и инжењеринг у енергетици.

6.1.4. Медијске институције

Медијске институција имају улогу мултипликатора информације, пошто углавном преносе информације и *ставове* [349].

Из разлога заинтересованости, до сада наведене институције, уколико им је доступан неки од алата енергетске политике могу остваривати своје циљеве. Комбинације коришћених алата у пракси (П) и теоретских (Т) могућности за њихово будуће коришћење дати су у Табели 1.

Табела 9 Упоредни приказ могућности коришћења алата енергетске политике од заинтересованих страна.

Алати/институције	Наднационалне, националне	Цивилно друштво	Економске	Медији
<i>технички алати у експлоатацији</i>	П	/	П	/
<i>технички алати у планирању</i>	П	П	П	Т
<i>образовање</i>	П	П	П	П
<i>пропаганда (промоција)</i>	П	П	П	П
<i>политика цена енергената</i>	П	/	Т	/
<i>директне инвестиције</i>	П	Т	П	Т
<i>таксе, субвенције и др.</i>	П	Т	П	/

У пракси, од националних институција, само је Министарство задужено за енергетику у неким земљама у стању да користи све алате енергетске политике. Друге земље изложене су утицају цена енергената на светском тржишту, у неповољном случају могу се послужити субвенцијама. У сиромашним земљама нема фондова за таксе и субвенције. Техничке мере у планирању и експлоатацији, по правилу су препуштене јавним предузећима, и тешко да без демонополизације сектора могу бити на располагању другим заинтересованим странама. У случају дугорочног планирања интернационалне управљачке структуре, институције цивилног друштва могу имати капацитет, али како се планерски интервал скраћује овај капацитет се смањује, па тако преостају само националне структуре и економске институције. Међусобни утицај заинтересованих страна у процесу доношења енергетске политике остварује се кроз различите стратегије лобирања [350].

6.2. Процес преговора и његово очекивано трајање

Влада Републике Србије је својом одлуком усвојила структуру и процедуре за преговоре о приступању ЕУ, у оквиру које постоји тридесет пет (35) преговарачких група, међу којима је група за енергетику (група 15) у коју се за руководеће функције именују представници Министарства задуженог за енергетику [7]. Као паралални процес треба имати у виду усклађивања правних тековина Европске уније који је Влада донела Национални програм који садржи преглед стања и списак директива и планирану динамику њиховог усвајања [351].

Република Србија је завршила процес скрининга везано за поглавље петнаест (15), дана 12. јуна 2014. Република Хрватска је годину дана након завршетка скрининга добила одговор Европске комисије о спремности за отварање овог поглавља, а након два месеца, представила је комисији своју преговарачку позицију. Европска комисија је представила своју позицију након осам месеци чиме су званично отпочели преговори који су трајали четрнаест месеци. Имајући у виду техничке аспекте трајања преговора и искуство Хрватске могуће је да они буду завршени у року од три године од дана када је започет експланаторни скрининг. Овоме се требају додати и претпоставке о повећању укупног обима *acquire* са временом.

6.3. Међузависност одрживих националних енергетских система

У претходном подпоглављу показали смо да постоје заинтересоване стране у процесу доношења националне енергетске политике. Постојање наднационалних институција налаже да се питања енергетске политике решавају у оквирима који превазилазе националне границе јер за то постоје потребе и јасни технички и економски интереси. Може се рећи да је међузависност одрживих националних енергетских система слична међузависности економија. Она је по природи таква да свака земља зависи од оне друге и тиме имају одговорност за једностране одлуке па се одлуке морају доносити заједнички [328]. Земље које су искључене из трговине енергијом, а посебно оне енергетски сиромашне, осуђене су на сиромаштво. У том смислу енергетска политика има смисла ако тежи интеграцијама. Иако су регионални односи унапређени, и састанци у вези са отвореним питањима свакодневни [352], изазови разраде регионалних енергетских система још увек постоје. Поред приказаних предности постоје политички и институционални изазови успешне "регионализације" националних енергетских политике у земљама југоисточне Европе [353]. Они су последица историјских околности и тешкоће да се краткорочна корист замени дугорочним интересима. Изазови "локализације" националних енергетских система су смањење моћи централизованог доношења одлука кроз повећање енергетске независности појединих региона.

6.4. Технички и економске интереси регионалних и локалних енергетских система

Поред потреба сиромашних земаља за трговином, изворни интерес у вези са регионалним планирањем у техничком смислу заснован је на просторној и временској комплементарности ресурса. У економском смислу интереси су боље искоришћење постојећих инвестиција, економија обима и боља алокација. Интерес код регионалног приступа је оптимално коришћење капацитета и повећање енергетске безбедности [354] а додатно у случајевима нормалних и екстремних климатских услова. Регионални приступ у планирању националних енергетских система југоисточне Европе имао би позитивне економске резултате у погледу смањења оперативне резерве у систему (које су на нивоу пројектоване снаге реверзибилне хидроелектране Ђердап 3), а уместо држања у резерви тај капацитет може бити понуђен на тржишту енергије, чиме се профит увећава или инвестиције смањују [289].

6.5. Разрада одрживих регионалних планова

Стање енергетике у региону југоисточне Европе, посматрано целовито, карактерише вишак капацитета за производњу енергије у међусобно независним националним енергетским системима у којима се субвенционише коришћење фосилних горива [120]. Пуно је потенцијала за унапређење овог стања кроз разраду одрживих регионалних енергетских планова. Европска унија тежи да регион југоисточне Европе посматра као целину, што још није остварено, јер поред тога што постоје [355]: географско одређење региона, наднационалне владајућа организација, планови на регионалном нивоу и заједнички финансијски инструменти [316], недостају неки од елемента. Југоистиочна Европа има око 35 % производних капацитета вишка, који се не би морали користити у случају регионалног приступа производњи [53]. Резултати студија [233, 286], у којима су разрађени Национални акциони планови земаља југоисточне Европе за случај регионалног приступа у планирању националних енергетских система у случају високог удела варијабилних обновљивих извора енергије, показују да је такав систем могућ. Касније је детаљнијом студијом [356] показано да регионални приступ омогућава реализацију већих удела варијабилних обновљивих извора енергије него код независних националних енергетских система, што смањује

потребу за флексибилношћу и чиме се смањују емисије. У студији [357] доведене су у питање постојеће стратегије из угла директива Енергетске заједнице због значајног пораста производње електричне енергије из угља у три независне студије случаја држава југоисточне Европе. Студија [358] приказала је да у земљама југоисточне Европе у погледу инвестиција које износе укупно 1,600 М€ доминираја производња електричне енергије из угља а енергетска ефикасност достиже тек 17%. Студија [287] има за циљ да покаже могуће стање у земљама југоисточне Европе у 2050. години. Студија [359] предвиђа формирање гасног прстена југоисточне Европе. Уштеде у производних трошкова електричне енергије за случај регионалног приступа, зависности од сезоне, у износу од 11.3-15.06 % приказане су студији [360], па мада су на нивоу регије дугорочне користи јасне, у случају поједначних држава јасно је да постоје случајеви где су краткорочни ефекти негативни. Веома пажљивим коришћењем успешних примера дерегулације у случајевима националних тржишта електричне енергије, може се поставити наднационални модел тржишта југоисточне Европе [361].

6.6. Разрада одрживих локалних планова

Локално планирање у Републици Србији у фази је развоја, док је у свету то тренутно највише коришћени просторни ниво енергетског планирања [362], јер је приступ на националном нивоу инвестиционо интензивнији а доношење одлука дуготрајније. Овај начин планирања препознат је у неким локалним самоуправама које су потписале иницијативу Повеља градоначелника, али им недостаје капацитета за планирање и спровођење [363], па до сада нема резултата сем у случају Града Ниша.

Насупрот досадашње парадигме концентрисане производње коришћењем ефеката опадајуће специфичне цене генераторских јединица и малих губитака у преносу, нова парадигма интелигентних енергетских мрежа заснива се на великом броју мањих производних ресурса доступних уз потрошњу тзв. децентрализована производња [364]. Као што је централизовано планирање било засновано на великим генераторима и далеководима, тако ће локално планирање бити засновано на дистрибуираној производњи [365] и већој енергетској независности

локалних заједница [366]. Даље се концепт дистрибуирана производња енергије [202] надовезује на појам енергетских чворишта [367, 368].

Пут ка остваривању циљева локалног енергетског планирања, уз повећање енергетске независности од централизованог система производње енергије, уз приказани пораст специфичних трошкова енергије, методолошки заснован на симулацији и оптимизацији коришћењем алата ХОМЕР приказан је у раду [363]. Студија [369] приказала је да трошкови дистрибуиране производње енергије постају упоредиви са централизованом производњом тек са укидањем постојећих субвенција. За локално планирање доступна је и [370] методологија прикупљања годишњих биланса ради одређивања мерљивих индикатора за потребе интегралног рангирања мера енергетске ефикасности које ће бити укључене у локални енергетски план, на основу детаљних студија.

За потребе детаљног локалног планирања или националних планова са просторном резолуцијом неопходно је користити модел атмосфере заснован на сателитским мерењима [371] или сличне изворе података.

6.6.1. Паметни градови

Посебни случај просторно веома детаљног локалног енергетског планирања су урбане, градске средине* тзв. паметни градови [372, 373]. Примери студија паметних градова су Сеул [374], примери у Европи [375-377], Гвадалахара [378] итд. Модели паметних градова заснивају се на великим количинама података† [379] и очекује се увођењу *cloud* технологије [380] али је њихова имплементација на градовима попут Београда за сада изазов [381].

Географски информациони системи по правилу се користе за моделовање [382] и урбано планирање паметних градова [383, 384], при рачунању производње из фотонапонских електрана [385-387], из ветроелектана [240, 388-390] из биогасних постројења [391], код планирање мобилности [392], код коришћења водоника [393], код груписања потрошача у дистрибутивној мрежи [394] и рачунања губитака [395] и планирање градње реверзибилне хидроелектране [396]. Најновије

* smart cities

† big data

технологије попут лидара могу се користити за аутоматизовану детекцију облика и површине кровова [397, 398].

7. Закључна разматрања

7.1. Упоредивање и дискусија резултата.

Резултати ове дисертације упоредиви су са резултатима других студија случаја Републике Србије [184, 253, 399], али се разликују у методологији, претпоставкама и циљевима.

Према студији [184], коришћени алат МАРКАЛ, у референтном сценарију, прогнозира се већи пораст потрошње финалне енергије у износу од 36.9% у периоду од 2009. године до 2030. године (годишња стопа раста 1.76% годишње, без могућности декупловања економског раста од потрошње), што резултира порастом увоза фосилних горива од 20.2% и емисија угљендиоксида за 26.7%, и достизање укупне снаге у националном електроенергетском систему од 12 GW углавном из термоелектрана према претходно усвојеном плану уласка у погон. Годишњи трошкови само енергетског система процењени су на око 6,691 М€/годишње у 2009, који би ескалирали до 18,749 М€/годишње у 2030, док би трошкови горива били 2,296-4,927 М€/годишње, трошкови одржавања 2,560-7,203 М€/годишње. У сценарију достизања циља од 27% удела обновљивих извора енергије у потрошњи финалне енергије, укупни трошкови повећани су за 2.4% у односу на референтни, али је постигнуто само 9.5% смањења емисија. Код комбинованог сценарија, примена мера увођења обновљивих извора енергије и енергетске ефикасности (РЕ и ЕЕ) има се повећање трошкова од 1.5% уз смањење емисија од 13.3%. Сматра се да је ово повећање укупних трошкова, посебно трошкова горива, и неуспешност достизања циља смањења емисија угљен диоксида резултат смањеног скупа техничких мера које су биле на располагању код модела у односу на спрегнути модел националног енергетског система коришћен при овом истраживању.

Према студији [399], коришћени алат МАРКАЛ, трошкови горива повећавају се до 3,600 М€/годишње до 2027. Годишњи инвестициони трошкови у електране и у мере на страни потрошње достигли би 2,400 М€/годишње у 2021. години и 3,200 М€/годишње у 2027. години у односу 1:7.4 у корист мера на страни потрошње. Није описано које би се техничке мере примењивале и у којем обиму нити који би допринос циљевима усаглашавања енергетске политике био остварен.

Студија [253], коришћени приступ *системска динамика*, предвидела је трошкове до 2030. године. Укупни инвестициони трошкови у енергетску ефикасност у периоду до 2030. године износе 2,700 М€, узимајући циљ од 20% уштеде примарне енергије, и са таксама од US\$ 50/tCO₂, постале би исплативе у периоду 2019-2022. године. Укупне инвестиције у обновљиве изворе енергије достигле би 1,500-2,500 М€ до 2030. године, (зависно од пенетрације нових електрана 5-10 %). Прогнозирана је потрошња електричне енергије од 40 TWh/годишње до 2020. године односно 44 TWh/годишње до 2030. године, што је око 11.3 % испод референтног сценарија у 2030. години садашње енергетске политике, са енергетским миксом: термоелектране (61%), хидроелектране (26%), ветроелектране (6%), фотонапонске електране (1%) и комбинована производња електричне и топлотне енергије (6 %). Ове вредности недовољне су за достизање свих циљева Европске енергетске политике.

Студија [400], коришћени алат GREEN-X, не помиње емисиони ни финансијски биланс, иако су усвојене вредности трошкова опреме, енергената. Приказана је производња електричне енергије у четири (4) сценарија развоја од 2030. до 2050. године према којима би било максимално могућа производња из: ветроелектрана 2.3 TWh/годишње, фотонапонских електрана 1.2 TWh/годишње, хидроелектрана 3.2 TWh/годишње, термоелектрана 30 TWh/годишње, 0.8 биомасе TWh/годишње, нуклеарних електрана 8 TWh/годишње, зависно од сценарија.

Ове четири студије нису одговориле на полазне хипотезе овог истраживања.

7.2. Провера полазних хипотеза

- *"Одржива енергетска политика доводи до промене нивоа и структуре укупних трошкова у односу на актуелну неодрживу енергетску политику".*

Сматрајући мере предложене Нацртом Стратегије развоја енергетике Републике Србије до 2025 са пројекцијама до 2030. године [327] актуелном неодрживом енергетском политиком у смислу усаглашавања са циљевима одрживости Европске уније 2030. године и упоређујући ниво и структуру њених трошкова са резултатима овог истраживања у Поглављу 4 закључује се да је прва хипотеза потврђена.

- *"Постоји оптимални скуп техничких мера одрживе енергетске политике чији су укупни трошкови за друштво минимални."*

Посматрајући опадајући низ укупних трошкова за друштво и достигнутог циљева одрживе енергетске политике током оптимизације скупа техничких мера за случај усаглашавања 2030. и 2050. године (Поглавља 4 и 5) долази се до оптималне структуре у последњем кораку и до потврде друге хипотезе.

- *"Код дугорочног усаглашавања енергетске политике Републике Србије и Европске уније подразумева се примена интелигентних енергетских мрежа."*

Сматрајући достизање циљева 2050. године дугорочном усаглашеношћу енергетске политике Републике Србије са Европском унијом и посматрајући користи примене интелигентних енергетских мрежа у националним енергетским системима у Поглављу 5 долази се до потврде треће хипотезе.

7.3. Закључак

Спрегнута метода за оптимално планирање националних енергетских система омогућава потврђивање хипотеза овог истраживања.

7.3.1. Достигнутост циљева, енергетски и финансијски биланс

Усклађивања енергетске политике Републике Србије и Европске уније у смислу циљева 2030. и 2050. године могуће је без обзира на егзогене претпоставке, мада оне имају утицаја на начин достизања тиме и на финансијски биланс.

У случају достизања циљева 2030. године енергетски биланс размене енергије је негативан, а у случају достизања циљева 2050. позитиван без обзира на егзогене претпоставке.

Као што је приказано провером друге хипотезе, структура укупних годишњих трошкова веома зависи од егзогених претпоставки, посебно у случају достизања циљева 2030. године.

7.3.2. Техничке мере производње, складиштења и повезивања

Градња хидроелетрана није оптимална у смислу достизања циљева одрживости до 2030. године али јесте у смислу циљева до 2050. године.

Изградња фотонапоских електрана у случају Републике Србије предлаже се у износу до достизања горње границе и за 2030. и за 2050. годину јер није осетљива на промене екзогених претпоставки.

Изградња ветроелектрана у периоду до 2030. пожељна је у случају Републике Србије зависно од екзогених претпоставки, а предлаже се за случај усаглашавања до 2050. године.

Изградња потројења за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије пожељна је у смислу усаглашавања циљева енергетске политике Републике Србије 2030. и 2050. године, стим што у случају 2030. године снага зависи од очекиваног развоја екзогених параметара. Излазак из погона (постојећих) постројења за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије не предлаже се у смислу достизања циљева 2030. године а у случају циљева 2050. године то зависи од развоја екзогених параметара.

Изградња термоелектрана у случају Републике Србије зависна је од развоја екзогених параметара. Излазак из погона (постојећих) термоелектрана предлаже се у максималном износу независно од циљева усаглашавања и развоја екзогених параметара.

Постојећа снага реверзибилних хидроелектрана у Републици Србији није препрека достизању циљева 2030. и 2050. у техничко-економском смислу.

Постојећа преносна мрежа довољна је у смислу планирања размене енергије у региону и са позиције Републике Србије нема економских интереса за градњу нових интерконективних далековода у смислу достизања циљева до 2030. године. Након 2030. године треба појачавати интерконекције ради достизања циљева до 2050. године јер то у случају Републике Србије има економских предности у односу на друге структурне мере.

7.3.3. Техничке мере енергетске ефикасности и структурне мере

Укупне уштеде енергије на рачун техничких мера енергетске ефикасности и обим коришћења структурних мера веће су и мање осетљиве на промену егзогених параметара у случају достизања циљева 2050. него 2030. године.

7.3.4. Регионално и локално планирање

У случају регионалних планова требају се посматрати дугорочне добити у односу на краткорочне губитке.

За разлику од тржишног приступа при разради регионалних планова, који налаже уједињење актера и где је то уједињење политички и институционални изазов, разрада локалних планова налаже принцип поделе, како би реализација била могућа и како би целим системом било могуће управљати у смислу вођења ефективне политике.

7.4. Ограничавајући фактори.

Сигурност у изреченим закључцима постоји у оба смера, јер нису искоришћени сви ресурси који су били на располагању, а са друге стране претпоставке су песимистичне.

У смислу оптималне *мане пута* 2030-2050. нису упоређени резултати из 2030. и 2050. године.

Аутор се нада да ће ова метода допринети јачању утицаја научних резултата на енергетску политику а не обрнуто.

Литература:

- [1] Z. V. Popović, *Kako napisati i objaviti naučno delo* vol. 1. Beograd: Akademska misao, 1999.
- [2] E. Phillips and D. S. Pugh, *How to Get a PhD - 4th Edition: A Handbook for Students and Their Supervisors*: McGraw-Hill Education, 2005.
- [3] D. Stojanović, *Kaldrma i asfalt: urbanizacija i evropeizacija Beograda 1890-1914*: Udruženje za društvenu istoriju, 2009.
- [4] J. Momoh, "A Framework for Interdisciplinary Research and Education," *Economic Market Design and Planning for Electric Power Systems*, p. 1, 2010.
- [5] ***, "НАЦРТ СТРАТЕГИЈЕ НАУЧНОГ И ТЕХОЛОШКОГ РАЗВОЈА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ ЗА ПЕРИОД ОД 2016. ДО 2020. ГОДИНЕ – „Истраживање за развој“,“ 2015.
- [6] M. Lazarević, S. Marić, and A. Orza, *Kreiranje politike i pregovori za pristupanje EU*. Beograd: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit 2013.
- [7] A. Engelman and M. Mrak, *Структуре и процедуре за успешне преговоре о приступању ЕУ*. Belgrade: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2013.
- [8] J. Habermas, *Tehnika i znanost kao "ideologija"*: Školska knjiga, 1986.
- [9] P. F. Cowhey, "The problems of plenty: Energy policy and international politics," 1985.
- [10] M. F. Ruth and B. Kroposki, "Energy Systems Integration: An Evolving Energy Paradigm," *The Electricity Journal*, vol. 27, pp. 36-47, 2014.
- [11] M. Welsch, "Enhancing the Treatment of Systems Integration in Long-term Energy Models," 2013.
- [12] R. Weijermars, P. Taylor, O. Bahn, S. R. Das, and Y.-M. Wei, "Review of models and actors in energy mix optimization – can leader visions and decisions align with optimum model strategies for our future energy systems?," *Energy Strategy Reviews*, vol. 1, pp. 5-18, 2012.
- [13] J. Momoh, "Research, Education, and Training for the Smart Grid," in *Smart Grid*, ed: John Wiley & Sons, Inc., 2012, pp. 176-183.
- [14] T. Nakata, D. Silva, and M. Rodionov, "Application of energy system models for designing a low-carbon society," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 37, pp. 462-502, 2011.
- [15] ЕС, "Conclusions on 2030 Climate and Energy Policy Framework," vol. SN 79, ed. Brussels: European Council, 2014, p. 10.
- [16] H. Lund, A. N. Andersen, P. A. Østergaard, B. V. Mathiesen, and D. Connolly, "From electricity smart grids to smart energy systems – A market operation based approach and understanding," *Energy*, vol. 42, pp. 96-102, 2012.
- [17] M. Z. Jacobson and G. M. Masters, "Exploiting wind versus coal," *Science*, vol. 293, pp. 1438-1438, 2001.
- [18] S. Pacala and R. Socolow, "Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies," *Science*, vol. 305, pp. 968-972, 2004.
- [19] N. Van Beeck, *Classification of energy models*: Citeseer, 1999.
- [20] M. Z. Jacobson and M. A. Delucchi, "Evaluating the Feasibility of a Large-Scale Wind, Water, and Sun Energy Infrastructure," *Energy*, pp. 1-38, 2009.
- [21] D. Connolly, H. Lund, B. V. Mathiesen, and M. Leahy, "A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems," *Applied Energy*, vol. 87, pp. 1059-1082, 2010.

- [22] M. Iqbal, M. Azam, M. Naeem, A. S. Khwaja, and A. Anpalagan, "Optimization classification, algorithms and tools for renewable energy: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 39, pp. 640-654, 2014.
- [23] F. Wiese, G. Bokenkamp, C. Wingenbach, and O. Hohmeyer, "An open source energy system simulation model as an instrument for public participation in the development of strategies for a sustainable future," *Wiley Interdisciplinary Reviews-Energy and Environment*, vol. 3, pp. 490-504, Sep-Oct 2014.
- [24] D. Stolten and V. Scherer, *Transition to Renewable Energy Systems*: Wiley, 2013.
- [25] D. Henning, "MODEST—An energy-system optimisation model applicable to local utilities and countries," *Energy*, vol. 22, pp. 1135-1150, 1997.
- [26] A. Lehtilä and P. Pirilä, "Reducing energy related emissions: Using an energy systems optimization model to support policy planning in Finland," *Energy Policy*, vol. 24, pp. 805-819, 1996.
- [27] S. National Research Council, *National Energy Modeling System*. Washington, DC, USA: National Academies Press, 1992.
- [28] B. Sliz-Szkliniarz, "Energy Planning in Selected European Regions - Methods for Evaluating the Potential of Renewable Energy Sources," PhD, Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2013.
- [29] S. C. Bhattacharyya and G. R. Timilsina, "A review of energy system models," *International Journal of Energy Sector Management*, vol. 4, pp. 494-518, 2010.
- [30] H. Hashim, P. Douglas, A. Elkamel, and E. Croiset, "Optimization Model for Energy Planning with CO2 Emission Considerations," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 44, pp. 879-890, 2005/02/01 2005.
- [31] P. Tafarte, S. Das, M. Eichhorn, and D. Thrän, "Small adaptations, big impacts: Options for an optimized mix of variable renewable energy sources," *Energy*, vol. 72, pp. 80-92, 2014.
- [32] K. Porter, C. Mudd, S. Fink, J. Rogers, L. Bird, L. Schwartz, M. Hogan, D. Lamont, and B. Kirby, "Meeting Renewable Energy Targets in the West at Least Cost: The Integration Challenge," Western Governors' Association, Denver, CO CH-6A20-55353, 2012.
- [33] H. Požar, *Prilog metodu za određivanje optimalne energetske strukture*. Beograd Srpska akademija nauka i umetnosti, Odeljenje tehničkih nauka, 1968.
- [34] M. Huber, T. Hamacher, C. Ziem, and H. Weber, "Combining LP and MIP approaches to model the impacts of renewable energy generation on individual thermal power plant operation," in *Power and Energy Society General Meeting (PES), 2013 IEEE*, 2013, pp. 1-5.
- [35] F. Genoese, *Modellgestützte Bedarfs-und Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiespeichern zur Integration erneuerbarer Energien in Deutschland*, 2013.
- [36] ***, *Guidelines for strategic planning*: U.S. Department of Energy Office of Strategic Planning, Budget and Program Evaluation, 1996.
- [37] A. Lind, E. Rosenberg, P. Seljom, K. Espegren, A. Fidje, and K. Lindberg, "Analysis of the EU renewable energy directive by a techno-economic optimisation model," *Energy Policy*, vol. 60, pp. 364-377, Sep 2013.
- [38] E. Hirst and C. Goldman, "Creating the future: integrated resource planning for electric utilities," *Annual review of energy and the environment*, vol. 16, pp. 91-121, 1991.
- [39] D. Nadić, "Održivi razvoj i principi održivog razvoja u strateškim dokumentima Republike Srbije," *Godišnjak FPN*, pp. 213-224, 2011.
- [40] Z. Gereke, *Modeliranje energetike i životne sredine : problemi i metode modeliranja optimalne energetske strukture sa posebnim osvrtom na zaštitu čovekove životne sredine*. Beograd: Privredna štampa, 1982.

- [41] R. Banos, F. Manzano-Agugliaro, F. G. Montoya, C. Gil, A. Alcayde, and J. Gomez, "Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 1753-1766, May 2011.
- [42] D. Acke, "Zeroing In: Lessons from the European Climate Foundation's Roadmap 2050 Project," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 12, pp. 42-49, 2014.
- [43] MERZ. (2013). *Nacrt strategija razvoja energetika Republike Srbije za period do 2025. godine sa projekcijama do 2030. godine - in Serbian*. Available: <http://www.merz.gov.rs/sites/default/files/Nacrt%20strategije%20razvoja%20energetike%20Republike%20Srbije%20za%20period%20do%202025.%20godine%20sa%20projekcijama%20do%202030.%20godine.pdf>
- [44] I. Batas-Bjelic, N. Rajakovic, B. Cosic, and N. Duic, "A realistic EU vision of a lignite-based energy system in transition: Case study of Serbia," *Thermal Science*, vol. 19, pp. 371-382, 2015.
- [45] EC, "A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050," ed, 2011.
- [46] R. G. Pratt, P. Balducci, C. Gerkenmeyer, S. Katipamula, M. C. Kintner-Meyer, T. F. Sanquist, K. P. Schneider, and T. Secrets, "The smart grid: an estimation of the energy and CO2 benefits," 2010.
- [47] L. Schratzenholzer, "Assessment of personal computer models for energy planning in developing countries," World Bank / UNDP / Bilateral Aid Energy Sector Management and Assessment Programme (ESMAP)1991.
- [48] C. von Clausewitz, *Hinterlassene werke über krieg und kriegführung*: Dümmler, 1867.
- [49] I. Kavrakoglu, "ENERGY MODELS," *European Journal of Operational Research*, vol. 28, pp. 121-131, 1987.
- [50] H. Lund. (2013). *EnergyPLAN Advanced Energy Systems Analysis Computer Model Documentation Version 11.0*. Available: <http://www.energyplan.eu/wp-content/uploads/2013/06/EnergyPLAN-Documentation-V11-2013.pdf>
- [51] V. A. Levi, *Planiranje razvoja elektroenergetskih sistema pomoću računara*. Novi Sad: Stylos, 1998.
- [52] H. Seifi and M. S. Sepasian, *Electric Power System Planning: Issues, Algorithms and Solutions*: Springer, 2011.
- [53] A. Kanevce, I. Mishkovski, and L. Kocarev, "Modeling long-term dynamical evolution of Southeast European power transmission system," *Energy*, vol. 57, pp. 116-124, Aug 1 2013.
- [54] D. Šošić, "Metode određivanja raspoloživog prenosnog kapaciteta u visokonaponskim prenosnim mrežama elektroenergetskog sistema," Doktorat, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2015.
- [55] A. Liu, B. H. Hobbs, J. Ho, J. D. McCalley, V. Krishnan, M. Shahidehpour, and Q. P. Zheng, "Co-optimization of Transmission and Other Supply Resources," 2013.
- [56] R. A. Rodriguez, S. Becker, and M. Greiner, "Cost-optimal design of a simplified, highly renewable pan-European electricity system," *Energy*, vol. 83, pp. 658-668, 2015.
- [57] F. E. Kydland and E. C. Prescott, "Rules Rather than Discretion: The Inconsistency of Optimal Plans," *Journal of Political Economy*, vol. 85, pp. 473-491, 1977.
- [58] S. Teske, "Bridging the Gap between Energy-and Grid Models: developing an integrated infrastructural planning model for 100% renewable energy systems in order to optimize the interaction of flexible power generation, smart grids and storage technologies," Flensburg, Univ., Diss., 2015, 2015.
- [59] IAEA, *Expansion planning for electrical generating systems: a guidebook*: International Atomic Energy Agency, 1984.
- [60] E. N. Asada, Y. Jeon, K. Y. Lee, V. Miranda, A. J. Monticelli, K. Nara, J.-B. Park, R. Romero, and Y.-H. Song, "Applications to System Planning," in *Modern Heuristic Optimization Techniques*, ed: John Wiley & Sons, Inc., 2007, pp. 285-335.

- [61] M. Wetter, "GenOpt -Generic Optimization Program User Manual Version 3.1.0," Simulation Research Group Building Technologies Department Environmental Energy Technologies Division, Berkeley 2011.
- [62] N. Rajaković and I. B. Bjelić, "Optimalno planiranje razvoja nacionalnog energetskeg sistema pomoću računarskih simulacija," *Energija, ekologija, ekonomija*, vol. 17, pp. 59-63, 2015.
- [63] A. Gore, *Our Choice: How We Can Solve the Climate Crisis*: Bloomsbury Publishing Plc, 2009.
- [64] H. Lund, *Renewable Energy Systems: The Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions*: Academic Press, 2009.
- [65] R. Weijermars, O. Bahn, P. Capros, S. R. Das, S. Griffiths, H. Lund, N. Nakicenovic, H.-H. Rogner, P. Taylor, Y.-M. Wei, H. Liao, and X. Shi, "Energy strategy research – Charter and perspectives of an emerging discipline," *Energy Strategy Reviews*, vol. 1, pp. 135-137, 2013.
- [66] J.-P. Charpentier, *A Review of Energy Models No. 1 (revised September 1976)*: IIASA Research Report RR-74-010, 1974.
- [67] J.-P. Charpentier, *A Review of Energy Models No. 2*: IIASA Research Report RR-75-035, 1975.
- [68] C. Schlenzig, "PlaNet: ein entscheidungsunterstützendes System für die Energie- und Umweltplanung," 1998.
- [69] S. Pfenninger, A. Hawkes, and J. Keirstead, "Energy systems modeling for twenty-first century energy challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 33, pp. 74-86, 2014.
- [70] A. Mazer, *Electric Power Planning for Regulated and Deregulated Markets*: Wiley, 2007.
- [71] M. Munasinghe, "INTEGRATED NATIONAL ENERGY PLANNING (INEP) IN DEVELOPING COUNTRIES," *Natural Resources Forum*, vol. 4, pp. 359-373, 1980.
- [72] C. De Jonghe, E. Delarue, R. Belmans, and W. D'haeseleer, "Determining optimal electricity technology mix with high level of wind power penetration," *Applied Energy*, vol. 88, pp. 2231-2238, 2011.
- [73] X. Wang and J. R. McDonald, *Modern power system planning*: McGraw-Hill, 1994.
- [74] M. Koch, K. Blok, and J. Harnisch, *Systematische Analyse der Eigenschaft von Energiemodellen im Hinblick auf ihre Eignung für möglichst praktische Politik-Beratung zur Fortentwicklung der Klimaschutzstrategie: Endbericht*: ECOFYS GmbH, 2001.
- [75] Y. Scholz, "Renewable energy based electricity supply at low costs: development of the REMix model and application for Europe," 2012.
- [76] S. Nagl, M. Fürsch, and D. Lindenberger, "The costs of electricity systems with a high share of fluctuating renewables—a stochastic investment and dispatch optimization model for Europe," EWI Working Paper 2012.
- [77] J.-M. Beaujean and J.-P. Charpentier, *A Review of Energy Models. No. 3 (Special Issue on Soviet Models)*: IIASA Research Report RR-76-018, 1976.
- [78] A. Herbst, F. Toro, F. Reitze, and E. Jochem, "Introduction to energy systems modelling," *Swiss J. Econ. Stat*, vol. 148, pp. 111-135, 2012.
- [79] S. Messner and M. Strubegger, "User's Guide for MESSAGE III," International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria 1995.
- [80] M. Biberacher, "Modelling and optimisation of future energy systems using spatial and temporal methods," 2004.
- [81] G. Czisch, "Szenarien zur zukünftigen Stromversorgung: kostenoptimierte Variationen zur Versorgung Europas und seiner Nachbarn mit Strom aus erneuerbaren Energien," 2005.
- [82] P. Masse and R. Gibrat, "Application of linear programming to investments in the electric power industry," *Management Science*, vol. 3, pp. 149-166, 1957.

- [83] J. McCalley, W. Jewell, T. Mount, D. Osborn, and J. Fleeman, "A Wider Horizon," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 9, pp. 42-54, 2011.
- [84] K. C. Hoffman and D. W. Jorgenson, "Economic and Technological Models for Evaluation of Energy Policy," *The Bell Journal of Economics*, vol. 8, pp. 444-466, 1977.
- [85] F. C. Knopf, *Modeling, Analysis and Optimization of Process and Energy Systems*: Wiley, 2011.
- [86] J. Després, N. Hadjsaid, P. Criqui, and I. Noirot, "Modelling the impacts of variable renewable sources on the power sector: Reconsidering the typology of energy modelling tools," *Energy*, vol. 80, pp. 486-495, 2015.
- [87] J. Momoh, "Next Generation Optimization for Electric Power Systems," *Economic Market Design and Planning for Electric Power Systems*, pp. 237-275, 2010.
- [88] T. Zylicz, *Goals, principles and constraints in environmental policies*: Edward Elgar, Cheltenham, 2000.
- [89] A. S. Manne, R. G. Richels, and J. P. Weyant, "Feature Article--Energy Policy Modeling: A Survey," *Operations Research*, vol. 27, pp. 1-36, 1979.
- [90] H. J. Greenberg and F. H. Murphy, "Modelling the National Energy Plan," *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 31, pp. 965-965, 1980.
- [91] M. A. Laughton, "Power and energy systems planning," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 4, pp. 42-50, 1982.
- [92] J. M. Griffin and H. B. Steele, "7 - CONSERVATION," in *Energy Economics and Policy (Second Edition)*, J. M. G. B. Steele, Ed., ed: Academic Press, 1986, pp. 245-282.
- [93] G. Bruntland, "Our common future: The world commission on environment and development," ed: Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [94] I. Cvitan, M. Fijala, M. Horžić, and V. Paškalin, *Štednja i racionalna potrošnja energije Sisak: Društvo energetičara sisačko banijske regije "Joža Rožanković"*, 1982.
- [95] A. P. Sanghvi, "Least-cost energy strategies for power system expansion," *Energy Policy*, vol. 12, pp. 75-92, 1984.
- [96] S. Grgurevic, Ed., *Znacaj i mogućnost racionalnog koriscenja energije (Zbornik odabranih radova : 1981-1986. Beograd: Institut za ekonomiku industrije, 1987, p. ^pp. Pages.*
- [97] S. Đukanović, *Obnovljivi izvori energije: ekonomska ocena: Gradska biblioteka "Božidar Knežević"*, 2009.
- [98] Đ. Stanojević, *Електрична индустрија у Србији : експериментална предавања држана у Физичком институту Велике школе, 10-ог, 15-ог и 17-ог јуна 1901. године у корист техничког друштва. Београд: Државна штампарија Краљевине Србије, 1901.*
- [99] S. A. Farghal and M. R. Abdel Aziz, "Generation expansion planning including the renewable energy sources," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 3, pp. 816-822, 1988.
- [100] W. Kempton, "Chapter 5 - Analysis: Large-Scale Integration of Renewable Energy," in *Renewable Energy Systems*, H. Lund, Ed., ed Boston: Academic Press, 2010, pp. 75-125.
- [101] M. A. H. Mondal, S. Kennedy, and T. Mezher, "Long-term optimization of United Arab Emirates energy future: Policy implications," *Applied Energy*, vol. 114, pp. 466-474, 2014.
- [102] B. Pfluger, *Assessment of least-cost pathways for decarbonising Europe's power supply : a model-based long-term scenario analysis accounting for the characteristics of renewable energies*: KIT Scientific Publishing, 2014.
- [103] D.-W.-I. F. Sensfuß, "Assessment of the impact of renewable electricity generation on the German electricity sector An agent-based simulation approach," 2007.

- [104] M. Welsch, P. Deane, M. Howells, B. O. Gallachoir, F. Rogan, M. Bazilian, and H. H. Rogner, "Incorporating flexibility requirements into long-term energy system models - A case study on high levels of renewable electricity penetration in Ireland," *Applied Energy*, vol. 135, pp. 600-615, Dec 15 2014.
- [105] L. Kuntz and F. Müsgens, "Modelling start-up costs of multiple technologies in electricity markets," *Mathematical Methods of Operations Research*, vol. 66, pp. 21-32, 2007.
- [106] N. P. Padhy, "Unit commitment-a bibliographical survey," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 19, pp. 1196-1205, 2004.
- [107] D. Madzharov, E. Delarue, and W. D'Haeseleer, "Integrating electric vehicles as flexible load in unit commitment modeling," *Energy*, vol. 65, pp. 285-294, 2014.
- [108] E. Delarue, D. Cattrysse, and W. D'Haeseleer, "Enhanced priority list unit commitment method for power systems with a high share of renewables," *Electric Power Systems Research*, vol. 105, pp. 115-123, 2013.
- [109] S. Rebennack, J. Kallrath, and P. Pardalos, "Energy Portfolio Optimization for Electric Utilities: Case Study for Germany," in *Energy, Natural Resources and Environmental Economics*, E. Bjørndal, M. Bjørndal, P. M. Pardalos, and M. Rönnqvist, Eds., ed: Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 221-246.
- [110] B. Palmintier and M. Webster, "Impact of operational flexibility on generation planning," *IEEE Transactions on Power Systems*, 2013.
- [111] M. Nicolosi, "The economics of renewable electricity market integration. An empirical and model-based analysis of regulatory frameworks and their impacts on the power market," Universität zu Köln, 2012.
- [112] V. Smil, *Global catastrophes and trends: the next fifty years*: The MIT Press, 2008.
- [113] N. Duić, "Is the success of clean energy guaranteed?," *Clean Technologies and Environmental Policy*, pp. 1-8, 2015/05/09 2015.
- [114] L. Hirth and F. Ueckerdt, "The Decreasing Market Value of Variable Renewables: Integration Options and Deadlocks," in *Transition to Renewable Energy Systems*, ed: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2013, pp. 75-92.
- [115] G. Strbac, "Quantifying the system costs of additional renewables in 2020," *DTI report*, 2002.
- [116] M. Todorovic, Ed., *Cene električne energije u Jugoslaviji* (Zbornik odabranih radova : 1981-1986. Beograd: Institut za ekonomiku industrije, 1987, p. pp. Pages.
- [117] M. Cvetković, "Prilog metodologiji projektovanja energetskog sektora Jugoslavije," PhD, Belgrade, Belgrade, 1985.
- [118] P. L. Joskow, "Comparing the Costs of Intermittent and Dispatchable Electricity Generating Technologies," *American Economic Review*, vol. 101, pp. 238-241, 2011.
- [119] O. Hohmeyer, "Renewables and the full costs of energy," *Energy Policy*, vol. 20, pp. 365-375, 1992.
- [120] A. Kovacevic, "Fossil Fuel Subsidies in the Western Balkans," 9789295092440, 2011.
- [121] L. Bird, M. Milligan, and D. Lew, "Integrating Variable Renewable Energy: Challenges and Solutions," NREL2013.
- [122] A. Meier, A. H. Rosenfeld, and J. Wright, "Supply curves of conserved energy for California's residential sector," *Energy*, vol. 7, pp. 347-358, 1982.
- [123] Á. López-Peña, I. Pérez-Arriaga, and P. Linares, "Renewables vs. energy efficiency: The cost of carbon emissions reduction in Spain," *Energy Policy*, vol. 50, pp. 659-668, 2012.
- [124] A. Ghaderi, M. Parsa Moghaddam, and M. K. Sheikh-El-Eslami, "Energy efficiency resource modeling in generation expansion planning," *Energy*, vol. 68, pp. 529-537, 2014.
- [125] F. Urban, R. M. J. Benders, and H. C. Moll, "Modelling energy systems for developing countries," *Energy Policy*, vol. 35, pp. 3473-3482, 2007.

- [126] H. Požar, *Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije*. Скопје: Македонска академија на науките и уметностите, 1985.
- [127] T. Pukšec, "Influence of energy policy on long term energy demand planning," PhD, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- [128] L. Suganthi and A. A. Samuel, "Energy models for demand forecasting—A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 1223-1240, 2012.
- [129] L. G. Swan and V. I. Ugursal, "Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 1819-1835, 2009.
- [130] C. W. Gellings and W. M. Smith, "Integrating demand-side management into utility planning," *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, pp. 908-918, 1989.
- [131] R. Elsland, C. Divrak, T. Fleiter, and M. Wietschel, "Turkey's Strategic Energy Efficiency Plan – An ex ante impact assessment of the residential sector," *Energy Policy*, vol. 70, pp. 14-29, 2014.
- [132] S. G. Steckley, D. S. Meade, C. S. Lenox, K. C. Hoffman, D. H. Reid, and B. C. Schoener, "Energy demand analytics using coupled technological and economic models," *The Energy Journal*, vol. 32, 2011.
- [133] M. Bouzguenda and S. Rahman, "Integration of customer-owned generation into the electric utility load dispatching technique," in *Southeastcon'89. Proceedings. Energy and Information Technologies in the Southeast., IEEE*, 1989, pp. 814-819.
- [134] N. Rajaković, M. Orbović, and J. Petrić, "Primena dinamičkog programiranja na problem upravljanja sistemom elektroenergetskih potrošača intermitentnog režima rada," *Tehnika* vol. 53, pp. E12-E21, 1998.
- [135] D. J. Olsen, "Grid Integration of Aggregated Demand Response, Part 1: Load Availability Profiles and Constraints for the Western Interconnection," 2014.
- [136] M. Hummon, D. Palchak, P. Denholm, J. Jorgenson, D. J. Olsen, S. Kiliccote, N. Matson, M. Sohn, C. Rose, and J. Dudley, "Grid Integration of Aggregated Demand Response, Part 2: Modeling Demand Response in a Production Cost Model," 2013.
- [137] P. S. Kwon and P. Østergaard, "Assessment and evaluation of flexible demand in a Danish future energy scenario," *Applied Energy*, vol. 134, pp. 309-320, 2014.
- [138] T. Boßmann, "A model-based long-term scenario analysis in consideration of structural changes in electricity demand " PhD, Fraunhofer ISI, Fraunhofer Verlag, Karlsruhe, 2015.
- [139] V. M. Šiljkut, "UPRAVLJANJE POTROŠNJOM U INTELIGENTNIM ENERGETSKIM MREŽAMA SA VARIJABILNOM PROIZVODNOM," PhD, ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET, UNIVERZITET U BEOGRADU, Beograd, 2015.
- [140] T. Müller, *Politische Ökonomie der Erneuerbare-Energien-Politik in Deutschland: Eine Betrachtung des Politikbildungsprozesses auf dem Strommarkt unter dem Einfluss von Interessengruppen*: Kassel University Press, 2015.
- [141] R. Bellman and S. E. Dreyfus, *Applied Dynamic Programming*: Princeton University Press, 1962.
- [142] EC. (2014, 13.05.2014.). *European Commission 2030 framework for climate and energy policies* Available: http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/documentation_en.htm
- [143] D. Reiche, "Renewable energies in the EU-Accession States," *Energy Policy*, vol. 34, pp. 365-375, 2006.
- [144] D. Buchan and M. Keay, "The EU's new energy and climate goals for 2030 under-ambitious and over-bearing?," in *Energy and Environment*, ed: The Oxford Institute for Energy Studies, 2014.
- [145] EnC, "TREATY ESTABLISHING THE ENERGY COMMUNITY," 2006.
- [146] S. Hofer, *Die Europäische Union als Regelexporteur: die Europäisierung der Energiepolitik in Bulgarien, Serbien und der Ukraine*: Nomos Baden-Baden, 2008.

- [147] S. Despotović, *Matematički modeli pouzdanosti i optimalnosti elektroenergetskih sistema*. Beograd: Zajednica Jugoslovenske elektroprivrede,, 1976.
- [148] N. Rajaković and I. Batas Bjelić, "The impact of Serbian national energy efficiency action plan (NEEAP) on EU2020 goals," in *INDEL*, Banja Luka, 2012, pp. 268-270.
- [149] D. Gielen, D. Saygin, N. Wagner, K. Petrichenko, and A. Tsakiris, "SYNERGIES BETWEEN RENEWABLE ENERGY AND ENERGY EFFICIENCY," IRENA2015.
- [150] C. De Jonghe, E. Delarue, R. Belmans, and W. D'Haeseleer, "Interactions between measures for the support of electricity from renewable energy sources and CO2 mitigation," *Energy Policy*, vol. 37, pp. 4743-4752, 2009.
- [151] A. Held, M. Ragwitz, W. Eichhammer, F. Sensfuss, M. Pudlik, B. Pfluger, G. Resch, L. Olmos, A. Ramos, M. Rivier, C. Kost, C. Senkpiel, F. Peter, K. Veum, J. Slobbe, and J. d. Jooode, "Estimating energy system costs of sectoral RES and EE targets in the context of energy and climate targets for 2030," 2014.
- [152] B. Knopf, P. Nahmmacher, and E. Schmid, "The European renewable energy target for 2030 – An impact assessment of the electricity sector," *Energy Policy*, vol. 85, pp. 50-60, 2015.
- [153] H. A. Linstone, "Futures Research Methodology–Version 3.0 CD-ROM edited by Jerome C. Glenn and Theodore J. Gordon, The Millennium Project, 4421 Garrison Street, NW, Washington, DC 20016-4055; nearly 1300-page CD available for \$49.50, ISBN-978-0-9818941-1-9, <http://millennium-project.org/millennium/FRM-V3.html>," ed: North-Holland, 2009.
- [154] L. Börjesson, M. Höjer, K.-H. Dreborg, T. Ekvall, and G. Finnveden, "Scenario types and techniques: Towards a user's guide," *Futures*, vol. 38, pp. 723-739, 2006.
- [155] E. Martinot, C. Dienst, L. Weiliang, and C. Qimin, "Renewable Energy Futures: Targets, Scenarios, and Pathways," *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 32, pp. 205-239, 2007.
- [156] W. Weimer-Jehle, S. Prehofer, and S. Vögele, "Kontextszenarien. Ein Konzept zur Behandlung von Kontextunsicherheit und Kontextkomplexität bei der Entwicklung von Energieszenarien," *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, vol. 22, pp. 27-35, 2013.
- [157] T. Mai, J. Logan, N. Blair, P. Sullivan, and M. Bazilian, "RE-ASSUME," 2013.
- [158] ***. (2011). *The Energy Law*. Available: http://www.aers.rs/FILES/Zakoni/Eng/Zakon%20o%20energetici_57-11.pdf
- [159] N. Samuels, "The European Coal Organization," *Foreign Affairs*, vol. 26, pp. 728-736, 1948.
- [160] M. Ristic, "Energija i kriza globalnog razvoja," in *Elektrotermija* Vrnjacka Banja, 1981.
- [161] V. Mastilovic and M. Gavrilovic, "Primena linearnog programiranja u planiranju razvoja elektroprivrednih sistema," *Elektroprivreda : organ Biroa za unapređenje elektroprivrede*, vol. 16, pp. 535-545, 1963.
- [162] G. Granić, "Optimalni redoslijed izgradnje elektrana u elektroenergetskom sistemu," PhD, Elektrotehnički fakultet u Zagrebu, 1979.
- [163] A. S. Martinoli, "Jedan probabilistički model dugoročnog razvoja proizvodnih kapaciteta u uslovima povećanog učešća termoelektrana," PhD, Belgrade, Belgrade, 1988.
- [164] I. Škokljević, "Planiranje u elektroenergetskom sistemu Ontario Hydro," *Tehnika*, vol. 11-12, pp. 793-796, 1991.
- [165] M. Jevtić, "'Big new Europe': An energy challenge," *Međunarodni problemi*, vol. 44, pp. 367-376, 1992.
- [166] M. R. Todorović and A. Marić, "Energetika u zemljama u tranziciji," *Energija, ekonomija, ekologija*, vol. 5, pp. 50-55, 2000.
- [167] M. Crnčević, M. Lazić, and M. Rajović, "Uvozna zavisnost i supstitucija opreme u EPS-u," *Energija, ekonomija, ekologija*, vol. 1, pp. 89-92, 1996.

- [168] M. Kukobat, "Mogućnosti korišćenja novih i obnovljivih izvora energije u SR Jugoslaviji," *Energija, ekonomija, ekologija*, vol. 3, pp. 168-170, 1998.
- [169] N. Ćorović, "Male hidroelektrane-stanje u SR Jugoslaviji i svetu," *Energija, ekonomija, ekologija*, vol. 4, pp. 294-296, 1999.
- [170] M. Filipović, "Razvojna politika SR Jugoslavije u tranziciji energetskog sektora," *Energija, ekonomija, ekologija*, vol. 3, pp. 109-111, 1998.
- [171] N. Rajaković and N. Arsenijević, "Pregled savremenih metoda za dugoročno planiranje razvoja energetike," *Energija, ekonomija, ekologija*, vol. 4, pp. 132-136, 1999.
- [172] N. Rajaković, N. Arsenijević, and B. Petković, "Aplikativni softverski moduli za praćenje i upravljanje razvojem energetike SRJ," *Energija, ekonomija, ekologija*, vol. 5, pp. 36-40, 2000.
- [173] A. Vučković, N. Nikolić, M. Sučević-Tasić, N. Blagojević, and S. Ružić, "Rezultati simulacija rada elektroenergetskog sistema Elektroprivrede Srbije u srednjoročnom planu razvoja," *Elektroprivreda : organ Biroa za unapređenje elektroprivrede* vol. 54, pp. 94-100, 2001.
- [174] N. Đajić, "Energetika Jugoslavije od predviđanja u Strategiji do ostvarenja," *Energija, ekonomija, ekologija*, vol. 5, pp. 31-35, 2000.
- [175] M. Filipović and M. Bošnjak, "Stanje i perspektive razvoja energetike SR Jugoslavije," *Energija, ekonomija, ekologija*, vol. 5, pp. 9-15, 2000.
- [176] M. Ž. Studović, "Status and perspectives of energy sector development in SEE Region," *Elektroprivreda*, vol. 63, pp. 376-386, 2010.
- [177] P. Jovančić, M. Tanasijević, and D. Ivezić, "Serbian energy development based on lignite production," *Energy Policy*, vol. 39, pp. 1191-1199, 2011.
- [178] N. Đajić and M. Mesarović, "LONG TERM OUTLOOK OF ENERGY SECTOR IN SERBIA," in *17. FORUM: EUROPA, HRVATSKA I REGIJA 2030. GODINE 17th FORUM: EUROPE, REGION AND CROATIA IN 2030*, 2012, p. 78.
- [179] V. Matejić, *Prilozi istraživanju naučnog i tehnološkog razvoja i upravljanja organizacijama*: Savezni sekretarijat za razvoj i nauku, 2004.
- [180] A. S. Trbović, "Renewable energy policy in the framework of Serbia's EU accession process," *Termotehnika*, vol. 38, pp. 175-189, 2012.
- [181] D. Zdravković, S. Radukić, and M. Veselinović, "Perspectives of renewable energy utilization in the republic of Serbia," *Facta universitatis-series: Economics and Organization*, vol. 9, pp. 381-391, 2012.
- [182] V. Stevanović, "Strateško planiranje i upravljanje u energetskom sektoru," presented at the Proceedings : sustainable development and climate change, Nis, 2010.
- [183] Z. Mihajlović Milanović, *Energetika i privredni razvoj : analiza međuzavisnosti na primeru Srbije i zemalja Evropske unije*. Beograd, 2003.
- [184] M. Sučević Tasić, "Prognoziranje energetskih potreba u Srbiji do 2030. godine na onovu minimizacije ukupnih ekonomskih troškova," Master rad, Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2014.
- [185] P. Graichen, M. Krassuski, J. Warode, M. Weiß, and M. Welke, "Climate Protection and Growth: Germany's Path into the Renewable Energy Age," Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Berlin 2011.
- [186] E. A. Hudson and D. W. Jorgenson, "U. S. Energy Policy and Economic Growth, 1975-2000," *The Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 5, pp. 461-514, 1974.
- [187] P. A. Østergaard and K. Sperling, *Towards Sustainable Energy Planning and Management* vol. 1, 2014.
- [188] P. Mulder and H. De Groot, "Decoupling economic growth and energy use," ed: Amsterdam, 2004.
- [189] I. Energiereport, "Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030," *Energiewirtschaftliche Referenzprognosen. Untersuchung im Auftrag des BMWA, Köln, Basel*, 2005.

- [190] ***, "Federal Republic of Yugoslavia. Breaking with the past : the path to stability and growth," The World Bank, Washington (D.C.)2001.
- [191] ***, "Federal Republic of Yugoslavia. Breaking with the past : the path to stability and growth," The World Bank, Washington (D.C.)2001.
- [192] R. Naumov, "Energy sector development strategy of the Republic of Serbia up to 2015 year: About Serbian energy strategy," *Termotehnika*, vol. 31, pp. 3-8, 2005.
- [193] F. Sensfuss, M. Wietschel, and W. Eichhammer, "Preparation of a Least Cost Investment Plan for Serbia Electricity Sector," Karlsruhe2005.
- [194] ***. (2012). *Draft National Renewable Energy Action Plan*. Available: <https://www.energy-community.org/pls/portal/docs/2144185.PDF>
- [195] ***. (2010). *The First Energy Efficiency Plan of the Republic of Serbia for the Period from 2010 to 2012*. Available: <http://www.energy-community.org/pls/portal/docs/986181.PDF>
- [196] ***, "The second Energy Efficiency Plan of Serbia (in Serbian)," MERZ, Ed., ed. Belgrade, 2013.
- [197] V. Smil, *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*: MIT Press, 2008.
- [198] I. Batas Bjelić, N. Rajaković, B. Ćosić, and N. Duić, "Feasibility of Serbian energy policy in reaching EU 2020 goals," in *SDEWES*, Dubrovnik, 2013, p. 435.
- [199] I. B. Bjelic and N. Rajakovic, "Total Costs Minimization by Using Synergy Effect Among EU 2020 Goals," in *Proceedings of the 1st South East Europe Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, Ohrid, Macedonia, 2014, p. 167.
- [200] P. Alto, "The Green Grid: Energy Savings and Carbon Emissions Reductions Enabled by a Smart Grid," ed: California: EPRI, 2008.
- [201] M. Welsch, M. Howells, M. Bazilian, J. F. DeCarolis, S. Hermann, and H. H. Rogner, "Modelling elements of Smart Grids – Enhancing the OSeMOSYS (Open Source Energy Modelling System) code," *Energy*, vol. 46, pp. 337-350, 2012.
- [202] P. Mancarella, "MES (multi-energy systems): An overview of concepts and evaluation models," *Energy*, vol. 65, pp. 1-17, 2014.
- [203] C. Cormio, M. Dicorato, A. Minoia, and M. Trovato, "A regional energy planning methodology including renewable energy sources and environmental constraints," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 7, pp. 99-130, 2003.
- [204] R. Loulou, G. Goldstein, and K. Noble, "Documentation for the MARKAL Family of Models," *Energy Technology Systems Analysis Programme*, pp. 65-73, 2004.
- [205] W. Short, P. Sullivan, T. Mai, M. Mowers, C. Uriarte, N. Blair, D. Heimiller, and A. Martinez, "Regional Energy Deployment System (ReEDS) Regional Energy Deployment System (ReEDS)," 2011.
- [206] C. Bussar, M. Moos, R. Alvarez, P. Wolf, T. Thien, H. Chen, Z. Cai, M. Leuthold, D. U. Sauer, and A. Moser, "Optimal Allocation and Capacity of Energy Storage Systems in a Future European Power System with 100% Renewable Energy Generation," *Energy Procedia*, vol. 46, pp. 40-47, 2014.
- [207] C. Papadopoulos, R. Johnson, and F. Valdebenito, "PLEXOS® Integrated Energy Modelling around the Globe," ed: Energy Exemplar, 2014, p. 10.
- [208] E. Ibanez, "A multiobjective optimization approach to the operation and investment of the national energy and transportation systems," 2011.
- [209] C. Heaps, "Integrated Energy-Environment Modeling and LEAP," 2002.
- [210] K. Neuhoff, A. Ehrenmann, L. Butler, J. Cust, H. Hoexter, K. Keats, A. Kreczko, and G. Sinden, "Space and time: Wind in an investment planning model," *Energy Economics*, vol. 30, pp. 1990-2008, 2008.
- [211] T. Lambert, P. Gilman, and P. Lilienthal, "Micropower System Modeling with Homer," in *Integration of alternative sources of energy*, ed: John Wiley & Sons, Inc., 2006, pp. 379-418.

- [212] K. UMMEL, "Spatiotemporal explicit linear programming model to simulate global deployment of renewable power technologies," Degree of Master of Science, Department of Environmental Sciences and Policy, Central European University, Budapest, 2011.
- [213] J. P. Saenz, "Simulation-based optimization for integrated electric utility resource planning and deployment," UNIVERSITY OF MIAMI, 2013.
- [214] C. Huber, T. Faber, R. Haas, G. Resch, J. Green, S. Ölz, S. White, H. Cleijne, W. Ruijgrok, and P. E. Morthorst, "Green-X. Deriving optimal promotion strategies for increasing the share of RES-E in a dynamic European electricity market. Final report of the project Green-X-a research project within the fifth framework programme of the European Commission, supported by DG Research," ed: Vienna University of Technology, Institute of Power Systems and Energy Economics, 2005.
- [215] F. Sensfuß, "Assessment of the impact of renewable electricity generation on the German electricity sector: An agent-based simulation approach," PhD, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften (WIWI), Karlsruhe, Karlsruhe, 2007.
- [216] M. Frupp, *Optimal investment in wind and solar power in California*: University of California, Berkeley, 2008.
- [217] C. Groß, *Maximierung des regenerativen Erzeugungsanteils an der österreichischen Elektrizitätsversorgung*: na, 2013.
- [218] N. E. Koltsaklis, P. Liu, and M. C. Georgiadis, "An integrated stochastic multi-regional long-term energy planning model incorporating autonomous power systems and demand response," *Energy*, vol. 82, pp. 865-888, Mar 15 2015.
- [219] M. Bojic, M. Despotovic, S. Kyritsis, G. Papadakis, and L. Geronikou, "LOpt: A Tool for Sustainable Energy Optimization," *reCOMMEND*, vol. 5, pp. 7-9, 2006.
- [220] N. Đurić, "EnergyPlus and GenOpt in Thermo Technical Installations Design," *KGH : Klimatizacija, grejanje, hlađenje : jugoslovenski naučno-stručni časopis za grejanje, hlađenje i klimatizaciju*, vol. 34, pp. 25-28, 2005.
- [221] S. Borenstein, "The Private and Public Economics of Renewable Electricity Generation," *Journal of Economic Perspectives*, vol. 26, pp. 67-92, 2012.
- [222] B. B. Ivanovic and S. S. Jankovic, "An approach to power flow calculation through small or zero impedance lines," *International Review on Modelling and Simulations*, vol. 5, pp. 731-742, 2012.
- [223] S. Ružić and N. Rajaković, "Optimal distance method for Lagrangian multipliers updating in short-term hydro-thermal coordination," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 13, pp. 1439-1444, 1998.
- [224] G. Deng, "Simulation-based optimization," UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON, 2007.
- [225] R. Hooke and T. A. Jeeves, "'Direct Search' Solution of Numerical and Statistical Problems," *J. ACM*, vol. 8, pp. 212-229, 1961.
- [226] I. Batas Bjelic and N. Rajakovic, "Simulation-based optimization of sustainable national energy systems," *Energy*, vol. 91, pp. 1087-1098, 2015.
- [227] M. Ferrara, E. Fabrizio, J. Virgone, and M. Filippi, "A simulation-based optimization method for cost-optimal analysis of nearly Zero Energy Buildings," *Energy and Buildings*, vol. 84, pp. 442-457, 2014.
- [228] J. K. Delson and S. M. Shahidehpour, "Linear programming applications to power system economics, planning and operations," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 7, pp. 1155-1163, 1992.
- [229] I. A. Škokljević, *Planiranje elektroenergetskih sistema: problemi, pitanja i odgovori iz odabranih oblasti*. Belgrade: Taurus Publik, 2000.
- [230] M. Schlesinger, P. Hofer, A. Kemmler, A. Kirchner, S. Koziel, A. Ley, D. Lindenberger, A. Knaut, R. Malischek, and S. Nick, "Entwicklung der Energiemärkte-Energierferenzprognose," *Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Basel*, 2014.

- [231] P. Capros, A. De Vita, P. Fragkos, N. Kouvaritakis, L. Paroussos, K. Fragkiadakis, N. Tasios, and P. Siskos, "The impact of hydrocarbon resources and GDP growth assumptions for the evolution of the EU energy system for the medium and long term," *Energy Strategy Reviews*, vol. 6, pp. 64-79, 2015.
- [232] B. Knopf, Y.-H. H. Chen, E. De Cian, H. Förster, A. Kanudia, I. Karkatsouli, I. Keppo, T. Koljonen, K. Schumacher, and D. P. Van Vuuren, "Beyond 2020—Strategies and costs for transforming the European energy system," *Climate Change Economics*, vol. 4, 2013.
- [233] B. Ćosić, G. Krajačić, N. Markovska, N. Duić, and I. Batas Bjelić, "Regional Approach for a 100 % Renewable Energy Systems : The Case of South East Europe," in *SDEWES*, Ohrid, 2012, p. 182.
- [234] E. E. Agency. (2013). *Trends and projections in Europe 2013. 10/2013*.
- [235] H. Auer, K. Zach, and G. Lettner, "Scenario Analyses of RES Grid Infrastructure Integration in Serbia up to 2050," 2010.
- [236] D. Connolly, "ENERGYPLAN COST DATABASE," Sustainable Energy Planning Research Group, Aalborg University 2015.
- [237] D. Stojadinovic, Ed., *ПЕРСПЕКТИВЕ КОРИШЋЕЊА ЕНЕРГИЈЕ ВЕТРА И СУВЊА У СРБИЈИ* (Енергетика и животна средина. Београд: Развојно-истраживачки центар графичког инжењерства ТМФ, 2013, p. ^pp. Pages.
- [238] Ž. Durišić, M. Bubnjević, D. Mikičić, and N. Rajaković, "Wind atlas of vojvodina, Serbia," in *European Wind Energy Conference and Exhibition 2007, EWEC 2007*, 2007, pp. 670-677.
- [239] V. Janković, *LIBER PERPETUUM*. Novi Sad: OEBS Misija u Srbiji i Crnoj Gori, Sektor za ekonomska pitanja i politiku životne sredine, 2004.
- [240] R. McKenna, S. Hollnaicher, P. O. von der Leye, and W. Fichtner, "Cost-potentials for large onshore wind turbines in Europe," *Energy*, vol. 83, pp. 217-229, Apr 1 2015.
- [241] D. Z. Djurdjevic, "Perspectives and assessments of solar PV power engineering in the Republic of Serbia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 2431-2446, 2011.
- [242] V. GburCik, S. Mastilovic, and Z. VuCinic, "Assessment of solar and wind energy resources in Serbia," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 5, pp. 041822-17, 2013.
- [243] ***. (2013). *Draft Energy Sector Development Strategy of the Republic of Serbia for the period 2025 with projections by 2030*. Available: <https://www.energy-community.org/pls/portal/docs/2144185.PDF>
- [244] I. Batas Bjelic, N. Rajakovic, R. Elsland, and W. Eichhammer, "Improvements of Serbian-NEEAP based on analysis of residential electricity demand until 2030," in *IEWT*, Vienna, 2013, p. 1.
- [245] DecisionWareGroup, "Impact Assessment of the Energy Efficiency Directive (2012/27/EU) for the Energy Community," 2014.
- [246] IEA. (2014). *WEIO-2014 Energy Efficiency Assumptions*. Available: <http://www.worldenergyoutlook.org/weomodel/investmentcosts/>
- [247] I. e.V. (2014). *Berlin's post soviet refurbishment strategy - lessons learned* Available: www.ifficiency-from-germany.info
- [248] IEEP. (2013). *Task 1 Report 'Energy Savings 2030'*. Available: http://www.ieep.eu/assets/1267/Energy_Savings_2030_IEEP_Review_of_Cost_and_Benefits_of_Energy_Savings_2013_published.pdf
- [249] D. Tovilović and N. Rajaković, "The simultaneous impact of photovoltaic systems and plug-in electric vehicles on the daily load and voltage profiles and the harmonic voltage distortions in urban distribution systems," *Renewable Energy*, vol. 76, pp. 454-464, 2015.
- [250] AHKSerbien, "ENERGIEEFFIZIENZ IN DER INDUSTRIE – SERBIEN 2013 Zielmarktanalyse mit Profilen der Marktakteure," 2013.

- [251] G. REBIS, "PWC," *MWH, ATKINS, March*, 2005.
- [252] M. Sučević Tasić and L. Mitrušić, "Prognoza energetske potrebe u Srbiji do 2030. godine pomoću optimizacionog modela "MARKAL" " presented at the CIGRE SRBIJA, Zlatibor, 2009.
- [253] UNEP, "Green Economy Scoping Study: Serbia," 2013.
- [254] I. Batas Bjelić, N. Rajaković, B. Čosić, and N. Duić, "Increasing wind power penetration into the existing Serbian energy system," *Energy*, vol. 57, pp. 30-37, 2013.
- [255] IEA, 2014.
- [256] M. Huber, D. Dimkova, and T. Hamacher, "Integration of wind and solar power in Europe: Assessment of flexibility requirements," *Energy*.
- [257] J. Cochran, M. Miller, O. Zinaman, M. Milligan, D. Arent, B. Palmintier, M. O'Malley, S. Mueller, E. Lannoye, A. Tuohy, B. Kujala, M. Sommer, H. Holttinen, J. Kiviluoma, and S. K. Soonee, "Flexibility in 21st Century Power Systems," NREL, Golden, U.S.2014.
- [258] H. Holttinen, A. Tuohy, M. Milligan, E. Lannoye, V. Silva, S. Muller, and L. Soder, "The Flexibility Workout: Managing Variable Resources and Assessing the Need for Power System Modification," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 11, pp. 53-62, 2013.
- [259] A. Shortt, J. Kiviluoma, and M. O'Malley, "Accommodating Variability in Generation Planning," *IEEE Transactions on Power Systems*, pp. 1-12, 2012.
- [260] G. Papaefthymiou, K. Grave, and K. Dragoon, "Flexibility options in electricity systems," Ecofys2014.
- [261] I. Batas Bjelić, N. Rajaković, B. Čosić, and N. Duić, "Increasing wind power penetration into the existing Serbian energy system," *Energy*, vol. 57, pp. 30-37, 2013.
- [262] I. Batas Bjelic, N. Rajaković, G. Krajačić, and N. Duić, "Decreasing the flexibility gap: transformation towards smart energy system in Serbia," in *SDEWES*, Dubrovnik, 2015.
- [263] P. Sullivan, V. Krey, and K. Riahi, "Impacts of considering electric sector variability and reliability in the MESSAGE model," *Energy Strategy Reviews*, vol. 1, pp. 157-163, 2013.
- [264] M. Faulstich, H. Foth, C. Calliess, O. Hohmeyer, K. Holm-Müller, M. Niekisch, and M. Schreurs, "Pathways towards a 100% renewable electricity system," German Advisory Council on the Environment, Berlin2011.
- [265] B. V. Mathiesen, H. Lund, D. Connolly, H. Wenzel, P. A. Østergaard, B. Möller, S. Nielsen, I. Ridjan, P. Karnøe, K. Sperling, and F. K. Hvelplund, "Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions," *Applied Energy*, vol. 145, pp. 139-154, 2015.
- [266] H. Tekiner-Mogulkoc, D. W. Coit, and F. A. Felder, "Electric power system generation expansion plans considering the impact of Smart Grid technologies," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 42, pp. 229-239, 2012.
- [267] O. H. Hohmeyer and S. Bohm, "Trends toward 100% renewable electricity supply in Germany and Europe: a paradigm shift in energy policies," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, pp. n/a-n/a, 2014.
- [268] C. Gellings, G. Horst, M. McGranaghan, P. Myrda, B. Seal, O. Siddiqui, D. V. Dollen, M. Duvall, A. Phillips, D. Rastler, and B. Neenan, "Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid," EPRI2011.
- [269] P. Fox-Penner, *Smart Power: Climate Change, the Smart Grid, and the Future of Electric Utilities*: Island Press, 2010.
- [270] J. Momoh, "Pathway for Designing Smart Grid," in *Smart Grid*, ed: John Wiley & Sons, Inc., 2012, pp. 122-139.
- [271] F. P. Sioshansi, *Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed & Efficient Energy*: Academic Press, 2011.
- [272] N. Hadjsaid and J. C. Sabonnadière, *Smart Grids*: Wiley, 2013.

- [273] S. F. Bush, *Smart Grid: Communication-Enabled Intelligence for the Electric Power Grid*: John Wiley & Sons, 2014.
- [274] SBC-EI, *INTRODUCTION TO SMART GRIDS*: SBC Energy Institute, 2015.
- [275] S. Rahman and M. Pipattanasomporn, "Smart grid information Clearinghouse: Overview of projects and deployment experience," in *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), 2011 IEEE PES Conference on*, 2011, pp. 1-7.
- [276] I. Colak, G. Fulli, S. Sagiroglu, M. Yesilbudak, and C.-F. Covrig, "Smart grid projects in Europe: Current status, maturity and future scenarios," *Applied Energy*, vol. 152, pp. 58-70, 2015.
- [277] ***, "Ernst & Young GmbH: Cost-benefit analysis for the comprehensive use of smart metering systems," Federal Ministry of Economics and Technology 2013.
- [278] I. R. Batas Bjelić, I. A. Škokljević, T. Pukšec, G. Krajačić, and N. Duić, "Integrating the flexibility of the average Serbian consumer as a virtual storage option into the planning of energy systems," *Thermal Science*, vol. 18, pp. 743-754, 2014.
- [279] M. Hand, *Renewable electricity futures study*: National Renewable Energy Laboratory, 2012.
- [280] H. Å. Lund and B. V. Mathiesen, "Energy system analysis of 100 % renewable energy systems — The case of Denmark in years 2030 and 2050," *Energy*, vol. 34, pp. 524-531, 2009.
- [281] G. Stadermann, *Energiekonzept 2050: eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien*: FVEE, 2010.
- [282] K. Riedle, D. Martinsen, J. F. Hake, and E. G. Hencke, "Comparison of energy scenarios for the year 2050," *Energieszenarien für das Jahr 2050 im Vergleich*, vol. 63, pp. 50-56, 2011.
- [283] B. Čosić, G. Krajačić, and N. Duić, "A 100% renewable energy system in the year 2050: The case of Macedonia," *Energy*, vol. 48, pp. 80-87, 2012.
- [284] K. Tigas, G. Giannakidis, J. Mantzaris, D. Lalas, N. Sakellaris, C. Nakos, Y. Vougiouklakis, M. Theofilidi, E. Pyrgioti, and A. T. Alexandridis, "Wide scale penetration of renewable electricity in the Greek energy system in view of the European decarbonization targets for 2050," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 158-169, 2015.
- [285] ECF, "Roadmap 2050," 2010.
- [286] B. Čosić, G. Krajačić, N. Markovska, I. Batas Bjelić, N. Rajaković, and N. Duić, "100% Renewable Energy Solutions for Regions: the Case of South East Europe " *Energija, ekologija, ekonomija* vol. 15, pp. 227-235, 2013.
- [287] N. Taso and A. Ranković, "South East Europe 2050 Energy Model," 2015.
- [288] Y. Scholz and N. Gerhardt, "„Leitstudie 2010“," 2010.
- [289] G. Majstrović, D. Bajsić, D. Dobrijević, and T. Martinović, "Preparation for Large Scale Wind Integration in Southeast Europe's Power System," United States Energy Association, Washington, DC 20004 EEE-A-02-00054-00, 2012.
- [290] T. Klaus, C. Vollmer, K. Werner, H. Lehmann, K. Müschen, R. Albert, M. Bade, T. Charissé, R. Herbener, U. Kaulfersch, G. Knoche, K. Kuhnenn, C. Lohse, U. Lorenz, and B. Lünenbürger, "Energy target 2050: 100 % renewable electricity supply," Dessau-Roßlau 2010.
- [291] M. Munasinghe, "Integrated National Energy Planning and Management-Methodology and Application to Sri Lanka," 1988.
- [292] F. Bemmerlein-Lux and I. N. Buss, "CAPACITY DEVELOPMENT NEEDS DIAGNOSTICS FOR RENEWABLE ENERGY – CADRE: Wind and solar energy," Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5 65760 Eschborn 2012.
- [293] K. Westphal. (2013, Die Internationale Energie-Governance: Ein bisschen Kooperation, wenig Kohärenz? Available:

- <http://www.bpb.de/politik/wirtschaft/energiepolitik/155163/die-internationale-energie-governance>
- [294] ***. (2010). *Initial National Communication of the Republic of Serbia under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Available: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/srbnc1.pdf>
- [295] ***, "Intended Nationally Determined Contribution of the Republic of Serbia," 2015.
- [296] J. Urpelainen and T. Van de Graaf, "The International Renewable Energy Agency: a success story in institutional innovation?," *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, vol. 15, pp. 159-177, 2015/05/01 2015.
- [297] H. Chandler. (2011, *Harnessing Variable Renewables*. Available: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Harnessing_Variable_Renewables2011.pdf
- [298] H. Chandler. (2008, *Empowering Variable Renewables - Options for Flexible Electricity Systems*. Available: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Empowering_Variable_Renewables.pdf
- [299] E. E. Indicators, "Fundamentals on Statistics. International Energy Agency, 2014," ed.
- [300] C. Heat, "Power. Evaluating the benefits of greater global investment," *IEA Publication*, 2008.
- [301] S. Kärkkäinen, "Integration of Demand Side Management, Distributed Generation, Renewable Energy Sources and Energy Storages."
- [302] IEA. *World energy outlook*. Available: <http://www.worldenergyoutlook.org/>
- [303] IEA. (2009). *Energy Balance for Serbia*. Available: http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=RS
- [304] IRENA. (2014). *REmap 2030: A Renewable Energy Roadmap* Available: <http://www.irena.org/remap/>
- [305] EC, "Towards a European strategy for the security of energy supply," European Commission, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities2001.
- [306] EC, "A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy," 2006.
- [307] EC. (2010). *Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy*. Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:EN:HTML>
- [308] K. Szulecki and K. Westphal, "The Cardinal Sins of European Energy Policy: Nongovernance in an Uncertain Global Landscape," *Global Policy*, vol. 5, pp. 38-51, 2014.
- [309] EC. (2012). *SERBIA PROGRESS REPORT*. Available: http://ec.europa.eu/enlargement/pdf/key_documents/2012/package/sr_rapport_2012_en.pdf
- [310] EC. (2013). *SERBIA PROGRESS REPORT*. Available: http://ec.europa.eu/enlargement/pdf/key_documents/2013/package/sr_rapport_2013.pdf
- [311] EC. (2011). *SERBIA PROGRESS REPORT*. Available: http://ec.europa.eu/enlargement/pdf/key_documents/2011/package/sr_analytical_rapport_2011_en.pdf
- [312] EC. (2014). *SERBIA PROGRESS REPORT*. Available: http://ec.europa.eu/enlargement/pdf/key_documents/2014/20140108-serbia-progress-report_en.pdf
- [313] A. Macura, "Činjenice o Energetskoj uniji," European Movement in Serbia, Belgrade2015.
- [314] EC. (2015). *Central Eastern and South Eastern European countries join forces to create an integrated gas market*. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/news/central-eastern-and-south-eastern-european-countries-join-forces-create-integrated-gas-market>

- [315] EnC. (2012). *Energy Strategy of the Energy community (10thMC/18/10/2012 - Annex 19/27.07.2012 ed.)*. Available: <http://www.energy-community.org/pls/portal/docs/1810178.PDF>
- [316] EnC, "ENERGY COMMUNITY STRATEGY AND PROJECTS OF ENERGY COMMUNITY INTEREST," 2013.
- [317] IPA, "Study on the Implementation of the New EU Renewable Directive in the Energy Community," 2010.
- [318] S.E.E.C. (2011). *Study on the Potential for Climate Change Combating in Power Generation in the Energy Community*. Available: <http://www.energy-community.org/pls/portal/docs/2526177.PDF>
- [319] ENSI, "Energy Efficiency in Buildings in the Contracting Parties of the Energy Community," 2012.
- [320] S.E.E.C., "Study on the Need for Modernization of Large Combustion Plants in the Energy Community," South East European Consultants PS-339, 2013.
- [321] EnC, "AN ENERGY COMMUNITY FOR THE FUTURE," 2014.
- [322] A. Riley, "Deploying the Energy Incentive: Reinforcing EU Integration in South-East Europe," *CEPS Policy Brief*, 2013.
- [323] RCC, "South East Europe 2020 Strategy," Regional Cooperation Council, Sarajevo2013.
- [324] ***. (2004). *The Energy Law*. Available: http://www.aers.rs/FILES/Zakoni/Zakon%20o%20energetici_84-04.pdf
- [325] ***, "ENERGY LAW," 2014.
- [326] ***. (2005). *The Energy Sector Development Strategy of the Republic of Serbia by 2015*. Available: <http://weg.ge/wp-content/uploads/2013/05/Serbia-energy-strategy-2005-2015.pdf>
- [327] ***. (2015). *Draft Energy Sector Development Strategy of the Republic of Serbia for the period 2025 with projections by 2030 (in Serbian)*. Available: <http://www.parlament.rs/akti/ostala-akta/akta-u-proceduri/akta-u-proceduri.1043.html>
- [328] D. Naj, "Kako razumevati međunarodne sukobe," *Stubovi kulture, Beograd*, 2006.
- [329] F. P. Boon and C. Dieperink, "Local civil society based renewable energy organisations in the Netherlands: Exploring the factors that stimulate their emergence and development," *Energy Policy*, vol. 69, pp. 297-307, 2014.
- [330] S. Đorđević and N. Đereg, *Arhuska konvencija u Republici Srbiji : učešće javnosti u procesu donošenja odluka o životnoj sredini : studije slučaja*. Beograd: Regionalni centar za životnu sredinu za Centralnu i Istočnu Evropu, Kancelarija u Srbiji, 2006.
- [331] I. Stjelja, J. Babić, M. Milenković, M. Popović, and V. Dolapčev, *Demokratija pred izazovom : kako javnost učestvuje u stvaranju politike životne sredine*. Beograd: Beogradska otvorena škola, 2014.
- [332] N. Đereg, Z. K. K. Jović, and I. Apostol, *Obnovljivi izvori energije u Srbiji, preporuke, potencijali i kriterijumi*. Subotica: Centar za ekologiju i održivi razvoj, kancelarija u Subotici, 2008.
- [333] N. Đereg, *Vodič za učešće javnosti u oblastima energetike i klimatskih promena : kod donošenja odluka, njihovog sprovođenja i nadzora nad sprovođenjem*. Beograd Centar za slobodne izbore i demokratiju, 2012.
- [334] M. Drenovak-Ivanović and S. Đorđević, *Praktikum o pravu na pravnu zaštitu u pitanjima životne sredine u upravnom postupku i upravnom sporu*. Beograd: Organizacija za evropsku bezbednost i saradnju, 2014.
- [335] ***. (2015). *TVOJA BIOMASA TVOJA ENERGIJA!* Available: http://rs.boell.org/sites/default/files/tvoja_biomasa-tvoja_energija.pdf
- [336] M. A. Božović Danijela, Pavlović M. Vladimir, Popović Mirko, *Održivo energetske upravljanje na lokalnom nivou : preporuke za unapređenje energetske planiranja u Novom Sadu, Kragujevcu i Aranđelovcu - In Serbian language*. Beograd: Beogradska otvorena škola, 2012.

- [337] A. Мацура, *Транспарентност енергетског одлучивања на локалном нивоу*. Београд: Досије Студио, 2014.
- [338] A. Macura, J. Young, and Z. Kalmar, *Energija na drugi način : studije slučaja - Srbija*. Београд: Фондација Heinrich Böll - Regionalna kancelarija za Jugoistočnu Evropu, 2014.
- [339] B. Budimir, d. V. Međak, and N. Albahari, "VODIČ KROZ PRISTUPANJE SRBIJE EVROPSKOJ UNIJI," International and Security Affairs Centre, Beograd2014.
- [340] REN21, "RENEWABLES 2015 GLOBAL STATUS REPORT," 2015.
- [341] F. Bemmerlein-Lux and I. N. Buss, "CAPACITY DEVELOPMENT NEEDS DIAGNOSTICS FOR RENEWABLE ENERGY – CADRE: Wind and solar energy," Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5 65760 Eschborn2012.
- [342] I. Drakić and J. Kajganović, "Civil society-an important asset in EU accession negotiations in Serbia and Montenegro," C. f. D. Transition, Ed., ed. Podgorica, 2012.
- [343] M. Bobic and R. Bozic. (2012). *Civil Society in the Process of European Integration – from Constructive dialogue to Successful Negotiations*.
- [344] A. Bratkovic, *KNJIGA preporuka Nacionalnog konventa o Evropskoj uniji : 2014/2015*. Београд: Европски покрет у Србији, 2015.
- [345] Д. Марковић, Б. Чеперковић, А. Влајчић, and С. Ресл, "Бела књига електропривреде Србије," ЈП „Електропривреда Србије“2011.
- [346] A. Brnabic, "Serbian Energy and Climate Policy: A Critical Perspective," *SÜDOSTEUROPA Mitteilungen*, vol. 2, 2014.
- [347] A. Yukhananov and V. Volcovici. (2013). *World Bank to limit financing of coal-fired plants*. Available: <http://www.reuters.com/article/2013/07/16/us-worldbank-climate-coal-idUSBRE96F19U20130716>
- [348] C. Weber, "Power plant investments with fuel- and carbon dioxide price uncertainty," in *VDI Berichte*, ed, 2005, pp. 83-102.
- [349] S. V. Obradović and M. Poznatov. (2015, Србија на раскрšчу: енергетика и климатске промене. Available: <http://www.euractiv.rs/odrzivirazvoj/9053srbijanaraskruenergetikaiklimatskepromene.html?tmpl=component&print=1&page=>
- [350] K. Sühlsen and M. Hisschemöller, "Lobbying the ‘Energiewende’. Assessing the effectiveness of strategies to promote the renewable energy business in Germany," *Energy Policy*, vol. 69, pp. 316-325, 2014.
- [351] ***, "НАЦИОНАЛНИ ПРОГРАМ ЗА УСВАЈАЊЕ ПРАВНИХ ТЕКОВИНА ЕВРОПСКЕ УНИЈЕ," Канцеларија за европске интеграције2014.
- [352] J. Minić, "The dynamics and context of regional cooperation in the Western Balkans," *International Issues & Slovak Foreign Policy Affairs*, pp. 21-39, 2013.
- [353] E. Hooper and A. Medvedev, "Electrifying integration: Electricity production and the South East Europe regional energy market," *Utilities Policy*, vol. 17, pp. 24-33, 2009.
- [354] E. Bergasse and A. Kovacevic, *ENERGY IN WESTERN BALKANS - The Path to Reform and Reconstruction*: OECD/IEA, 2008.
- [355] C. Egenhofer, A. Dimitrova, and J. Popov, "Effective Regional Energy Policy Cooperation in South East Europe: A Proposal," Centre for European Policy Studies, Brussels2015.
- [356] B. Ćosić, T. Maršić, G. Krajačić, N. Markovska, I. Batas Bjelić, D.-I. Gota, Z. Hasović, N. Rajaković, and N. Duić, "The Effect of Regionally Integrated Energy Systems on CO2 Emissions Reduction and Wind Integration: the Case of South East Europe," in *6th International conference on sustainable Energy and Environmental Protection*, Maribor, 2013, pp. 161-169.
- [357] J. Stritih. (2013). *Time to Phase Out Dirty Coal in South Eastern Europe*. Available: <http://www.seechangenetwork.org/index.php/publications/time-to-phase-out-dirty-coal-in-south-eastern-europe.html>

- [358] SEEBankwatch. (2013). *Investy in haste, repent at leisure*. Available: <http://bankwatch.org/sites/default/files/SEE-IFI-energy.pdf>
- [359] W. Bank, "South east europe regional gasification study," 2009.
- [360] V. Koritanov and T. D. Veselka, "Modeling the regional electricity network in Southeast Europe," in *Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE*, 2003, pp. 399-404.
- [361] M. Pollitt, "Evaluating the evidence on electricity reform: Lessons for the South East Europe (SEE) market," *Utilities Policy*, vol. 17, pp. 13-23, 2009.
- [362] M. R. Pasimeni, I. Petrosillo, R. Aretano, T. Semeraro, A. De Marco, N. Zaccarelli, and G. Zurlini, "Scales, strategies and actions for effective energy planning: A review," *Energy Policy*, vol. 65, pp. 165-174, 2014.
- [363] I. Batas Bjelic and R. M. Ciric, "Optimal distributed generation planning at a local level – A review of Serbian renewable energy development," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 39, pp. 79-86, 2014.
- [364] V. Mijailović, *Distribuirani izvori energije: principi rada i eksploatacioni aspekti - in Serbian language*. Beograd: Akademska misao, 2011.
- [365] G. D. Clercq. (2013, 26/3/2014). *Analysis: Renewables turn utilities into dinosaurs of the energy world*. Available: <http://www.reuters.com/article/2013/03/08/us-utilities-threat-idUSBRE92709E20130308>
- [366] M. O. Müller, A. Stämpfli, U. Dold, and T. Hammer, "Energy autarky: A conceptual framework for sustainable regional development," *Energy Policy*, vol. 39, pp. 5800-5810, 2011.
- [367] T. Capuder and P. Mancarella, "Techno-economic and environmental modelling and optimization of flexible distributed multi-generation options," *Energy*, vol. 71, pp. 516-533, Jul 15 2014.
- [368] G. Beccuti, T. Demiray, M. Batic, N. Tomasevic, and S. Vranes, "Energy Hub Modelling and Optimisation: An Analytical Case-Study," 2015.
- [369] N. Rajaković, I. Babić, and I. Batas Bjelić, "Development of distributed generation in Serbia caused by price of electricity - in Serbian language," in *CIGRE*, Zlatibor, 2013, pp. 1-8.
- [370] S. Minić, M. Banjac, M. Stamenić, A. Šaranović, and G. Radović, *Uputstvo za izradu lokalnih planova razvoja u oblasti energetike : u okviru projekta "Norveška pomoć energetske politici Republike Srbije u oblasti lokalnog energetskog planiranja"*. Beograd: Grafičko poslovni centar, 2013.
- [371] B. B. Ilija, "Title," unpublished|.
- [372] A. Immendoerfer, M. Winkelmann, and V. Stelzer, *Energy Solutions for Smart Cities and Communities Recommendations for Policy Makers*. Germany, 2014.
- [373] EC, *Energy Solutions for Smart Cities and Communities, Lessons learnt from the 58 pilot cities of the CONCERTO initiative*: European Commission, 2014.
- [374] J. Byrne, J. Taminiau, L. Kurdgelashvili, and K. N. Kim, "A review of the solar city concept and methods to assess rooftop solar electric potential, with an illustrative application to the city of Seoul," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 830-844, 2015.
- [375] R. Ferrara, "The Smart City and the Green Economy in Europe: A Critical Approach," *Energies*, vol. 8, p. 4724, 2015.
- [376] A. Caragliu, C. Del Bo, and P. Nijkamp, "Smart cities in Europe," 2009.
- [377] R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar, R. Kalasek, N. Pichler-Milanovic, and E. Meijers, "Smart cities-Ranking of European medium-sized cities," Vienna University of Technology 2007.
- [378] C. Vázquez-Castañeda and E. Estrada-Guzman, "Towards the preparation of the Guadalajara's SmartCity Metrics Structure," *IEEE Guadalajara Metrics for Smart Cities Working Group* 2014.

- [379] I. Vilajosana, J. Llosa, B. Martinez, M. Domingo-Prieto, A. Angles, and X. Vilajosana, "Bootstrapping smart cities through a self-sustainable model based on big data flows," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 51, pp. 128-134, 2013.
- [380] D. S. Markovic, D. Zivkovic, I. Branovic, R. Popovic, and D. Cvetkovic, "Smart power grid and cloud computing," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 24, pp. 566-577, 2013.
- [381] B. Stojkov, P. Kovačević, S. Vukanović, N. Rajaković, G. Janke, and M. Ivetić, *Urban Challenges of the City of Belgrade*. Beograd: Siemens, 2012.
- [382] C. Henggeler Antunes, Á. Gomes, and M. Biberacher, "GIS-based modeling approach for energy systems," *International Journal of Energy Sector Management*, vol. 2, pp. 368-384, 2008.
- [383] E. Haslauer, M. Biberacher, and T. Blaschke, "GIS-based Backcasting: An innovative method for parameterisation of sustainable spatial planning and resource management," *Futures*, vol. 44, pp. 292-302, 2012.
- [384] M. Rylatt, S. Gadsden, and K. Lomas, "GIS-based decision support for solar energy planning in urban environments," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 25, pp. 579-603, 2001.
- [385] M. Šuri, T. A. Huld, E. D. Dunlop, and H. A. Ossenbrink, "Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries," *Solar Energy*, vol. 81, pp. 1295-1305, 2007.
- [386] J. McIntyre, "Community-scale assessment of rooftop-mounted solar energy potential with meteorological, atlas, and GIS data: a case study of Guelph, Ontario (Canada)," *Energy, Sustainability and Society*, vol. 2, p. 23, 2012.
- [387] Y.-w. Sun, A. Hof, R. Wang, J. Liu, Y.-j. Lin, and D.-w. Yang, "GIS-based approach for potential analysis of solar PV generation at the regional scale: A case study of Fujian Province," *Energy Policy*, vol. 58, pp. 248-259, 2013.
- [388] K. B. Atici, A. B. Simsek, A. Ulucan, and M. U. Tosun, "A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection," *Utilities Policy*, 2015.
- [389] D. Mentis, S. Hermann, M. Howells, M. Welsch, and S. H. Siyal, "Assessing the technical wind energy potential in Africa a GIS-based approach," *Renewable Energy*, vol. 83, pp. 110-125, 2015.
- [390] S. H. Siyal, U. Mortberg, D. Mentis, M. Welsch, I. Babelon, and M. Howells, "Wind energy assessment considering geographic and environmental restrictions in Sweden: A GIS-based approach," *Energy*, vol. 83, pp. 447-461, Apr 1 2015.
- [391] C. Franco, M. Bojesen, J. L. Hougaard, and K. Nielsen, "A fuzzy approach to a multiple criteria and Geographical Information System for decision support on suitable locations for biogas plants," *Applied Energy*, vol. 140, pp. 304-315, 2015.
- [392] M. De Gennaro, E. Paffumi, H. Scholz, and G. Martini, "GIS-driven analysis of e-mobility in urban areas: An evaluation of the impact on the electric energy grid," *Applied Energy*, vol. 124, pp. 94-116, 2014.
- [393] S. Baufumé, F. Grüger, T. Grube, D. Krieg, J. Linssen, M. Weber, J. F. Hake, and D. Stolten, "GIS-based scenario calculations for a nationwide German hydrogen pipeline infrastructure," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 38, pp. 3813-3829, 2013.
- [394] F. McLoughlin, A. Duffy, and M. Conlon, "A clustering approach to domestic electricity load profile characterisation using smart metering data," *Applied Energy*, vol. 141, pp. 190-199, 2015.
- [395] J. STEVIĆ and V. STOJIČIĆ, "PRIMENA GIS TEHNOLOGIJE ZA ANALIZU KOMERCIJALNIH GUBITAKA U MREŽI EDB," in *CIGRE*, Zlatibor, 2015, pp. 1-9.
- [396] N. Fitzgerald, R. Lacal Arántegui, E. McKeogh, and P. Leahy, "A GIS-based model to calculate the potential for transforming conventional hydropower schemes and non-hydro reservoirs to pumped hydropower schemes," *Energy*, vol. 41, pp. 483-490, 2012.

- [397] A. Jochem, B. Höfle, M. Rutzinger, and N. Pfeifer, "Automatic Roof Plane Detection and Analysis in Airborne Lidar Point Clouds for Solar Potential Assessment," *Sensors*, vol. 9, p. 5241, 2009.
- [398] D. A. Jacques, J. Gooding, J. J. Giesekam, A. S. Tomlin, and R. Crook, "Methodology for the assessment of PV capacity over a city region using low-resolution LiDAR data and application to the City of Leeds (UK)," *Applied Energy*, vol. 124, pp. 28-34, 2014.
- [399] USAID, "FINAL REPORT OF THE REGIONAL ENERGY DEMAND PLANNING PROJECT-FUTURE ENERGY SCENARIOS IN SOUTHEAST EUROPE AND THE POTENTIAL FOR ENERGY EFFICIENCY – REGIONAL AND INDIVIDUAL COUNTRY RESULTS FOR SERBIA," 2008.
- [400] H. Auer, B. H. Bakken, J. Linnerud, L. Radulov, K. Zach, and G. Lettner, "Report from the Regional Case Study: Western Balkan Countries (Serbia)," 2010.

Прилог 1. Позивање EnergyPLAN-a и GenOPT-a

1. Позиви из RUN-a

Основна команда за позив EnergyPLAN-a из RUN је:

```
CMD /x/c START "" /D C:\Users\III42009-386\Desktop\_TEZA\Software\EnergyPLAN12\ "energyPLAN.exe" -и Srbija2030.txt -ascii results.txt
```

али може и специфичније, стим што је потребно користити "" када имена фајлова садрже размак:

```
CMD /x/c START "" /D C:\Users\III42009-386\Desktop\_TEZA\Software\EnergyPLAN12\ "energyPLAN.exe" -и "energyPlan Data\Data\Srbija 2030+.txt" -ascii results.txt
```

2. Позиви из командне линије

Основна команда за позив GenOPT-a из командне линије је:

```
/genopt.jar simuliraj.ini
```

3. Позиви из конфигурационог фајла GenOPT-a

Основна команда за позив EnergyPLAN-a из конфигурационог фајла GenOPT-a је:

```
Command = "CMD /x/c START \"%Simulation.Files.Input.Path1%\" /WAIT > \"%Simulation.Files.Log.Path1%/%Simulation.Files.Log.File1%\" /WAIT \"%energyPLAN.exe\" -i \"%Simulation.Files.Input.Path1%/%Simulation.Files.Input.File1%\" -ascii \"%Simulation.Files.Output.Path1%/%Simulation.Files.Output.File1%\" \"\"";
```

Проблем непостојећег фајла извештаја EnergyPLAN-a решава се форсирањем прављења фајла резултата који се онда сачува као фајл извештаја командом:

```
> log.txt
```

уз то је потребно назначити адресу конфигурационог фајла на следећи начин:

```
Configuration {
  File1 = "..\..\..\..\..\cfg\EnergyPlan11Win7.cfg";
```

и снимити конфигурациони фајл на адреси:

```
c:\Users\III42009-386\cfg\
```

како би се остварила спрега.

4. Вишеструки позиви из Task managera

За анализу осетљивости потребно је покренути више сценарија који имају различите претопоставке. Уместо да се ово ради ручно, уводи се вишеструки позиви коришћењем Task managera.

Прилог 2. Поруче о грешкама и елементи оптимизационог задатка

Отклањање грешака у коду GenOPT-а је приметан посао јер не постоји софтверска подршка. Овде је приказано увођење неких елемената оптимизационог задатка а детаљан програмски код са коментарима дат је у Додатку 3.

1. Прекорачење броја цифара

У случају прекорачења броја цифара, када се нпр. урачунају високи трошкови за CO2 јавља се проблем са парсером genopt-а:

```

Error message:
*****

genopt.lang.OptimizerException:
Error in the objective function value:

  The invalid String '      10697 M' was found as the objective function
value.

  Objective function delimiter is 'TOTAL ANNUAL COSTS = '.

GenOpt terminated with error.

```

који се решава раздвајањем укупних трошкова на компоненте уместо и рачунском операцијом сабирање.

```

Optimization terminated with error.

Error message:
*****

genopt.lang.OptimizerException:
Error in the objective function value:

  The invalid String '      676 M' was found as the objective function
value.

  Objective function delimiter is 'Import      = '.

GenOpt terminated with error.

```

2. Очитавање нулте вредности

Када је вредност која се очитава из фајла резултата нула јавља се грешка:

```

Optimization terminated with error.

Error message:

```

```

*****
genopt.lang.OptimizerException:
Error in the objective function value:

  The invalid String '          -' was found as the objective function value.

  Objective function delimiter is 'Total Electricity exchange ='.

GenOpt terminated with error.

```

која се решава тако што се читавају вредности које у збиру имају нулту вредност али су различите од нуле.

3. Позивање EnergyPLAN-a и GenOPT-a

Код позива EnergyPLAN-a из из конфигурационог фајла GenOPT-a командом:

```

Command = "CMD /x/c START "" /D C:\Users\III42009-
386\Desktop\_TEZA\Software\EnergyPLAN12\ "energyPLAN.exe" -i
\%Simulation.Files.Input.File1%\ " -ascii
\%Simulation.Files.Output.File1%\\"";

```

јавља се грешка:

```

Error message:
*****
The filename, directory name, or volume label syntax is incorrect

```

која се решава командом:

```

Command = "CMD /x/c START "\" /D C:\\Users\\III42009-
386\\Desktop\\_TEZA\\Software\\EnergyPLAN12\\ \"energyPLAN.exe\" -i
\%Simulation.Files.Input.File1%\ " -ascii
\%Simulation.Files.Output.File1%\\"\"";

```

само делимично јер се јавља грешка:

```

Error message:
*****
genopt.simulation.SimulationInputException:
Variable was not found in any simulation input template file,
or in any function objects:

Searching for String: '%RES3%'. Cannot find string. '%RES3%' must occur in at
least one simulation input template file, or in at least one function object.
GenOpt terminated with error.

```

јер GenOPT није успео да прочита стринг '%RES3%' у улазном шаблон фајлу. Након отклањања ове грешке GenOPT је позвао EnergyPLAN, направио улазни и излазни симулациони фајл али у директоријуму:

```
c:\Users\III42009-386\Desktop\_TEZA\Software\EnergyPLAN12\tmp-genopt-run-1\
```

па је оптимизација опет прекинута:

```
Optimization terminated with error.

Error message:

*****

genopt.lang.OptimizerException:

File: 'C:\Users\III42009-386\Desktop\_TEZA\Software\EnergyPLAN12\tmp-genopt-
run-1\sim.log' does not exist after simulation call.

Simulation working directory : 'C:\Users\III42009-
386\Desktop\_TEZA\Software\EnergyPLAN12\tmp-genopt-run-1'

Command string          : 'CMD /x/c START "" /D C:\Users\III42009-
386\Desktop\_TEZA\Software\EnergyPLAN12 "C:\Users\III42009-
386\Desktop\_TEZA\Software\EnergyPLAN12\energyPLAN.exe" -i "C:\Users\III42009-
386\Desktop\_TEZA\Software\EnergyPLAN12\Srbija2030.txt" -ascii
"C:\Users\III42009-386\Desktop\_TEZA\Software\EnergyPLAN12\results.txt"'

GenOpt terminated with error.
```

Проблем се отклања са командом:

```
Command = "CMD /x/c START \"%\" /D \"%Simulation.Files.Input.Path1%\" /WAIT >
\"%Simulation.Files.Log.Path1%/\"%Simulation.Files.Log.File1%\" /WAIT
\"energyPLAN.exe\" -i
\"%Simulation.Files.Input.Path1%/\"%Simulation.Files.Input.File1%\" -ascii
\"%Simulation.Files.Output.Path1%/\"%Simulation.Files.Output.File1%\" \"%\";
```

4. Увођење циљева усаглашавања политике кроз функцију пенала и накнадну обрада (post-processing)

Увођење функције пенала у иницијализациони фајл на следећи начин, најпре само за ограничење емисија CO₂:

```
Function1 = "add(%Ctotal%, multiply(pow(%stepNumber%, 4), pow(max(0, %g(x)%),
2)))";
Name1 = "Ccon";
Delimiter2 = "TOTAL ANNUAL COSTS =";
Name2 = "Ctotal";
Function3 = "subtract(%QCO2%, 34)";
Name3 = "g(x)";
```

```
Delimiter4 = "CO2-emission (total)      =";
Name4 = "QCO2";
```

затим за ограничење TPES-а:

```
Delimiter5 = "Fuel Consumption (total)  =";
Name5 = TPES;
Function6 = "subtract(%TPES%, 140)";
Name6 = "gTPES(x)";
```

и на крају за ограничење RES код кога се јавља грешка у парсирању јер се чита само прва цифра за електричне енергије произведене из обновљивих извора:

```
"RES electricity prod.      ="
```

ово се решава индиректним рачунањем:

```
Fuel Consumption (total) =
Fuel(incl.Biomass excl.RES) =

Name8 = ERES;
Function8 = "subtract(%TPES%, %FxRES%, )";

Delimiter7 = "Fuel(incl.Biomass excl.RES) =";
Name7 = FxRES;
Function8 = "add(%BMS%, subtract(%TPES%, %FxRES%))";
Name8 = ERES;
Delimiter10 = "Biomass Consumption      =";
Name10 = BMS;
Function11 = "subtract(multiply(0.27, subtract(125, %savings%)), %ERES%)";
Name11 = "gRES(x)";
```

5. Увођење сложених управљачких променљивих

Када се уводе сложене управљачке променљиве за у EnergyPLAN нпр. величина термоелектране, у случају техничке мере енергетске ефикасности на страни производње:

```
//conventional generation energy efficiency
Parameter {
    Name = newTPPsize;
    Min   = 0; //biramo koliko ce se novih efikasnih tpp graditi na
posojecoj mesavini biomase i lingita
    Ini   = 0;
    Max   = 700;
    Step  = 700;
}
Parameter {
    Name = oldTPPsize;
    Min   = 2000; //biramo koliko ce se najviše starih neefikasnih tpp
gasiti 1A3-6 + 2 Obrenovac + Kostolac 2920, 1A3-4 560
    Ini   = 3936;
    Max   = 3936;
    Step  = 1000;
}
Parameter {
    Name = newCHPsize;
```



```

    Min      = 0; //biramo koliko ce se novih efikasnih CHp graditi
    Ini      = 0;
    Max      = 700;
    Step     = 700;
}
Parameter {
    Name = oldCHPsize;
    Ini   = 350; //biramo koliko ce se starih neefikasnih CHp rusiti
    Step  = 350;
    Min   = 0;
    Max   = 350;
}
Function {
    Name = TPPmin; //minimum TPP input_pp_cap_minimum=
    Function = "add (multiply(%newTPPsize%, 0.3),
multiply(%oldTPPsize%,0.6))";
}
Function {
    Name = PP; // input_cap_pp_el=*
    Function = "add(%newTPPsize%, %oldTPPsize%,%newCHPsize%,%oldCHPsize%)";
}
Function {
    Name = CHP; //input_cap_chp3_el=
    Function = "add(%newCHPsize%,%oldCHPsize%)";
}
Function {
    Name = newTPPeta; // input_eff_pp_el=
    Function = "divide(add (multiply(%newTPPsize%,0.44),
multiply(%oldTPPsize%,0.328)), add (%newTPPsize%, %oldTPPsize%))";
multiply(%newCHPsize%,0.4), multiply(%oldTPPsize%,0.328),
multiply(%oldCHPsize%,0.328)), %PP%)";
}
}

```

6. Промена управљачке стратегије

Промена управљачке стратегије са техничке (Technical optimization) на тржишну (Market optimization) оптимизацију уводи се преко променљиве са именом у улазном фајлу EnergyPLAN-a:

```
Input_Button_Price= New/ No
```

где је New за тржишну а No за техничку оптимизацију и то се наводи у командном фајлу.

7. Увођење додатних трошкова, пред обрада (preprocessing)

Код техничких мера енергетске ефикасности и структурних мера потребно је увести додатне трошкове иначе се ове управљачке променљиве увек бирају.

Најпре се сабирају уштеде:

```
Function9 = "add(%savingsHH%,%savingsDH%)";
Name9 = savings;
```

затим се додатни трошкови пред обрадом уписују у улазни шаблон фајл:

* одговара имену под којим се води у улазном фајлу EnergyPLAN-a

```
input_Inv_Various1=
%invee1%
input_Period_Various1=
%periodee1%
input_FOM_Various1=
%fomee1%
```

где су:

Inv- инвестициони трошкови,
 Period- животни век и
 FOM- фиксни оперативни трошкови мере енергетске ефикасности. Додатно, потребно је у *командном* фајлу увести функцију која рачуна ове трошкове сразмерно обиму примењене мере, множењем са њеним специфичним трошковима:

```
Function{
  Name = invee1;
  Function = "multiply( %savingsHH%, 440 )";
}
```

друга мера са другим трошковима:

```
Function{
  Name = invee2;
  Function = "multiply( %savingsDH%, 840 )";
}
```

8. Увођење мера замене енергената

Мера замена енергената спада у мере сложене за имплементирање. Најпре се усвоје ограничења субституисаног енергента у овом случају угља:

```
Parameter{ // coal switch to biomass
  Name = SwitchCoalBiomass;
  Min = 0;
  Ini = 0;
  Max = 0.5;
  Step = 0.5;
}
```

а затим се рачуна повећање коришћења биомасе:

```
Function{ //additional biomass demand after switch

  Name = DemHHbiomass; //input_fuel_Households[4]=

  Function = "add (11.5137, %SwitchCoalBiomass%)";

}
```

Прилог 3. Програмски код GenOpt-а

GenOpt лиценца о коришћењу:

GenOpt Copyright (c) 1998-2011, The Regents of the University of California, through Lawrence Berkeley National Laboratory (subject to receipt of any required approvals from the U.S. Dept. of Energy). All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
3. Neither the name of the University of California, Lawrence Berkeley National Laboratory, U.S. Dept. of Energy nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT OWNER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

You are under no obligation whatsoever to provide any bug fixes, patches, or upgrades to the features, functionality or performance of the source code ("Enhancements") to anyone; however, if you choose to make your Enhancements available either publicly, or directly to Lawrence Berkeley National Laboratory, without imposing a separate written license agreement for such Enhancements, then you hereby grant the following license: a non-exclusive, royalty-free perpetual license to install, use, modify, prepare derivative works, incorporate into other computer software, distribute, and sublicense such enhancements or derivative works thereof, in binary and source code form.

Copyright Notice

GenOpt Copyright (c) 1998-2011, The Regents of the University of California, through Lawrence Berkeley National Laboratory (subject to receipt of any required approvals from the U.S. Dept. of Energy). All rights reserved.

If you have questions about your rights to use or distribute this software, please contact Berkeley Lab's Technology Transfer Department at TTD@lbl.gov.

NOTICE. This software was developed under partial funding from the U.S. Department of Energy. As such, the U.S. Government has been granted for itself and others acting on its behalf a paid-up, nonexclusive, irrevocable, worldwide license in the Software to reproduce, prepare derivative works, and perform publicly and display publicly. Beginning five (5) years after the date permission to assert copyright is obtained from the U.S. Department of Energy, and subject to any subsequent five (5) year renewals, the U.S. Government is granted for itself and others acting on its behalf a paid-up, nonexclusive, irrevocable, worldwide license in the Software to reproduce, prepare derivative works, distribute copies to the public, perform publicly and display publicly, and to permit others to do so.

1. Иницијализациони фајл

```

/*GenOpt initialization file for
EnergyPLAN11.2 on Windows 7
ilija.batas@gmail.com 4/8/2015
*/
Simulation {
  Files {
    Template {
      File1 = Srbija2030_template.txt;
      Path1 = "..\\..\\..\\Software\\EnergyPLAN112\\S0";
    }
    Input {
      File1 = Srbija2030.txt;
      Path1 = "..\\..\\..\\Software\\EnergyPLAN112\\S0";
      SavePath1 = "d:\\RezultatiGenOPT\\EnergyPLAN112\\S0\\inputs";
    }
    Log {
      File1 = log.txt;
      Path1 = "..\\..\\..\\Software\\EnergyPLAN112\\S0";
    }
    Output {
      File1 = results.txt;
      Path1 = "..\\..\\..\\Software\\EnergyPLAN112\\S0";
      SavePath1 = "d:\\RezultatiGenOPT\\EnergyPLAN112\\S0\\results";
    }
    Configuration {
      File1 =
"..\\..\\..\\..\\..\\..\\_TEZA\\Software\\EnergyPLAN112\\EnergyPlan11Win7.cfg";
    }
  } // end of files
  CallParameter { // optional section
  }
  ObjectiveFunctionLocation

```

```

{
    Function1 = "add(%Ctotal%, 0)"; //stepNumber%
    Name1 = "Ccon";
    Function2 = "add(%Cinvest%, %TVC%, %FOC%)";
    Name2 = "Ctotal";
    //FirstCharacterAt2 = 8811;
    Function3 = "subtract(%QCO2%, 34)"; // 34Mt CO2 iznosi ogranicenje,
    ovako izbegavamo da kupuje i gasi
    Name3 = "gCO2(x)";
    Function4 = "subtract(multiply(0.27, subtract(125, %savings%)),
%ERES%)";
    Name4 = "gRES(x)";
    Function5 = "subtract(%TPES%, 160)"; // treba staviti 140 ali posto nismo
    ukljucili sve slobodne promenljive koje mogu spustiti ustede
    Name5 = "gTPES(x)";
    Delimiter6 = "Fuel Consumption (total)      =";
    Name6 = TPES;
    Function7 = "add(%SheatHHcoal%,%SheatDHIII%,%Selec%, %Sgas%)";
    Name7 = savings;
    Function8 = "add(%BMS%, subtract(%TPES%, %FxRES%))";
    Name8 = ERES;
    Delimiter9 = "Biomass Consumption          =";
    Name9 = BMS;
    Delimiter10 = "Fuel(incl.Biomass excl.RES) =";
    Name10 = FxRES;
    Delimiter11 = "CO2-emission (total)              =";
    Name11 = "QCO2";
    //Function12 = "subtract(%Parameter.coalHH.Max%S, %coalHH%)";
    //Name12 = SAVED;
    Name12 = "Cinvest";
    Delimiter12 = "Annual Investment costs =";
    Name13 = "TVC";
    Delimiter13 = "Total variable costs   =";
    Name14 = "FOC";
    Delimiter14 = "Fixed operation costs =";
    Delimiter15 = "CO2-emission (corrected)   =";
    Name15 = "QCO2cor";
    Delimiter16 = "Fuel Consumption (corrected)=";
    Name16 = "TPEScor";
    Name17 = broj;
    Function17 = "add (%stepNumber%, 0)";
}
} // end of section Simulation
Optimization {
    Files {
        Command {
            File1 = commandScenario2.txt;
            Path1 = "..\\..\\..\\Software\\EnergyPLAN112\\S0";
        }
    }
} // end of configuration file

```

2. Конфигурациони фајл

```

/* GenOpt configuration file for
   EnergyPLAN11.2 on Windows 7
   ilija.batas@gmail.com 4/8/2015
*/

// Error messages of the simulation program.
SimulationError
{

```

```

    ErrorMessage = "*** Fatal ***";
    ErrorMessage = "*** EnergyPlus Terminated--Error(s) Detected";
}

// Number format for writing the simulation input files.
IO
{
    NumberFormat = Double; //mozda treba integer ali ne znam keyword
}

/* Specifying how to start the simulation program.
   In "Command", only those words in %xx% are
   replaced (possibly with empty Strings).
*/
SimulationStart
{
    // The command line below calls
    Command = "CMD /x/c START \"%simuliraj\" /D
\"%Simulation.Files.Input.Path1%\" >
\"%Simulation.Files.Log.Path1%\\%Simulation.Files.Log.File1%\" /B /W
\"energyPLAN.exe\" -i
\"%Simulation.Files.Input.Path1%\\%Simulation.Files.Input.File1%\" -ascii
\"%Simulation.Files.Output.Path1%\\%Simulation.Files.Output.File1%\" \";
    WriteInputFileExtension = true;
}

```

3. Командни фајл

```

/* GenOpt command file for
   EnergyPLAN11.2 on Windows 7
   ilija.batas@gmail.com 4/8/2015
*/
//RES vector [WIND, PV, SHPP]
Vary{
    Parameter{ // increase wind power in MW
        Name    = WIND; //input_RES3_capacity=
        Min     = 0;
        Ini     = 0;
        Max     = 2000;
        Step    = 2000;
        //Values = "500, 1000, 1500";
    }
    Parameter{ // increase PV power in MW
        Name    = PV; //input_RES4_capacity=
        Min     = 0;
        Ini     = 0;
        Max     = 1500;
        Step    = 1500;
        //Values = "500, 1000, 1500";
    }
}

```

```

Parameter{ // increase SHPP power in MW
  Name    = SHPP; //input_RES2_capacity=
  Min     = 0;
  Ini     = 0;
  Max     = 750;
  Step    = 750;
  //Values = "500, 1000, 1500";
}
//EE vector [TS, FS]
//Savings vector
// reduce coal consumption in the household with FS and TS in TWh
Function{
  Name = DheatHHcoal; //demand in heating sector in households in coal
  Function = "subtract(2.53534 ,%SheatHHcoal%)"; //
input_fuel_Households[1]=
}
Function{ //savings in heating sector in household in coal
  Name    = SheatHHcoal;
  Function = "add (%SavingCoalRef%, %SwitchCoalGas%, %SwitchCoalBiomass%)";
}
Parameter{ // saving coal by refurbishment
  Name = SavingCoalRef;
  Min = 0;
  Ini = 0;
  Max = 0.45;
  Step = 0.45;
}
Parameter{ // coal switch to gas
  Name = SwitchCoalGas;
  Min = 0;
  Ini = 0;
  Max = 0.5;
  Step = 0.5;
}
Parameter{ // coal switch to biomass
  Name = SwitchCoalBiomass;
  Min = 0;
  Ini = 0;
  Max = 0.5;
  Step = 0.5;
}
Function{
  Name = CinvEE1; //investment cost for coal savings
}

```

```

    Function = "add (multiply( %SavingCoalRef%, 445 ),multiply(
%SwitchCoalGas%, 149 ),multiply( %SwitchCoalBiomass%, 348))";
}
Function{
    Name = PeriodEE1;
    Function = "30";
}
Function{
    Name = FOMEE1;
    Function = "2";
}
Function{ //additional gas demand after switch
    Name = DemHHgas; //input_fuel_Households[3]=
    Function = "add(4.21006, %SwitchCoalGas%)"; //add to BAU value
}
Function{ //additional biomass demand after switch
    Name = DemHHbiomass; //input_fuel_Households[4]=
    Function = "add (11.5137, %SwitchCoalBiomass%)";
}
// reduce the district heating demand in TWh
Function{
    Name = DheatDHIII; //unosimo iz input_dh_ann_gr3=
    Function = "add (%SwitchEHDH%, subtract(12.9093, %SheatDHIII%))";
//dodaje se elektricno grejanje
}
Function{ //total demand side heat savings
    Name = SheatDHIII;
    Function = "add (%SavingHeatRef%, %SavingHeatNetw%)";
}
Parameter{
    Name = SavingHeatRef; // saving heat by MFH refurbishment
    Min = 0;
    Ini = 0;
    Max = 0.5;
    Step = 0.5;
}
Parameter{ // saving heat by network reconstruction
    Name = SavingHeatNetw;
    Min = 0;
    Ini = 0;
    Max = 1;
    Step = 1;
}
Parameter{ // producing both heat and electricity in TWh by industrial CHP
    Name = IndustrialCHP; //input_cshp_el_gr3= i input_cshp_th_gr3=

```



```

    Min = 0;
    Ini = 0;
    Max = 1;
    Step = 1;
}
Function{ //cost of heat saving measures
    Name = CinvEE2; //input_Inv_Various2=
    Function = "add (multiply( %SavingHeatRef%, 2000 ),multiply(
%SavingHeatNetw%, 1000 ),multiply( %IndustrialCHP%, 1000))";
}
Function{ //reduce the electricity demand in TWh
    Name = Delec; // Input_el_demand_Twh=
    Function = "subtract(45.71013, add(%Selec%, %DemandResponse%))";
}
Function{
    Name = Selec;
    Function = "add (%SwitchEHDH%, %SavingElecCable%)";
}
Function{
    Name = CinvEE3;
    Function = "add (multiply( %SwitchEHDH%, 300 ), multiply(
%SavingElecCable%, 100 ))";
}
Parameter {
    Name = SwitchEHDH;
    Min = 0; //biramo koliko ce TWh elektricnog grejanja preci na
district heating
    Ini = 0;
    Max = 2;
    Step = 2;
}
Parameter { //save electricity by grid uprgade
    Name = SavingElecCable;
    Min = 0; //biramo koliko ce TWh biti smanjena potrosnja elektricne
energije zbog promene preseka kablova
    Ini = 0;
    Max = 1;
    Step = 1;
}
Function{ //to be subtracted from electricity demand for electric heating and
heat pumps in individual sector
    Name = SubstrEHandHP; //Input_El_demand_elec_heating_share=
    Function = "subtract (6.8, %SwitchEHDH%)";
}
//input_HH_EB_heat=

```

```

//
Function{
    Name = DemEH;
    Function = "subtract (2, %SwitchEHDH%)";
}
Parameter { //switch electric to solar water heating
    Name = SwitchElecSolarWH; //input_HH_HP_solar=
    Min    = 0; //biramо koliko ce TWh biti input solarnog grejaca solarnog
    grejaca tople vode da se smanji potrosnja elektricne
    Ini    = 0; //troskovi se dodaju preko inv troskova solarnih kolektora,
    Max    = 2;
    Step   = 2;
}
//flexible demand
Parameter {
    Name = DemandResponse; //input_flexible_day_TWh=
    Min    = 0; //biramо koliko ce TWh biti fleksibilna potrosnja
    elektricne energije na jedan dan
    Ini    = 0; //
    Max    = 2;
    Step   = 2;
}
Function{
    Name = MaxFlexOneDay; //input_flexible_day_max=
    Function = "multiply (172, %DemandResponse%)"; //racunamo koliko ce MW
    biti fleksibilno maksimalno u toku dana ako je jedan TWh/a raspolozivost 2/3
    tokom godine
}
Function{
    Name = CinvFlex; //input_Inv_Various4=
    Function = "multiply( %DemandResponse%, 5)";
}
/*Function{
    Name = OutputFlex;
    Function = "Flexible demand costs"; //Various4Text=
} */
Function{
    Name = PeriodFlex;
    Function = "15";
}
Function{
    Name = FOMFlex;
    Function = "0";
}
// /*EffAppElecHH

```

```

// EffAppHeatHH
// EffEqElecIND*/
//EffEqGasIND savings
Parameter {
    Name = SavingGasInd;
    Min    = 0; //biramо koliko ce TWh biti smanjena potrosnja gasa u
industriji zbog uvodjenja efikasnijih uredjaja equipment
    Ini    = 0;
    Max    = 2;
    Step   = 2;
}
Function{ // save gas in industry
    Name = DemGasIND; //input_fuel_CSHP[3]=
    Function = "subtract(11.52533, %SavingGasInd%)";
}
Function{
    Name = Sgas;
    Function = "add(0, %SavingGasInd%)"; //ovde kasnije dodati i druge
ustede gasa na strani potrosnje po potrebi
}
Function{
    Name = CinvEE4; //input_Inv_Various5=
    Function = "multiply( %SavingGasInd%, 154 )";
}
/*Function{
    Name = OutputEE4; //
    Function = "Efficient gas equipment";
} */
Function{
    Name = PeriodEE4;
    Function = "15";
}
Function{
    Name = FOMEE4;
    Function = "0";
}
//transport
Parameter { //switch diesel to electric car
    Name = ElecPHEVSmart; //input_transport_TWh_V2G=
    Min    = 0; //biramо koliko ce se TWh/a biti korisceno umesto
postojecih dizel 2TWh dizel = 0.6 TWh
    Ini    = 0;
    Max    = 1;
    Step   = 1;
}

```

```

Function{
    Name = DieselDem; // koliko je TWh/a smanjena potrosnja dizela zbog
    prelaska na PHEV
    Function = "subtract (12.6839425, multiply (%ElecPHEVSmart%, 3.333))";
}

Function{
    Name = NoPHEV;
    Function = "multiply (250000,%ElecPHEVSmart%)"; //racuna broj PHEV pp.
    20000 km/PHEV*a, 5 km/KWhel
}

Function{
    Name = CapacityPHEV;
    Function = "multiply (0.0033,%NoPHEV%)"; //racuna kapacitet prikljucka
    za PHEV u MW, pp 3.3 KW/vehicle
}

Function{
    Name = BatteryPHEV;
    Function = "multiply (0.0000024,%NoPHEV%)"; //racuna energiju baterije
    od PHEV, pp. 24 KWh/vehicle
}

Function{
    Name = CinvPHEV;
    Function = "add(multiply (0.5, %CapacityPHEV%), multiply
    (0.0015,%NoPHEV%))"; //15000 Eur/vehicle, //0.5ME/MW of grid extension for
    PHEV connection
}

Function{
    Name = PeriodPHEV;
    Function = "20";
}

Function{
    Name = FOMPHEV;
    Function = "0";
}

//biomass in transport
Parameter { //
    Name = BioDiesel; //Input_BioDieselInput=
    Min    = 0; //biramo koliko ce se TWh/a biodizela iz domace proizvodnje
    oduzeti od uvoznog fosilnog dizela
    Ini    = 0;
    Max    = 2.3;
    Step   = 2.3;
}

Function{ //ovde uracunati troskovi gradnje fabrike!
    Name = CinvBioDiesel;
}

```

```

Function = 0; //"multiply (19.063, %BioDiesel%)" //11.438 ME za 60000
t/a
Function{
    Name = PeriodBioDiesel;
    Function = "50";
}
Function{
    Name = FOMBioDiesel;
    Function = "2";
}
//conventional generation energy efficiency
Parameter {
    Name = newTPPsize;
    Min = 0; //biramo koliko ce se novih efikasnih tpp graditi na
posojecoj mesavini biomase i lingita
    Ini = 0;
    Max = 700;
    Step = 700;
}
Parameter {
    Name = oldTPPsize;
    Min = 2000; //biramo koliko ce se najvise starih neefikasnih tpp
gasiti 1A3-6 + 2 Obrenovac + Kostolac 2920, 1A3-4 560
    Ini = 3936;
    Max = 3936;
    Step = 1000;
}
Parameter {
    Name = newCHPsize;
    Min = 0; //biramo koliko ce se novih efikasnih CHp graditi
    Ini = 0;
    Max = 700;
    Step = 700;
}
Parameter {
    Name = oldCHPsize;
    Ini = 350; //biramo koliko ce se starih neefikasnih CHp rusiti
    Step = 350;
    Min = 0;
    Max = 350;
}
Function {
    Name = TPPmin; //minimum TPP input_pp_cap_minimum=
    Function = "add (multiply(%newTPPsize%, 0.3),
multiply(%oldTPPsize%,0.6))";
}

```

```

}
Function {
    Name = PP; // input_cap_pp_el=
    Function = "add(%newTPPsize%, %oldTPPsize%,%newCHPsize%,%oldCHPsize%)";
}
Function {
    Name = CHP; //input_cap_chp3_el=
    Function = "add(%newCHPsize%,%oldCHPsize%)";
}
Function {
    Name = newTPPeta; // input_eff_pp_el=
    Function = "divide(add (multiply(%newTPPsize%,0.44),
multiply(%oldTPPsize%,0.328)), add (%newTPPsize%, %oldTPPsize%))";
    //Function = "divide(add (multiply(%newTPPsize%,0.44),
multiply(%newCHPsize%,0.4), multiply(%oldTPPsize%,0.328),
multiply(%oldCHPsize%,0.328)), %PP%)";
}

//electricity storage

Parameter {
    Name = StorageP; //input_cap_pump_el= //input_cap_turbine_el= 1330 MW
ili 650 MW
    Ini = 650;
    Max = 1330; //ovde bi trebalo diskretno realizovati ali onda mora
GPSPSOCCHJ algoritam...
    Min = 650;
    Step = 650;
}

Function {
    Name = StorageE;
    Function = "add(152.65, multiply(0.09,%StorageP%))"; //
//input_storage_pump_cap= 270 GWh ili 210 GWh
}

//transmission line capacity

Parameter {
    Name = Transmission; //input_max_imp_exp=
    Min = 3600; //biramo koliko ce se graditi MW novih VN dalekovoda ka
susedima postojećih je 3600 MW
    Ini = 3600;
    Max = 5000;
    Step = 1000;
}

```

```

Function{
    Name = CinvTransmission;
    Function = "multiply (0.13255, %Transmission%)"; // ME/MW za 331 km i
400 E/ MW*km
}
/*Function{
    Name = OutputTransmission; //
    Function = "Transmission cost";
} */
Function{
    Name = PeriodTransmission;
    Function = "50";
}
Function{
    Name = FOMTransmission;
    Function = "1";
}

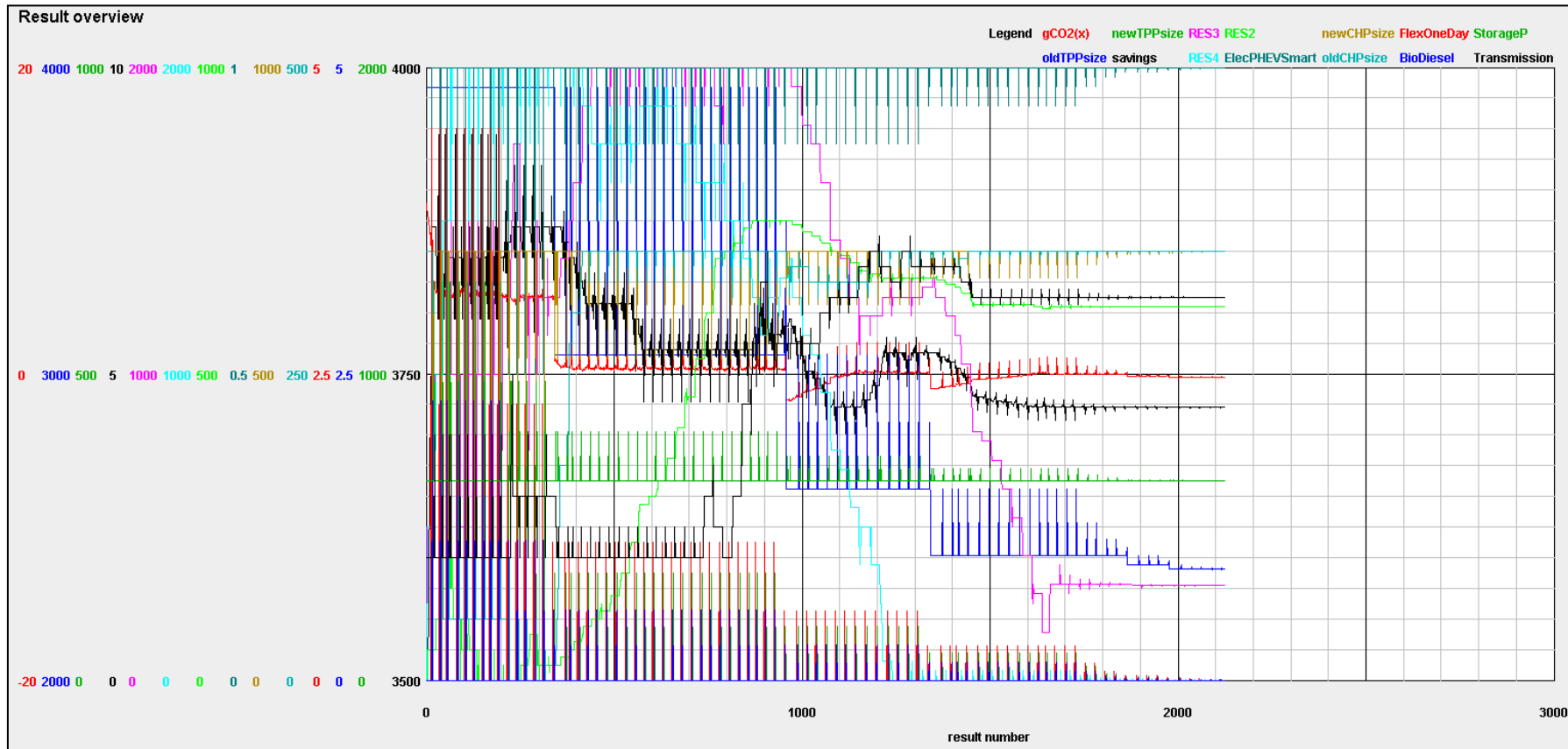
//scenario sensitivity analysis
Function{ Name = multiplication; Function = "0.43"; } //231
input_nordpool_mult_fac= multiplication 1.5
Function{ Name = addprice; Function = "65"; } //237
input_import_bottleneck_addprice_factor= addprice 99

//503 Input_Button_Price= Tech/Market New,
//601 input_Interest= interest 10%
//657 input_Inv_Wind= 1.5 a inace je bilo 1.14
Function{ Name = CO2price; Function = "30"; } //499 input_CO2_price=
CO2price 0-30-50
Function{ Name = ligniteprice; Function = "1.45"; } //427
input_fuel_price[1]= lignite 1.45
Function{ Name = fuelprice; Function = "10.76"; } //429
input_fuel_price[2]= fueloil 10.76
Function{ Name = naturalgasprice; Function = "4.87"; } //431
input_fuel_price[3]= naturalgas 4.87
Function{ Name = biomassprice; Function = "2.66"; } //433
input_fuel_price[4]= biomass 2.66
Function{ Name = petrolprice; Function = "16.2"; } //459
input_fuel_price[6]= petroljetpetrol 16.2
Function{ Name = dieselprice; Function = "14.8"; } //891
input_fuel_price[5]= gasolinediesel 14.8
Function{ Name = LPGprice; Function = "11.27"; } //1307
input_fuel_price[8]= LPG 11.27
Function{ Name = drybiomassprice; Function = "2.5"; } //1187
input_fuel_price[10]= drybiomass 2.5
Function{ Name = wetbiomassprice; Function = "2.5"; } //1189
input_fuel_price[11]= wetbiomass 2.5

```

```
//  
  
}  
  
OptimizationSettings{  
    MaxIte = 6000;  
    MaxEqualResults = 4;  
    WriteStepNumber = true;  
    UnitsOfExecution = 0;  
}  
  
Algorithm{  
    Main = GPSHookeJeeves;  
    //MultiStart = Uniform;  
    //Seed      = 1;  
    //NumberOfInitialPoint = 3;  
    MeshSizeDivider = 2;  
    InitialMeshSizeExponent = 0;  
    MeshSizeExponentIncrement = 1;  
    NumberOfStepReduction = 7;  
}
```


Прилог 4. Изглед екрана GENOPT-а након завршетка оптимизације.



Подаци о аутору:

Илија Батас Бјелић завршио је основну школу у Доњем Милановцу 1997. године. Током основног образовања награђиван је у областима техничко стваралаштво младих, екологија (регионална и републичка награда) и дипломом Вук Караџић. Као ученик средње електротехничку школе Никола Тесла учествовао је на републичком такмичењу из електронике у Новом Саду. Средњу школу завршио је 2001. године са одличним успехом и уписао се на Електротехнички факултет у Београду. Током студија учествовао је у студентском пројекту реализације Белботикс робота и на такмичењу организованом од ИЕЕЕ у Холандији 2006. године. Студије са просеком 7.62 завршио је у октобру 2008. године одбраном дипломског рада под називом „Једна реализација спектрометра на бази ПИЦ24ФЈ микроконтролера“ који је реализован на Институту за физику у Земуну. Војну обавезу обавио је периоду децембар 2008. јун 2009. У периоду од августа 2009. до августа 2010. био је запослен на Институту за Физику у Земуну као инжењер развоја приправник током чега је боравио Немачкој на стручном усавршавању као стипендиста немачке службе за академску размену. Од фебруара 2011. године запослен је на Електротехничком факултету у Београду као истраживач приправник а од 2012. године као истраживач сарадник. Ангажован је на пројекту професора др Николе Рајаковића „**Интелигентне енергетске мреже**“ током чега је објавио двадесет један (21) научни рад и боравио као гостујући истраживач, стипендиста немачке службе за академску размену на Фраунхоферовом институту у Карлсруеу. Од 2012. године је истраживач сарадник у јединици за енергетику истраживачког форума Европског покрета у Србији и члан од 2013 године. Члан је националног конвента о Европској унији у радној групи за енергетику од 2014. године. Говори енглески и немачки језик. Ожењен је и отац је једног детета.

Изјава о ауторству

Потписани-а Илија Батас-Бјелић

број индекса 5055/10

Изјављујем

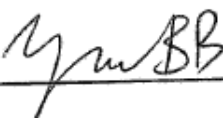
да је докторска дисертација под насловом

"Спрегнута метода за оптимално планирање одрживих енергетских система на бази симулација"

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

Потпис докторанда

У Београду, 28. септембар 2015



Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Илија Батас-Бјелић

Број индекса: 5055/10

Студијски програм: Електроенергетске мреже и системи

Наслов рада: Спрегнута метода за оптимално планирање одрживих енергетских система на бази симулација

Ментор: др Никола Рајаковић, проф.

Потписани: Илија Батас-Бјелић

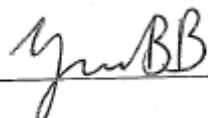
Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

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

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

Потпис докторанда

У Београду, 28. септембар 2015



Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Спрегнута метода за оптимално планирање одрживих енергетских система на бази симулација

која је моје ауторско дело.

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

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, среда, 7. октобар 2015

