

UNIVERZITET U BEOGRADU
EKONOMSKI FAKULTET

Nemanja M. Backović

ENERGETSKA EFIKASNOST
I MEHANIZMI PODRŠKE ZA OBNOVLJIVE
IZVORE ENERGIJE

Doktorska disertacija

Beograd, 2022.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ECONOMICS

Nemanja M. Backović

ENERGY EFFICIENCY AND SUPPORT
MECHANISMS FOR RENEWABLE ENERGY
SOURCES

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2022

Mentor:

Prof. dr Miomir Jakšić

Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Članovi komisije:

Prof. dr Aleksandra Praščević

Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Prof. dr Dejan Molnar

Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Prof. dr Bojan Ilić

Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu

Prof. dr Milan Martić

Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu

Datum odbrane: _____

Izražavam najiskreniju zahvalnost Mentoru i članovima Komisije na velikoj pomoći i podršci u toku rada na ovoj doktorskoj disertaciji.

„The scarcest resource is not oil, metals, clean air, capital, labor or technology. It is our willingness to listen to each other and learn from each other and to seek the truth rather than seek to be right.“ – Donella Meadows

ENERGETSKA EFIKASNOST

I MEHANIZMI PODRŠKE ZA OBNOVLJIVE IZVORE ENERGIJE

REZIME

Predmet istraživanja doktorske disertacije predstavlja teorijska i empirijska analiza sa ciljem projekcije energetske efikasnosti i uticaja mehanizama podrške za obnovljive izvore energije na primeru razvoja energetike Republike Srbije za vremenski period od 2011. do 2050. godine. Osnovni cilj istraživanja jeste ispitivanje mogućnosti razvoja energetike Republike Srbije primenom metode scenarija. U skladu sa tim, za potrebe istraživanja kreiran je energetski model zasnovan na četiri alternativna scenarija.

Empirijsko istraživanje u okviru disertacije odnosi se na primenu savremenih pristupa energetskom modeliranju i optimizaciji, sa posebnim osvrtom ka *bottom-up* („odozdo ka gore“) metodološkom okviru za kreiranje modela sektora energetike. Prva celina doktorske disertacije sastoji se od sistematizacije literature iz uže naučne oblasti ekonomike energetike, teorijskog doprinosa izučavanju navedene oblasti i pregleda novih koncepata za potrebe energetsko modeliranje. Predstavljeni teorijski okvir služi kao osnova za postavku istraživačkih hipoteza. Pored analize relevantne naučne literature, aktuelna energetska regulativa i definisana strategija razvoja energetike na nacionalnom nivou doprinele su kreiranju energetskog modela na primeru Republike Srbije sa dugoročnim projekcijama do 2050. godine. Odabir LEAP modela za empirijsku analizu omogućio je sveobuhvatno sagledavanje implikacija razvoja energetike na ekonomski rast i održivo poslovanje energetskih subjekata. Za potrebe modeliranja i optimizacije energetskog sektora svi značajni faktori koji mogu uticati na energetiku Republike Srbije su uzeti u obzir i ispitani su alternativni pravci razvoja sektora.

Rezultati istraživanja na osnovu sedam posmatranih pokazatelja ukazuju na zaključak da bi ostvarenje alternativnih scenarija umerenog i intenzivnog korišćenja obnovljivih izvora energije uticalo na poboljšanje energetske efikasnosti u Republici Srbiji. Ekonomska opravdanost mehanizama podrške za obnovljive izvore energije posmatrana je kroz podsticaj veće upotrebe „zelene“ energije, stvaranje uslova za smanjenje emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte i uticaj na društvene troškove proistekle iz sektora energetike. Kod ovih scenarija rezultati ukazuju na poboljšanje energetske efikasnosti privrede, posmatrano kroz promene u ukupnom energetskom intenzitetu. Do rasta energetske efikasnosti došlo bi i kod korigovanog scenarija državnih mera energetske efikasnosti. Suprotno od toga, u slučaju realizacije referentnog scenarija ostvario bi se pad ukupne energetske efikasnosti do 2050. godine. Na osnovu dobijenih rezultata o projekciji razvoja energetike Republike Srbije, potvrđene su istraživačke hipoteze o smanjenju eksternih troškova u sektoru energetike za alternativne scenarije veće upotrebe efikasnih tehnologija, uz redukovanje ukupnih troškova rada elektrana. Obavljena su testiranja dveju opcija za scenario intenzivnog korišćenja obnovljivih izvora energije, na osnovu kojih je zaključeno da navedeni izvori energije ne bi mogli u potpunosti zameniti upotrebu fosilnih goriva u Republici Srbiji do 2050. godine, uz pretpostavku da postoji stabilnost energetskih sistema i da je očuvana energetska bezbednost.

Ključne reči: energetska efikasnost, mehanizmi podrške, obnovljivi izvori energije, energetsko modeliranje, razvoj energetike, metoda scenarija, Republika Srbija.

Naučna oblast: Ekonomske nauke

Uža naučna oblast: Ekonomika energetike

JEL klasifikacija: C63, Q41, Q42, Q43, Q47

UDK broj: 502.171:620.9(497.11)(043.3)

ENERGY EFFICIENCY AND SUPPORT MECHANISMS FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES

ABSTRACT

The subject of the research of this doctoral dissertation is a theoretical and empirical analysis with the aim of projecting energy efficiency and the impact of support mechanisms for renewable energy sources on the example of the development of energy in the Republic of Serbia for the time period from 2011 to 2050. The main goal of the research is to examine the possibility of energy sector development of the Republic of Serbia, using the scenario method. Accordingly, an energy model based on four alternative scenarios was created for research purposes.

Empirical research within the dissertation refers to the application of modern approaches to energy modeling and optimization, with a special focus on the bottom-up methodological framework for creating models of the energy sector. The first part of the doctoral dissertation consists of the systematization of the literature related to the scientific subfield of energy economics, the theoretical contribution to the study of the mentioned field and the review of new concepts for the needs of energy modeling. The presented theoretical framework serves as a basis for setting up research hypotheses. In addition to the analysis of the relevant scientific literature, the current energy regulations and the defined energy development strategy at the national level contributed to the creation of an energy model based on the example of the Republic of Serbia with long-term projections until the year 2050. The selection of the LEAP model for empirical analysis enabled a comprehensive overview of the implications of energy development on economic growth and sustainable operations of energy entities. For the purposes of modeling and optimization of the energy sector, all significant factors that can affect the energy sector of the Republic of Serbia were considered and alternative directions for the sector's development were examined.

The research results, based on the seven observed indicators, point to the conclusion that the realization of alternative scenarios of moderate and intensive use of renewable energy sources would affect the improvement of energy efficiency in the Republic of Serbia. The economic justification of the support mechanisms for renewable energy sources was observed through the encouragement of greater use of "green" energy, the creation of conditions for reducing the emission of harmful gases with the greenhouse effect, and the impact on social costs arising from the energy sector. In these scenarios, the results indicate an improvement in the energy efficiency of the economy, viewed through changes in total energy intensity. An increase in energy efficiency would also occur in the corrected scenario of state energy efficiency measures. On the contrary, in the case of the implementation of the reference scenario, a decline in total energy efficiency would occur by 2050. Based on the obtained results on the projection of the energy development of the Republic of Serbia, the research hypotheses on the reduction of external costs in the energy sector for alternative scenarios of greater use of efficient technologies, while reducing the total operating costs of power plants, were confirmed. Testing of two options for the scenario of intensive use of renewable energy sources was carried out, based on which it was concluded that the mentioned energy sources could not completely replace the use of fossil fuels in the Republic of Serbia until 2050, assuming there is an existence of stability of energy systems and preservation of energy security.

Keywords: Energy Efficiency, Support Mechanisms, Renewable Energy Sources, Energy Modeling, Energy Development, Scenario Method, Republic of Serbia.

Scientific field: Economic sciences

Scientific subfield: Energy Economics

JEL classification: C63, Q41, Q42, Q43, Q47

UDC number: 502.171:620.9(497.11)(043.3)

SADRŽAJ

1 UVOD	1
2. POJAM I KARAKTERISTIKE EKONOMIKE ENERGETIKE	8
2.1 Teorijske pretpostavke ekonomike energetike.....	8
2.2 Pojam ekonomike energetike kroz istoriju razvoja ekonomske misli.....	12
2.2.1 Uloga energetike u teoriji klasične ekonomske misli	14
2.2.2 Afirmacija energetike od strane neoklasične škole ekonomije	18
2.2.3 Kritika neoklasicizma i razvoj neoenergetike	21
2.3 Uticaj prve naftne krize na razvoj ekonomike energetike.....	23
2.4 Energetska efikasnost i njene implikacije za ekonomiku energetike.....	26
2.5 Osnova uloge zakona termodinamike u oblasti ekonomike energetike	27
3 ENERGETSKO MODELIRANJE	32
3.1 Klasifikacija energetske modele	32
3.2 Podela energetske modele prema analitičkom pristupu.....	39
3.2.1 <i>Top-down</i> („odozgo na dole“) energetske modele.....	42
3.2.2 <i>Bottom-up</i> („odozdo na gore“) energetske modele.....	43
3.2.3 Hibridni energetske modele	48
4 KONCEPTUALNI OKVIR ZA ISTRAŽIVANJE ENERGETSKOG SEKTORA REPUBLIKE SRBIJE PUTEM METODE SCENARIJA	52
4.1 Metoda scenarija	52
4.2 Opis modele LEAP	53
4.2.1 Potencijal globalnog zagrevanja od energetske sektora – GWP (<i>The Global Warming Potential</i>)	59
4.2.2 Baza podataka TED (<i>The Technology & Environmental Database</i>)	59
4.2.3 Softverske rešenja modele LEAP za optimizaciju scenarija razvoja energetike	61
4.2.3.1 Primena programa OSeMOSYS za optimizaciju modele	61
4.2.3.2 Primena programa NEMO za optimizaciju modele.....	61
4.2.4 Algoritam LEAP modele	62
4.2.5 Obračun troškova u okviru LEAP modele	64
4.2.5.1 Analiza troškova smanjenja negativnih uticaja na životnu sredinu u modelu LEAP (MACC – Marginal Abatement Cost Curve).....	65
4.3 Primena LEAP modele u naučnoj i stručnoj literaturi	67
5 POSTAVKA SCENARIJA ZA PROJEKCIJU RAZVOJA ENERGETIKE REPUBLIKE SRBIJE DO 2050. GODINE.....	74
5.1 Kapaciteti za proizvodnju, prenos i distribuciju energije u Republici Srbiji	74
5.2 Nacionalne institucije od posebnog značaja za energetske sektor Republike Srbije.....	75
5.3 Raspoloživi tehnički potencijal obnovljivih izvora energije Republike Srbije.....	78

5.4 Prikupljanje podataka za potrebe empirijskog istraživanja.....	80
5.4.1 Pregled postupka prikupljanja podataka za LEAP model	80
5.4.2 Opis uzorka kompanija – povlašćenih proizvođača energije	82
5.4.3 Mehanizmi podrške za obnovljive izvore energije.....	83
5.5 Opis scenarija.....	85
5.6 Ključne pretpostavke modela.....	88
5.6.1 Bruto domaći proizvod	88
5.6.2 Ukupno stanovništvo Republike Srbije	89
5.7 Podešavanje parametara za četiri alternativna scenarija	90
5.8 Validacija modela	94
6 EMPIRIJSKI NALAZI ALTERNATIVNIH SCENARIJA MODELA	97
6.1 Projekcija finalne potrošnje energije za energetske i neenergetske svrhe u Republici Srbiji..	97
6.2 Simulacija energetskih tokova upotrebom Sankijevog dijagrama.....	107
6.3 Proizvodnja energije transformacijom	112
6.4 Utrošak za proizvodnju energije	126
6.5 Procena iznosa neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji do 2050. godine.....	128
6.5.1 Testiranje SCOIE2 scenarija – opcije proporcionalan kapacitet OIE	130
6.5.2 Testiranje SCOIE2 scenarija – opcije pun kapacitet OIE.....	131
6.6 Projekcije emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte iz sektora energetike	133
6.6.1 Emisija ugljen-dioksida iz energetskog sektora	136
6.7 Prognoza proizvodnje primarne energije u Republici Srbiji.....	137
6.8 Procena dinamike troškova iz sektora energetike	141
6.8.1 Projekcije troškova negativnih eksternalija emitovanih iz energetskog sektora	141
6.8.2 Projekcije troškova rada elektrana.....	146
6.9 Pretpostavke o potrebnim investicijama u sektoru energetike.....	147
6.9.1 Neto sadašnja vrednost scenarija i ukupna emisija GHG gasova.....	151
6.9.2 Uticaj mehanizma podrške za obnovljive izvore energije na kretanje troškova proizvodnje energije transformacijom.....	152
6.10 Ispitivanje odnosa između ključnih pretpostavki modela	154
7 ZAKLJUČAK	158
7.1 Zaključna razmatranja.....	158
7.2 Teorijski doprinos disertacije i praktične implikacije istraživanja	167
7.3 Dalji pravci istraživanja	169
LITERATURA.....	171
PRILOZI	192
PRILOG 1: Projekcija finalne potrošnje energije za energetske i neenergetske svrhe u Republici Srbiji do 2050. godine.....	193
PRILOG 2: Projekcija proizvodnje energije transformacijom u Republici Srbiji do 2050. godine	208

PRILOG 3: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji do 2050. godine	211
PRILOG 4: Projekcija neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji do 2050. godine .	219
PRILOG 4.1: Testiranje opcije SCOIE2 scenarija: proporcionalan kapacitet OIE	219
PRILOG 4.2: Testiranje opcije SCOIE2 scenarija: pun kapacitet OIE	222
PRILOG 5: Projekcija kretanja potencijala globalnog zagrevanja iz sektora energetike Republike Srbije do 2050. godine	224
PRILOG 6: Prognoza proizvodnje primarne energije u Republici Srbiji do 2050. godine	240
PRILOG 7: Projekcija troškova i koristi sektora energetike Republike Srbije do 2050. godine.	244
PRILOG 8: Projekcija energetske bilansa Republike Srbije za period do 2050. godine	245
SPISAK TABELA	282
SPISAK SLIKA	286

SPISAK SKRAĆENICA

ABC	Optimizacija kolonijom pčela (eng. <i>The Artificial bee colony</i>)
ACO	Optimizacija kolonije mrava (eng. <i>The ant colony optimization</i>)
AD EMS	Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije“
AERS	Agencija za energetiku Republike Srbije
AF	<i>Alternative Fuels</i>
ANN	Veštačka neuronska mreža (eng. <i>Artificial Neural Network</i>)
ARIMA	Autoregresioni model pokretnih proseka (eng. <i>Autoregressive integrated moving average models</i>)
BDP	Bruto domaći proizvod
CGE	<i>Computable General Equilibrium</i>
CIMS	<i>The Canadian Integrated Modelling System</i>
CREST	<i>Cost of Renewable Energy Spreadsheet Tool</i>
CUF	Faktor iskorišćenosti kapaciteta (eng. <i>Capacity Utilization Factor</i>)
DART	<i>Dynamic Applied Regional Trade Model</i>
DEA	Analiza obavljanja podataka (eng. <i>Data Envelopment Analysis</i>)
DSM	<i>Demand and Storage-Side Management</i>
EES	<i>Engineer-equation-solver</i>
EFOM	<i>The Energy Flow Optimization Model</i>
EIA	<i>U.S. Energy Information Administration</i>
EOM	<i>Energy Optimization and Mitigation</i>
EROI	Povraćaj energije na ulaganje (eng. <i>Energy Return on Investment</i>)
EU	Evropska unija
GA	<i>Genetic Algorithm</i>
GHG	Gasovi sa efektom staklene bašte (eng. <i>Greenhouse Gases</i>)
GM	<i>Grey Model</i>
GWh	Gigavat sati (eng. <i>Gigawatt hours</i>)
GWP	Potencijal globalnog zagrevanja od energetskeg sektora (eng. <i>The Global Warming Potential</i>)
IAEE	Međunarodno udruženje za ekonomiku energetike (eng. <i>International Association for Energy Economics</i>)
IBC	<i>Integrated Benefits Calculator</i>
IEA	Međunarodna agencija za energetiku (eng. <i>International Energy Agency</i>)
IFIAS	<i>International Federation of Institutes for Advanced Study</i>

INDC	Nameravani nacionalno određeni doprinosi smanjenju emisije gasova sa efektom staklene bašte (eng. <i>Intended National Determined Contributions</i>)
IPAT	Prošireni identitet posmatranja uticaja aktivnosti na životnu sredinu
IPCC	Međunarodni panel za klimatske promene (eng. <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
IRENA	Međunarodna agencija za obnovljivu energiju (eng. <i>International Renewable Energy Agency</i>)
JP EPS	Javno preduzeće „Elektroprivreda Srbije“
LEAP	<i>Low Emissions Analysis Platform</i>
LPG	Tečni naftni gas (eng. <i>Liquefied Petroleum Gas</i>)
MACC	Kriva graničnog troška smanjenja negativnih eksternalija (eng. <i>Marginal Abatement Cost Curve</i>)
MARKAL	<i>Market Allocation</i>
MESAP	<i>Modular Energy System Analysis and Planning Environment</i>
MESSAGE	<i>Model of Energy Supply Systems and their General Environmental Impact</i>
MIDAS	<i>Modelling Inventory and Knowledge Management System of the European Commission</i>
MW	Megavat (eng. <i>Megawatt</i>)
MWh	Megavat sati (eng. <i>Megawatt hours</i>)
NEMO	<i>Next Energy Modeling system for Optimization</i>
OIE	Obnovljivi izvori energije
OSeMOSYS	<i>The Open Source energy MOdelling SYstem</i>
PSO	Optimizacija rojem čestica (eng. <i>Particle swarm optimization</i>)
REF	Referentni scenario
SARIMA	<i>Seasonal autoregressive integrated moving average models</i>
SCEE	Scenario državnih mera energetske efikasnosti
SCOIE1	Scenario umerenog korišćenja obnovljivih izvora energije
SCOIE2	Scenario intenzivnog korišćenja obnovljivih izvora energije
SGM	<i>Second Generation Model</i>
SVR	Regresija pomoću metode potpornih vektora (eng. <i>Support Vector Regression</i>)
TED	<i>Technology and Environmental Database</i>
TEN	Tona ekvivalentne nafte
TIMES	<i>The Integrated MARKAL-EFOM1 System</i>
TJ	Teradžul (eng. <i>Terajoule</i>)
UNFCCC	Okvirna konvencija Ujedinjenih nacija o klimatskim promenama (eng. <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)
WACC	ponderisana prosečna cena kapitala (eng. <i>Weighted average cost of capital</i>)
WEAP	<i>Water Evaluation and Planning System</i>

PREVOD TERMINA IZ LEAP MODELA SA ENGLESKOG NA SRPSKI JEZIK

1) Terminologija u okviru LEAP modela na engleskom jeziku

<i>Capital Cost</i>	Kapitalni troškovi
<i>Disaggregated data</i>	Sistem razvrstanih podataka
<i>Dispatch Rule</i>	Pravilo otpremanja energije
<i>Dispatchable</i>	Mogućnost otpremanja energije
<i>Endogenous Capacity</i>	Endogeni kapacitet
<i>Exogenous Capacity</i>	Egzogeni kapacitet
<i>Feedstock Fuel Share</i>	Udeo vrste goriva u utrošku za proizvodnju energije
<i>First Simulation Year</i>	Prva godina simulacije modela
<i>Historical Production</i>	Proizvodnja energije u prethodnom periodu
<i>Key Assumptions</i>	Ključne pretpostavke
<i>Lifetime</i>	Radni vek elektrane
<i>Maximum Availability</i>	Maksimalna dostupnost
<i>Merit Order Effect</i>	Redosled rangiranja dostupne energije
<i>Minimum Utilization</i>	Minimalno korišćenje izvora energije
<i>Module Cost Balance</i>	Bilans uspeha modula
<i>Planning Reserve Margin</i>	Margina planiranih rezervi energije
<i>Process Efficiency</i>	Procesna efikasnost elektrane
<i>Rebound effect</i>	Povratni efekat
<i>Salvage Value</i>	Neto vrednost procesa na kraju radnog veka
<i>Stranded Cost</i>	Preostali troškovi od prethodnih procesa
<i>System Peak Load Shape</i>	Kriva najvišeg opterećenja sistema
<i>Variable OM Cost</i>	Varijabilni operativni i troškovi održavanja

2) Oblici energije navedeni na engleskom jeziku u okviru LEAP modela

<i>Biogas</i>	Biogas
<i>Biomass</i>	Biomasa
<i>Bitumen</i>	Bitumen
<i>Charcoal</i>	Drveni ugalj
<i>Coal Anthracite</i>	Antracit
<i>Coal Bituminous</i>	Bitumenozni ugalj

<i>Coal Lignite</i>	Lignit
<i>Coal Sub bituminous</i>	Sub-bitumenozni ugalj
<i>Coal Unspecified</i>	Ugalj – ostali proizvodi
<i>Diesel</i>	Dizel
<i>Electricity</i>	Električna energija
<i>Gasoline</i>	Bezolovni, olovni i avionski benzin
<i>Geothermal</i>	Geotermalna energija
<i>Heat</i>	Toplotna energija
<i>Industrial Waste</i>	Industrijski otpad
<i>Jet Kerosene</i>	Gorivo za mlazne motore kerozinskog tipa
<i>Liquefied Petroleum Gas</i>	Tečni naftni gas
<i>Lubricants</i>	Maziva
<i>Naphtha</i>	Nafta
<i>Natural Gas</i>	Prirodni gas
<i>Oil</i>	Ostali proizvodi – derivati nafte
<i>Petroleum Coke</i>	Naftni koks
<i>Residual Fuel Oil</i>	Ulje za loženje (mazut)
<i>Solar</i>	Solarna energija
<i>Wind</i>	Vetroenergija
<i>Wood</i>	Drvena goriva

1 UVOD

Savremeni pristupi naučne oblasti ekonomike energetike usmereni su posebno ka istraživanju mogućnosti poboljšanja energetske efikasnosti i pratećih mehanizama podrške za novije tehnologije proizvodnje energije. Upotreba obnovljivih izvora energije aktuelna je tema sa aspekta ekonomske analize održivog razvoja sektora energetike i stabilnog snabdevanja energijom u uslovima energetske tranzicije ili neravnoteže na elektroenergetskom tržištu. Prilikom ispitivanja uzročnika ostvarenog ekonomskog rasta zemalja u razvoju posebno je značajno sa aspekta energetike utvrditi energetske intenzitet i potencijal dekarbonizacije energetske sistema. Brojna istraživanja posvećena su razmatranju alternativnih pravaca korišćenja izvora energije i na koji način bi ostvarenje projekcija moglo uticati na druge industrijske sektore i na ukupna privredna kretanja. Opasnost od globalnog zagrevanja, visokih troškova ekoloških eksternalija i emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte učinile su ovu oblast još važnijom za kreiranje održivih energetske strategije. Pored navedenog, racionalizacija potrošnje energije i odabir izvora iz koga će se energija proizvesti postali su prioriteti prema novoj regulativi energetske politike, što čini ekonomsku analizu oblasti energetike potrebnijom nego ikada pre. Shodno tome, ova doktorska disertacija predstavlja istraživanje iz oblasti ekonomike energetike primenom savremenog metodološkog pristupa istraživanju energetske efikasnosti i mehanizama podrške za obnovljive izvore energije.

Aktuelnost teme istraživanja se u naučnoj literaturi ogleda kroz pronalazak naprednih rešenja za modeliranje i optimizaciju energetike sa ciljem projekcije razvoja energetske sistema za unapred definisani vremenski period. Do sada je publikovan veliki broj knjiga, monografija i radova na ovu temu, s tim da je najveći broj naučnih dela objavljen u poslednje tri decenije. Složeni programski jezici nalaze svoju primenu u ekonomskoj analizi i pomažu u pronalasku odgovarajućih rešenja za modeliranje, tako da su primetne brojne nove inovacije u postupku kreiranja energetske modela. Važno je i praćenje navedenog razvoja u odnosu na očekivani ekonomski rast i međuzavisnost između finalne potrošnje energije i ključnih ekonomskih indikatora. Specifični pristupi modeliranju energetske sistema pružaju mogućnost sagledavanja makroekonomskih i mikroekonomskih implikacija za sektor energetike na globalnom, nacionalnom ili regionalnom nivou. Značaj istraživanja problematike rasta energetske efikasnosti je evidentna sa ekonomskog stanovišta budućih energetske tokova. O navedenom svedoči i činjenica da više ne postoji strateško planiranje sektora energetike na nacionalnom nivou bez adekvatne upotrebe energetske modela i ekonomske analize istih. I supranacionalne institucije daju značajan doprinos ovoj oblasti, kao što je to primer sa METIS modelom koji je Evropska komisija razvila za potrebe simulacije energetske sistema Evropske unije (Chammas et al., 2017). U skladu sa navedenim, područje istraživanja doktorske disertacije obuhvata sektor energetike Republike Srbije i dugoročne projekcije energetske sistema primenom metode scenarije uzimajući u obzir trenutna ograničenja sistema, kao i potencijalne šanse koje se mogu iskoristiti u kontekstu eksploatacije novih izvora energije i revitalizacije postojećih tehnologija.

U uslovima rastuće kompleksnosti energetske sistema, nedostataka regulativne politike energetske bezbednosti, nestabilnosti snabdevanja energijom, visokog potencijala proširenja uticaja svetske energetske krize i mnogih drugih izazova, savremena ekonomika energetike zahteva sve naprednije modele za realnu procenu budućih kretanja u sektoru energetike. Da bi se tekuće nepravilnosti sistema efikasno otklonile, neophodan je metodološki okvir koji bi realno mogao da isprati složene tokove korišćenja raznih tehnologija za eksploataciju izvora energije. Taj zadatak je dosta otežan u toku stalnih promena i mogućnosti nastanka energetske šoka iz eksternog okruženja, zbog čega se kreatori energetske politike posebno oslanjaju na analizu racionalnog vođenja ekonomske i socijalne politike. Isto tako, analitičari iz oblasti ekonomike energetike moraju usavršiti svoja znanja i prilagoditi ih softverskim rešenjima za sistemsku interpretaciju na bazi unosa ekonomskih indikatora.

Interesovanje naučnika za užu naučnu oblast ekonomike energetike prvi put je zvanično zabeleženo tokom sedamdesetih godina dvadesetog veka, a posebno nakon prve naftne krize 1974. godine. Tada je uočena preka potreba za razmatranjem ekonomske strane analize multidisciplinarne oblasti energetike. Danas je posmatranje tekućih trendova u sektoru energetike i budućih projekcija sistema nezamislivo bez detaljnih ekonomskih ispitivanja i ekonomske procene korišćenja oblika energije. Poseban strateški značaj ima upotreba obnovljivih izvora energije, te se stoga definisanje optimalnog mehanizma podrške pomenutim izvorima posmatra kroz prizmu njihove ekonomske isplativosti, a u kontekstu uvođenja efikasnih tehnologija i smanjenja ukupnih negativnih eksternalija.

Predmet istraživanja doktorske disertacije je, u širem kontekstu, ispitivanje energetske efikasnosti i značaja primene mehanizama podrške obnovljivim izvorima energije (dalje u tekstu se pominje i kroz akronim: OIE) za sektor energetike kroz razvoj adekvatnog modela za dugoročnu projekciju korišćenja obnovljivih izvora energije na primeru Republike Srbije. Model će biti predložen sa aspekta racionalizacije potrošnje električne energije, odnosa između privrednog rasta i projektovane finalne potrošnje energije, održivog poslovanja privrednih subjekata – aktivnih učesnika na elektroenergetskom tržištu, troškovne efikasnosti elektrana, analize troškova i koristi upotrebe novih tehnologija proizvodnje energije, kao i sa aspekta uticaja modela na poslovanje definisanih interesnih grupa energetskog sektora. Imajući u vidu važnost podsticajnih mehanizama OIE za održivi razvoj energetskog sistema, deo rada u okviru disertacije odnosiće se na ispitivanje ekonomske opravdanosti mehanizma podrške, to jest podsticajnih otkupnih cena za povlašćene i privremeno povlašćene proizvođače energije. Značajan je i teorijski osvrt o nastanku uže oblasti ekonomike energetike, o daljim pravcima razvoja i implikacijama uticaja korišćenja OIE na održive energetske strategije. Posebna pažnja biće posvećena ekonomskoj analizi poboljšanja energetske efikasnosti u okviru energetskog sistema na osnovu četiri definisana alternativna scenarija.

Podsticajni mehanizmi za upotrebu obnovljivih izvora energije predstavljaju podršku Vlade države i nadležnih regulatornih agencija istraživanju i razvoju navedene oblasti, kao i ekonomičnom načinu korišćenja ograničenih i neograničenih izvora energije, uz pretpostavku njihove tehničke i ekonomske isplativosti (Burger et al., 2014). Kako bi se adekvatno primenili, potrebno je uvesti principe samostalnosti i odgovornosti regulatornih tela u energetskom sektoru. Štaviše, u najvišim pravnim aktima države neophodno je uključiti ciljeve regulatornih tela kao što su usmeravanje tržišnog razvoja na osnovama efektivne konkurencije i nediskriminacije, kao i promovisanje adekvatne primene podsticajnih mehanizama sa ciljem obezbeđenja regularnog snabdevanja dobara i usluga potrošačima u energetskom sektoru (Jakšić & Jakšić, 2011).

Mehanizmi podrške za obnovljive izvore energije se mogu značajno razlikovati po osnovu njihovog ciljnog područja, seta merljivih ciljeva, očekivanih autputa, kvalitativnih i kvantitativnih karakteristika. Potrebno je razmotriti da li su mehanizmi postavljeni na bazi obavezujućih političkih kvota, ili su definisani na osnovu tržišnih uslova i potencijala konkurentnosti tržišnih učesnika. Shodno tome, određuje se i koncept mehanizma u fazi studije izvodljivosti projekta OIE. Okvir instrumenta podrške bi trebalo da potvrdi pretpostavke specifičnosti ciljeva, ograničenja implementacije, ali i da omogući evaluaciju u slučaju nastanka alternativnih odstupanja od očekivanih rezultata. Samim tim postavka koncepta mora uzeti u obzir isplativost podsticaja, održivost investicije, energetske efikasnosti, sigurnost snabdevanja električnom energijom i konkurentnost mehanizma na međunarodnom nivou (Iychettira et al., 2017). Za njihovu primenu, bitno je istaći da se podsticaji uglavnom razlikuju u zavisnosti od toga na koji način stimulišu potražnju za električnom energijom: formiranjem cena za OIE ili definisanjem procentualnog učešća OIE u ukupnoj proizvodnji električne energije (Schallenberg-Rodriguez, 2014). Ukoliko se želi postići visok udeo OIE u ukupnoj proizvodnji električne energije, istraživanja pokazuju (Özdemir et al., 2019) da su subvencije često efikasnije ukoliko su definisane prema MWh (megavat-satu) rada elektrana od mehanizama definisanih na osnovu kapaciteta elektrana izraženih u megavatima.

U prošlosti, za pouzdanost sistema i zadovoljenje potražnje korišćeni su isključivo konvencionalni izvori energije. Danas, sa rastućom potrebom za smanjenjem štetnih gasova i negativnih eksternalija proizvodnje, obnovljivi izvori energije predstavljaju neizostavan faktor savremene energetske tranzicije i uvećanja energetske efikasnosti, te je evidentno da se taj trend najverovatnije neće menjati. Konkretno, brojni autori su mišljenja da bi održiva energetika trebalo da se zasniva na: niskoj ili nultoj emisiji ugljen-dioksida, eliminaciji negativnih ekoloških uticaja, uvećanju bezbednosti energetskog tranzita, smanjenju troškova proizvodnje električne energije i poboljšanju korišćenja „zelenih“ tehnologija (Vidadili et al., 2017). Primetno je i da je trend primene podsticajnih mehanizama za OIE poslednjih godina pozitivan. U većini ekonomski razvijenih zemalja je počev od 2013. godine inoviran standardni pristup *feed-in* tarifa, tako da su usvojeni novi pristupi regulativa kao što su to *feed-in* premije, kvote, sistemi aukcija/tendera i drugi (European Environment Agency, 2017). Posledično, 2021. godine kapacitet korišćenja OIE u svetu je porastao za 8% i četvrtu godinu za redom je iznad rasta kapaciteta upotrebe fosilnih goriva i nuklearne energije (IEA, 2021). Iste godine zabeležen je i porast globalnih investicija u OIE od 6,5% u odnosu na 2020. godinu i dostignut je rekordan iznos od 366 milijardi američkih dolara (Bloomberg, 2022). Sa druge strane, varijetet proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i njihov ograničeni period eksploatacije (CUF – *Capacity Utilization Factor*) ukazuju na to da se podsticaji moraju prilagoditi prirodi izvora energije i sezonskom proizvodnom potencijalu, kako bi se ekonomski opravdala njihova upotreba (Yang et al., 2012). Distributivni efekti mehanizama podrške na razne poslovne interesne grupe imaju centralnu ulogu u kreiranju procesa podrške, posebno sa aspekta institucionalnog konteksta i podrške rastu energetske efikasnosti (Grösche & Schröder, 2014). Važan faktor za istraživanje adekvatnog podsticaja jeste i upravljanje rizikom projekata OIE, pri čemu određeni autori tvrde da se suština formiranja mehanizma podsticaja zapravo svodi na izbor metode alokacije rizika za projekte OIE (Gross et al., 2007).

Cilj istraživanja doktorske disertacije je da se definiše model dugoročne projekcije razvoja energetike Republike Srbije sa primenom mera energetske efikasnosti i mehanizma podrške za obnovljive izvore energije. Istraživanje će obuhvatiti i testiranje ekonomske opravdanosti formirane strukture mehanizma podrške za OIE i kako se ono odražava na energetske sistem u celosti. Očekuje se da će istraživanje dati odgovor na pitanje da li bi realizacija određenog alternativnog scenarija doprinela razvoju održivosti energetskog sistema i poboljšanju energetske efikasnosti. Analiza makroekonomske efikasnosti biće osnova za izlaganje efekata primene modela na investiciona kretanja, stabilnost sistema za proizvodnju energije, energetske efikasnost proizvodnih postrojenja, rok povraćaja investicije, kao i za druge elemente energetike sa aspekta ekonomskog rasta. Simulacija energetske efikasnosti tehnologija i njihovog uticaja na obim investicija biće posebno razmatrane na primeru Republike Srbije putem metode dugoročnih scenarija, kako bi se time ispitao i uticaj modela na potencijal daljeg korišćenja OIE od strane energetske subjekata.

Fokus istraživanja je modeliranje i optimizacija energetskog sistema sa aspekta rasta energetske efikasnosti i značaja veće upotrebe obnovljivih izvora energije za tržište energenata Republike Srbije. Novi sistem podrške bi trebalo da uzme u obzir i kontekst budućih trendova razvoja portfolia energetskog snabdevanja, što će biti razmatrano prilikom projektovanja scenarija efekata modela za energetske sektor. Važan je i potencijal indirektnog uticaja modela na ekonomski rast, to jest kauzalni odnos predloženog sistema podrške i ključnih varijabli privrednog rasta, koji je posmatran u skladu sa trenutnim makroekonomskim i mikroekonomskim prilikama na nacionalnom nivou. Opseg istraživanja modela će obuhvatiti mogućnosti razvoja energetske efikasnosti u kontekstu projekcije ostvarivanja održive strategije energetike do 2050. godine. Rezultati istraživanja bi trebalo da ukažu na značaj predloženog modela mehanizama podrške OIE za energetske efikasnost i dalji razvoj obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji.

Originalnost doktorske disertacije i njen naučni značaj sastoje se od teorijskih i praktičnih implikacija za razvoj naučne oblasti ekonomike energetike. Teorijski značaj disertacije ogleda se kroz

usmeravanje ekonomske analize sektora energetike i energetske sistema ka primeni tehnike *bottom-up* modeliranja procesa, koja daje mogućnost istraživanja ponašanja energetskih subjekata, upotrebe korišćenih tehnologija i aktivnosti svih pojedinačnih učesnika na elektroenergetskom tržištu. Istraživanje obuhvata i energetske sektor u celini, tako da je fokus na naprednim instrumentima za modeliranje i optimizaciju sistema. Posmatrano sa aspekta teorije iz oblasti ekonomike energetike, izradom disertacije se daje doprinos za specifični pristup modeliranju i ekonomskoj analizi kojom se razmatraju različite opcije upotrebe izvora energije uz premise hibridnog karaktera modela.

Značaj doktorske disertacije za praksu u domenu ekonomike energetike pokazan je kreiranjem četiri alternativna scenarija za razvoj sektora energetike Republike Srbije za vremenski period od 2011. do 2050. godine (dva korigovana scenarija na bazi postojećih, državnih scenarija koji su definisani za period do 2030. godine i dva u potpunosti samostalno definisana alternativna scenarija). Upotrebom novih alata i jedinstvenim pristupom stvaranju energetskog modela disertacija otvara prostor za nove diskusije i nove pravce istraživanja ove oblasti. Koliko je autoru poznato, ovakav pristup modeliranju uz testiranje različitih opcija upotrebe izvora energije nije realizovan na primeru Republike Srbije. Činjenica da su alternativni scenariji korišćenja obnovljivih izvora energije kreirani samostalno i u skladu sa realističnom prognozom razvoja energetike potvrđuje originalnost rada. Praktičan značaj dobijenih empirijskih rezultata relevantan je i iz ugla kreiranja novih strategija razvoja energetika na dugi rok, kao i za dalju ekonomsku analizu korišćenja novih, efikasnih tehnologija proizvodnje energije. Novina u istraživanju jeste način na koji je model kreiran i tehnika kojom se analiziraju sistemi i podsistemi energetskog sektora, uz ocenu efekata mehanizma podrške obnovljivim izvorima energije i energetske efikasnosti kvantitativnom metodom.

Na osnovu dostupne literature, postavljenih ciljeva istraživanja i analize dobijenih rezultata sledeće hipoteze će biti naučno potvrđene ili oborene:

Hipoteza 1: Realizovanje alternativnih scenarija modela i korišćenje obnovljivih izvora energije u okviru alternativnih scenarija bi poboljšalo energetske efikasnosti u sektoru energetike Republike Srbije.

Objašnjenje: Dosadašnja empirijska ispitivanja ostvarila su znatan pomak u pogledu primenjene metodologije za modeliranje i optimizaciju energetskih sistema sa ciljem objektivne i realistične procene daljih energetskih kretanja na dugi rok. Kompleksnost i multidisciplinarnost istraživanja energetske efikasnosti zahtevaju precizno definisanje ključnih pretpostavki modela i pažljivo tumačenje dobijenih rezultata. Za potrebe potvrde ili obaranja navedene hipoteze koristiće se primarno LEAP instrument energetskog modeliranja i optimizacije. Kreirani model zasnovan na četiri alternativna scenarija projekcije razvoja sektora energetike Republike Srbije do 2050. godine biće sveobuhvatan model, kako bi se sproveda adekvatna ekonomska analiza sektora. Dosledno tome, za proveru energetskog intenziteta sistema, kao i odnosa između ekonomskih i demografskih indikatora, biće primenjen poseban pristup dekompozicije izveštaja prema IPAT/Kaya standardu. Time bi se utvrdila međuzavisnost indikatora na nivou svakog alternativnog scenarija pojedinačno. Dodatno, projekcije modela uz primenu analize vremenskih serija proverice ekonomsku opravdanost upotrebe novih tehnologija. Energetska efikasnost posmatraće se i kroz redukovanje emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte i sa njima povezanih ukupnih troškova. S obzirom da se radi o *bottom-up* ili „odozdo ka gore“ energetskom modeliranju, omogućeno je ispitivanje individualne efikasnosti korišćenih tehnologija proizvodnje energije. Formirano je sedam pokazatelja kako bi se testirala navedena hipoteza. Da bi se proverile mogućnosti korišćenja obnovljivih izvora energije i njihovog uticaja na poboljšanje energetske efikasnosti, uzorak kompanija – povlašćenih i privremeno povlašćenih proizvođača energije biće uključen na osnovu podataka iz registra Ministarstva rudarstva i energetike, za stanje na dan 17.06.2022. godine. Dalje projekcije ukupne instalisane snage obnovljivih izvora energije utvrđene su na bazi raspoloživih tehničkih potencijala i trenutne upotrebljene snage. Takođe, stavke mehanizma podrške obnovljivim izvorima energije i podsticajne

otkupne cene za proizvodnju energije unete su u model. Poboljšanje energetske efikasnosti posmatra se kao prioritet istraživanja s obzirom na očekivani doprinos za bezbednost i održivi rast energetskog sistema, tako da se hipoteza broj jedan ispituje na nivou celoga modela.

Za potrebe testiranja hipoteze prikupljeni su zvanični podaci od Republičkog zavoda za statistiku, Ministarstva rudarstva i energetike, Agencije za energetiku Republike Srbije, Ministarstva zaštite životne sredine.

Hipoteza 2: Realizovanje referentnog scenarija bi uticalo na pad energetske efikasnosti u sektoru energetike Republike Srbije za posmatrani vremenski period.

Objašnjenje: Nadovezujući se na metodologiju istraživanja koja je primenjena za proveru prethodne, prve hipoteze, biće ispitana i hipoteza o uticaju realizovanja referentnog scenarija na energetske efikasnosti sektora energetike. Pomenuti scenario prilagođen je potrebama modeliranja za vremenski period od 2030. do 2050. godine, dok je za period koji prethodi 2030. godini dizajniran prema podacima dostupnim u okviru izveštaja o strategiji razvoja energetike Republike Srbije. Potvrda ili obaranje ove hipoteze daće dodatno na značaju ispitivanju potencijala poboljšanja energetske efikasnosti. Imajući u vidu da je u pitanju isto polje istraživanja kao i u slučaju prve hipoteze, posmatraće se isti pokazatelj i kvantitativnom metodom će se izvršiti poređenje dobijenih rezultata.

Hipoteza 3: Mehanizam podrške za obnovljive izvore energije je ekonomski opravdan za posmatrani vremenski period.

Objašnjenje: U naučnoj literaturi postoje različite diskusije o svrsishodnosti mehanizama podrške obnovljivim izvorima energije, njihovom trajanju i ukupnoj ekonomskoj isplativosti po privredu zemlje. Brojne debate postavljaju pitanje da li su mehanizmi podrške i dalje neophodni i u kojoj meri, s obzirom na rastuću troškovnu efikasnost tehnologija upotrebe ovih izvora energije. Sistemi podrške su se znatno promenili, te se fokus pomerio od *feed-in* tarifa ka aukcijskom mehanizmu za podsticajne otkupne cene. Važni su i zeleni sertifikati, zatim portfolio obnovljive energije, šema ciljnog nivoa korišćenja obnovljivih izvora energije i mnoge druge inicijative podsticaja upotrebe zelene energije. Različiti interesi po pitanju postavljanja gornje granice nivoa podsticajnih otkupnih cena čine ključno pitanje i podstiču njihovu integraciju u model. Za povlašćene i privremeno povlašćene proizvođače energije, ovi mehanizmi često čine presudni element za donošenje investicionih odluka. Nesumnjivo je da je upotreba OIE od primarnog značaja za dekarbonizaciju energetskih sistema, s tim da je za potrebe utvrđivanja realnih troškova i koristi za celokupno društvo neophodno istražiti i koliki teret bi podnela država preuzimanjem ovih obaveza na dugi rok. Zato je važno ispitati njihovu zastupljenost kroz okvir ukupnih ekonomskih beneficija. Bitno je napomenuti da se postavljenom hipotezom razmatra ekonomska opravdanost, a ne ekonomska isplativost jer će rezultati finansijske koristi biti evidentni tek na dugi rok, u zavisnosti od investicione klime i ukupnog iznosa investicija u ovom sektoru. Za potrebe potvrde ili obaranja ove hipoteze, korišćeni su sekundarni podaci prikupljeni od zvaničnih izvora Agencije za energetiku Republike Srbije.

Hipoteza 4: Razvijeni alternativni scenariji će smanjiti eksterne troškove u sektoru energetike uz visok nivo troškovne efikasnosti tehnologija za korišćenje obnovljivih izvora energije.

Objašnjenje: Problem ubrzanog rasta eksternih troškova od negativnih eksternalija iz proizvodnje energije jedan je od glavnih razloga za nastanak naučne oblasti ekonomike energetike 1970tih godina. Prema direktivama Evropske unije stabilnost snabdevanja energije ne zasniva se samo na neometanom procesu rada elektrana i procesnoj efikasnosti proizvodnih postrojenja, već na sve strožijim kriterijumima ispunjenja ekoloških zahteva za održivu proizvodnju energenata. Projekcije razvoja energetskog sistema nisu celovite bez procene eksternih troškova na dugi rok. Samim tim, provera hipoteze neophodna je sa stanovišta ekonomske analize sektora energetike i opravdanosti

upotrebe novih tehnologije u pogledu rasta društvenog blagostanja. Za potrebe detaljnog ispitivanja eksternih troškova poželjno je odabrati *bottom-up* model za stratejsko planiranje u okviru sektora energetike, jer ova tehnika ispunjava kriterijume detaljne provere funkcionalnosti i efikasnosti individualnih tehnologija. Tim povodom, utvrđeno je da LEAP model ispunjava uslove s obzirom da, između ostalog, ima integrisani sistem za obračun troškova pod nazivom *MACC - Marginal Abatement Cost Curve* metod, kao i bilans troškova modula sistema. Takođe, model daje mogućnost modeliranja i primene specifičnih metoda koje korisnik zada u skladu sa potrebama prikaza energetskeg sistema.

Struktura disertacije sastoji se od devet logički povezanih teorijskih i metodoloških celina, koje se međusobno dopunjuju kako bi se dobila adekvatna struktura za pretpostavke i tvrdnje o naučnoj podoblasti, kao i jasan sled prezentovanih empirijskih saznanja.

Prvi deo doktorske disertacije čini uvod u kome je opisana tema, predmet i cilj istraživanja doktorske disertacije, hipoteze koje su testirane kroz istraživanje, kao i pregled sadržaja po poglavljima.

Drugi deo doktorske disertacije odnosi se na definisanje pojma i karakteristika ekonomike energetike u širem teorijskom smislu. U okviru ovog poglavlja biće prikazan pregled istorijskog razvoja ekonomike energetike kroz ekonomsku misao, mišljenja relevantnih autora iz oblasti ekonomskih nauka i objašnjenje o poimanju naučne podoblasti ekonomike energetike. Razmotriće se uloga energetike u klasičnoj i neoklasičnoj ekonomskoj teoriji, povezanost ekonomike energetike sa drugim oblastima, multidisciplinarnost navedene podoblasti, ključni razlozi nastanka i afirmacija od strane istaknutih autora. Predstavljeni su i savremeni pristupi iz ekonomike energetike, uz fokus na implikacijama za dalja poboljšanja energetske efikasnosti i sveukupne održivosti sektora energetike.

Treći deo doktorske disertacije tiče se teorijskih i aplikativnih saznanja o savremenom modeliranju energetskeg sistema. U ovom delu objašnjene su osnovne podvrste energetskeg modela, njihov značaj i ključne razlike. Detaljno je elaboriran potencijal upotrebe određene vrste modela, specifikacije modeliranja i opcije za optimizaciju. Pomenuti deo doktorske disertacije je ujedno i uvod za objašnjenje tematike odabranog *bottom-up* („odozdo ka gore“) energetskeg modela, naučne opravdanosti i mogućnosti opsega istraživanja. Upoređeni su i konkretni energetske modeli, tehnika programiranja, metodološki okvir, vremenski raspon istraživanja, kao i argumenti za i protiv posmatranih modela.

Četvrti deo doktorske disertacije posvećen je objašnjenju odabranog modela za projekciju razvoja energetskeg sistema Republike Srbije, pod nazivom LEAP (*Low Emissions Analysis Platform*, prvobitan naziv modela glasio je *Long-Range Energy Alternatives Planning System*) (Heaps, 2002). Kroz pregled osnovnih stavki ukazano je na relevantnost i opravdanost modela za sprovedeno naučno istraživanje. Sagledana je kompleksnost modela, kako bi se potvrdila njegova naučna zasnovanost i tehnička mogućnost da obuhvati ispitivanje svih elemenata energetskeg sistema Republike Srbije, sa ciljem realističkog prikaza projekcije razvoja sektora energetike. Pošto se radi o *bottom-up* energetskeg modeliranju, data je prilika za istraživanjem makroekonomskih efekata strategije razvoja energetike, kao i značaja upotrebe novih tehnologija proizvodnje energije na mikroekonomskom nivou, to jest na nivou poslovanja energetskeg subjekata.

Peti deo doktorske disertacije prikazuje pregled trenutnog stanja energetskeg sektora Republike Srbije. Navedeni su ključni kapaciteti za proizvodnju, prenos i distribuciju energije, njihova trenutna raspoloživost, kao i struktura i specifičnosti poslovanja nacionalnih institucija od posebnog značaja za sektor energetike Republike Srbije. Istaknuti su raspoloživi tehnički potencijali obnovljivih izvora energije. Pored navedenog, opisana je postavka scenarija modela i razlike između njih kroz tekstualni deo i ilustracije. Potom su definisane i ključne pretpostavke modela, koje se zasnivaju na prognozama ekonomskih i demografskih kretanja. Takođe, objašnjen je postupak podešavanja parametara za

alternativne scenarije, koji je od velikog značaja za kreiranje modela projekcije razvoja energetike. Izvršena je validacija modela kako bi se ukazalo na adekvatnost LEAP instrumenta za sprovođenje empirijskog istraživanja.

Šesti deo doktorske disertacije obuhvata empirijske nalaze dobijene po osnovu samostalno kreiranog modela u okviru LEAP-a putem primene metode scenarija na primeru analize četiri alternativna scenarija. Metodologija je međusobno povezana i dopunjuje se, a modelom se mogu primeniti različite metode i tehnike istraživanja, u zavisnosti od posmatrane podkategorije energetskog sektora. Ispitani su ključni elementi za projekciju razvoja sektora energetike na dugi vremenski rok. Kvantitativna evaulacija modela doprinela je objektivnom rasuđivanju o potvrdi ili obaranju predloženih hipoteza doktorske disertacije.

Sedmi deo doktorske disertacije predstavlja zaključna razmatranja po osnovu dobijenih rezultata, do kojih se došlo kreiranjem energetskog modela na nivou Republike Srbije. Pored tumačenja rezultata i njihovog značaja za projekciju razvoja energetskog sektora, u ovom poglavlju predstavljen je naučni i praktični doprinos sprovedenog istraživanja za naučnu podoblast *Ekonomika energetike*. Validacijom, testiranjem i optimizacijom modela dobijeni su merodavni rezultati koji su sagledani iz perspektive projekcije na bazi alternativnih scenarija budućnosti sektora energetike Republike Srbije.

Osmi deo doktorske disertacije odnosi se na relevantnu domaću i inostranu literaturu koja je korišćena i navedena u postupku pisanja disertacije i tokom sprovedenog naučnog istraživanja.

Deveti deo doktorske disertacije daje detaljan prikaz priloga dobijenih modeliranjem energetskog sektora na dugi rok. S obzirom na obimnost istraživanja, prilozi daju sažet pregled svih rezultata, usklađenih prema potrebama formata disertacije. Navedene su i projekcije energetskih bilansa Republike Srbije za period od 2025. do 2050. godine, na nivou od svakih pet godina.

2. POJAM I KARAKTERISTIKE EKONOMIKE ENERGETIKE

2.1 Teorijske pretpostavke ekonomike energetike

Savremeni pristupi upravljanju energetske sistemima XXI veka sve više zahtevaju naprednu ekonomsku analizu elektroenergetskog sektora i njegovog uticaja na uvećanje energetske efikasnosti. Kako bi se ukazalo na potrebu za održivim energetske postrojenjima, ekonomska misao ima za cilj da opiše nove izazove i prepreke u nastojanju da se izvori energije učine efikasnim, održivim i isplativim. Trendovi rasta energetske kompanija u eri nezaustavljivih klimatskih promena i negativnih eksternalija proizvodnje električne energije daju za pravo da se očekuje još veća važnost ekonomskih istraživanja energetske tokova. Nova regulativa i uredbe pažnju usmeravaju ka zaštiti životne sredine i poboljšanom korišćenju obnovljivih izvora energije, uz ispitivanje varijeteta efikasnosti upotrebe brojnih oblika energenata. Važan je i osvrt ka inicijalnoj fazi razvoja energetske projekata, kako bi se adekvatno pripremio proces održivosti finansiranja, a samim tim i uspešna realizacija studije izvodljivosti projekta.

Za razumevanje koncepta energetske efikasnosti i njenog značaja za ekonomiku energetike prvo bi se trebalo osvrnuti ka genezi nastanka navedene naučne oblasti i sažetom pregledu upotrebe termina *ekonomika energetike* i *energetska efikasnost*. Dostupna akademska literatura nije usvojila opšte prihvaćenu definiciju za naučnu oblast *ekonomike energetike*, pa je i precizniji opis svih aktivnosti od kojih se sastoji izazov za istraživače. Kako bi se u uvodnom razmatranju dostupne naučne literature bolje razumela naučna oblast koja je predmet istraživanja disertacije, od važnosti je da se navedu njene ključne ekonomske karakteristike i poimanje energetike u ekonomskom smislu.

Energetika je oblast privrede koja se bavi istraživanjem načina racionalne proizvodnje, transmisije i potrošnje energenata na bazi analize efikasne iskorišćenosti ograničenih prirodnih resursa. Reč energija potiče od grčke reči *energeia* (sjedinenjem dveju reči *en* - u, u okviru i *ergon* - rad) koju je u javnom nastupu prvi koristio filozof Aristotel tokom IV veka pre nove ere. Njena upotreba u naučne svrhe prvi put je zabeležena 1807. godine od strane Tomas Janga, koji je pojasnio da se termin energija „može primeniti na proizvod mase ili težine tela u kvadrat broja koji izražava njegovu brzinu” (Young, 1807, str. 78). Energija je skalarna veličina koja se ne može direktno posmatrati i analizirati, ali se može beležiti i proceniti indirektnim merenjima. Shodno tome, apsolutnu vrednost energije je teško izmeriti, dok je promena energija jednostavno merljiva kategorija naučne procene (Dincer & Rosen, 2007a). U opštem smislu, energija se može opisati i kao sposobnost da se realizuje određena aktivnost kroz različite oblike energije, kao što su: toplotna, svetlosna, električna, kinetička, hemijska i gravitaciona energija (EIA - U.S. Energy Information Administration, 2022). Bez energije, nije moguće obaviti nijednu ekonomsku aktivnost, tako da je energija presudan faktor proizvodnje, slično radu, dok same disrupcije u upotrebi energije mogu naneti ogromnu štetu ekonomiji i društvu u celini (Zweifel et al., 2017). Istorijski posmatrano, upotreba energije kroz evoluciju čovečanstva može se podeliti u dve velike epohe: prva epoha odnosi se na period počev od 5-7 miliona godina pre nastanka ljudske vrste pa sve do ranog modernog doba (do otprilike XVI veka) i druga epoha, tačnije epoha novije istorije ubrzane potrošnje energije u poslednjih 500 godina. Principi upotrebe energije za oba pomenuta razdoblja su isti, s tim da su se izvori energije i njen uticaj na životnu sredinu u velikoj meri izmenili (Malanima, 2014).

„Energetika je nauka koja izučava prirodu, zakonitosti, vrste i izvore energije, tehniku i ekonomiju njihovog iskorišćavanja, transformacije, upotrebe, distribucije i potrošnje“ (Jakšić et al., 2010, str. 190). Definicija obuhvatanja oblasti i podoblasti energetike je, može se reći, ustaljena u naučnom smislu, s tim da upotrebna definicija energije i njeno egzaktno objašnjenje u velikoj meri izostaju iz literature. Kao što je i Robert Romer primetio u svom istaknutom delu *Energy: An Introduction to*

Physics, možemo videti efekte energije, možemo je izmeriti, ali da pritom ne znamo šta ona tačno predstavlja (Romer, 1976). Sa stanovišta opšteg posmatranja, energija se definiše i kroz fotone emitovanja svetlosti ili kroz hemijski redukovani materijal kao što su nafta ili drvo, koji oksidirani mogu da proizvedu rad u toku procesa sagorevanja (Hall & Klitgaard, 2012).

U ekonomskom smislu, energetika se može definisati i kao skup privrednih delatnosti na osnovu kojih se realizuje snabdevanje energijom za potrošače i to pronalaskom novih izvora energije koji se zatim transformišu u veštačke izvore, kako bi se dostavili u proizvodnoj i konačnoj potrošnji (Mandal et al., 2010). Čak i jednostavniji ekonomski modeli bi trebalo da odgovore na sledeća strateška pitanja u vezi sektora energetike (Zweifel et al., 2017):

- Koliko bi trebalo uložiti u istraživanje, razvoj i distribuciju novih izvora energije?
- Koje količine limitirajućih faktora proizvodnje bi trebalo da budu alocirane za postojeća nalazišta energenata lošijeg kvaliteta?
- U kojoj meri bi trebalo limitirajuće faktore proizvodnje učiniti dostupnim za supstituciju konvencionalnih goriva obnovljivim izvorima energije ili nekim drugim merama energetske efikasnosti?
- Koliko bi trebalo uložiti u procese smanjenja emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte?
- Koliko i na koji način bi se trebalo posvetiti poboljšanju bezbednosti energetske sistema?

Sa aspekta isplativosti upotrebe energenata i kalkulacije energetske bilansa, energiju je bitno podeliti na primarnu i sekundarnu. Primarna energija odnosi se na izvor energije koji je ekstrahovan od zaliha prirodnih resursa ili dobijen od slobodnog protoka resursa, a da pritom nije prošao kroz proces transformacije, izuzev čišćenja i odvajanja od prirodnog nalazišta (IEA, 2004a). Primeri primarne energije mogu biti sirova nafta, uglj, prirodni gas, solarna energija i druge. Sekundarna energija, sa druge strane, podrazumeva energiju koja je dobijena iz izvora primarne energije koristeći proces transformacije ili konverzije. Stoga se, primera radi, naftni derivati i električna energija mogu smatrati sekundarnim izvorima energije koji zahtevaju dodatnu preradu ili rad elektro generatora (European Commission, 2019). Značajno je napomenuti da se električna i toplotna energija mogu dobiti i kao primarna, ali i kao sekundarna energija.

Nadovezujući se na kvantifikaciju izvora energije, međunarodna agencija za energetiku (*International Energy Agency – IEA*) definisala je metodologiju energetske bilansa na osnovu kaloričnog sadržaja energenata i zajedničke obračunske jedinice: tona ekvivalentne nafte (dalje u tekstu: ten; na engleskom *tonne of oil equivalent*), koja se sastoji od 107 kilo-kalorija, ili 41.868 giga džula (IEA, 2016). Ova merna jedinica energije je jednaka neto toplotnoj sadržini jedne tone sirove nafte. S obzirom da je u ekonomskoj analizi metodološki izazovno objediniti sve energetske tokove u okviru energetske bilansa, Međunarodna agencija za energetiku koristi metodu fizičke sadržine energenata kako bi pronašla ekvivalent iznosa primarne energije.

Mnogi ekonomisti smatraju da tržišne snage omogućuju ravnotežu na dugi rok bez obzira na stanje i dostupnost fizičkih resursa. Profitno orijentisane špekulativne radnje i usmerenje ka uticaju kratkoročne promene cena energenata na poslovanje redefiniše ekspanziju energetske potražnje u zemljama u razvoju, menjajući uslove i načine poslovanja na tržištima električne energije. Interesovanja ekonomista usmerena ka oblasti energetike komplementarna su sa saznanjima iz drugih naučnih oblasti i, premda se dopunjuju, više se tiču nekontrolisanih tržišnih snaga i očekivanih tendencija sa strane tražnje za energentima. Šire definisano, ekonomika energetike uključuje pokretače koji motivišu preduzeća i potrošače da dostave, konvertuju, distribuiraju ili upotrebe energente; takođe uključuje i ispitivanje tržišta i regulatorne mere, ekonomske posledice po životnu sredinu, kao i ekonomski efikasnu upotrebu vrsta energije (Sickles & Huntington, 2018).

Postojanje naučne subdiscipline ekonomike energetike opravdano je ne samo u pogledu analitičkog ekonomskog pristupa rešavanju problema proisteklih iz nesavršenosti tržišta, nedostatka resursa i pristrasnosti u poslovnom odlučivanju, već takođe i u kontekstu postojanja zajednice interesnih grupa koje dominiraju ovom oblašću (Zumerchik, 2001). Stivens smatra da je ekonomika energetike oblast aplikativne ekonomije gde su ekonomski principi i instrumenti primenjeni kako bi se postavila prava pitanja i kako bi se ista analizirala na logički i sistematičan način, sa ciljem uspostavljanja jasnog, dobro informisanog razumevanja zadatih ekonomskih problema (Stevens, 2000).

Ograničenja koja postoje na tržištu energenata posmatraju se kao ključne stavke za ekonomiku energetike, koja bi trebalo da pronalazi rešenja za ispunjenje potreba potrošača, menadžera, vlasnika kompanija i državnih zvaničnika (Zweifel et al., 2017). Moderna energetska tržišta su svakako „uokvirena“ ekonomskom logikom kroz procese prodaje i marketinga, s tim da su određena „prelivanja“ van tog okvira strogo regulisana od strane zakonodavne vlasti, poput potrošačkih cena, mehanizma podrške obnovljivim izvorima energije i sigurnosti energetskog snabdevanja (Silvast, 2017). Silvast time konstatuje da je ekonomija više oponašana nego direktno praćena ovakvom strukturom tržišta, koja posebnu pažnju daje predviđanju nastanka tržišnih neuspeha.

Tri globalna izazova za oblast ekonomike energetike koja se posebno izdvajaju su: uvećani rizik od disrupcije energetskog snabdevanja, pretnja negativnog uticaja proizvodnje i potrošnje energenata na životnu sredinu i istrajnost problema energetskog siromaštva (Birol, 2007). Iz ugla problematike kreiranja energetske politike, može se definisati šest ključnih izazova: (1) potencijalna opasnost od formiranja kartela OPEC zemalja (na engleskom jeziku *Organization of the Petroleum Exporting Countries*) za izvoz sirove nafte, (2) aspekti uticaja energetskih sektora na životnu sredinu, (3) regulisanje disrupcija sa strane snabdevanja energijom, (4) problemi sa skladištenjem i očuvanjem energije sa strane finalne potrošnje i proizvodnje energije, (5) regulativna politika, kontrola cena i oporezivanje prodaje nafte i prirodnog gasa, (6) istraživanje i razvoj iz oblasti energetike, posebno ono koje se odnosi na upotrebu savremenih tehnologija (Griffin & Steele, 2013). Za potrebe naprednih istraživanja energetskog sektora, posebno je važno identifikovati vremenski i prostorni faktor ispitivanja, zatim balansirati između nesigurnosti i transparentnog izveštavanja, ukazati na problem rastuće kompleksnosti energetskog sistema i uključiti komponente ponašanja potrošača radi smanjenja društvenih rizika razvoja sektora energetike (Pfenninger et al., 2014).

Međuzavisnost srodnih naučnih oblasti i kategorizacija interdisciplinarne ekonomike energetike uočljiva je i ukoliko se posmatra JEL (eng. *Journal of Economic Literature*) sistem klasifikacije američke ekonomske asocijacije (eng. *American Economic Association*). Naime, u okviru generalne kategorije Q pod nazivom „Agrarna ekonomija i ekonomija prirodnih resursa; Ekološka ekonomija i ekonomija životne sredine“ podkategorije koje su od značaja za ekonomiku energetike su Q4 „Energetika“ i Q5 „Ekonomija životne sredine“. Neki autori su mišljenja da ne postoji jasno razgraničenje ekonomike energetike od drugih subdisciplina, gde se ona može posmatrati i kao bilo koje aplikativno znanje proisteklo iz ekonomskih nauka sa namerom upotrebe u oblasti energetike, te se time njena primena odnosi na makroekonomiju, mikroekonomiju, ekonometriju, industrijsku organizaciju, teoriju igara i druge podoblasti (Oliveira, 2015).

Na osnovu iznetog, može se reći da je ekonomika energetike sa aspekta oblasti izučavanja blizu da se kategoriše i kao subdisciplina resursne ekonomije. Štaviše, ekološka pretpostavka jeste da su kapital, rad i energija vitalni inputi za ekonomsku proizvodnju, za koju mogu stvoriti multiplikativne i sinergijske efekte, zajedno sa poboljšanjem ekonomske produktivnosti (Sorrell, 2009). Novija istraživanja upotrebe obnovljivih izvora energije podržavaju ovaj pristup, koji dobija na važnosti zajedno sa integracijom ekološke komponente u okviru primarne i sekundarne proizvodnje energije. Kao što je i nekadašnji državni sekretar SAD-a Henri Kisindžer istakao, problem klimatske krize koji nismo uspeli da ocenimo nakon energetske krize 1973-74. godine nije samo moralna dilema, već i

složeni problem od neposrednog značaja za bezbednost i ekonomiju u svetskim razmerama (Ikenberry, 1988).

Premda se očekuje da nove regulativne politike podrške OIE izazovu rast društvenog blagostanja, ishodi pojedinih analiza poput „zelenog paradoksa“ pokazuju sasvim suprotno. Naime, Sin je ukazao na pojavu smanjenja opšteg društvenog blagostanja u slučaju kada stopa poreza na ugljenik raste brže od kamatne stope u posmatranom vremenskom periodu (Sinn, 2012). Ovako definisana regulativa bi povećala trenutnu eksploataciju rezervi fosilnih izvora energije više nego što se to može očekivati u budućnosti, pri čemu bi se smanjila sadašnja vrednost neto koristi upotrebe OIE. Tačnije, kompanije koje koriste ili proizvode konvencionalna goriva će pod pritiskom novih energetske politike ubrzati korišćenje ovih izvora na kratak rok, što će dovesti do paradoksalnog stanja rasta globalnog zagrevanja usled veće promocije zelene energetske regulative. Takav i slični ishodi sugerišu da bi ispitivanje ekonomike energetike pod okriljem resursne ekonomije moglo da dobije na značaju, zajedno sa rastom brige o zaštiti životne sredine i uticaju energetske sistema na globalno zagrevanje.

Iz ugla mehanike, energetika je i sposobnost da se obavlja radnja koja se sastoji od aktivnosti sile nad objektom podvrgnutom raščlanjavanju. Kinetička energija se može prikazati i kroz rad koji bi trebalo uložiti kako bi se pokrenulo telo, s tim da savremena ekonomika energetike obuhvata pojam *nove kinetičke energije*, to jest kako radna snaga pokrenuta četvrtom industrijskom revolucijom i digitalizacijom sistema nalazi nova rešenja za korišćenje izvora energije (Wei & Hu, 2019). Dakle, raspoloživa energija nije jedinstvena i nepromenljiva, već se jedna forma energije može supstituisati drugom kako bi se ostvarili željeni ciljni troškovi.

Energija se može transformisati u istom sistemu iz jednog oblika u drugi. Na primer, parna turbina konverzuje termalnu u mehaničku energiju, nuklearni reaktor transformira nuklearnu u termalnu energiju, a solarne ćelije konverzuju elektro-magnetičku energiju u električnu energiju. Tako, Priest je ustanovio da „ne samo da energija konstantno menja svoju formu, već joj potencijalna energija materije daje sposobnost da menja kretanje drugog objekta, kao što to čini voda koja protiče branom“ (Priest, 2009, str. 143).

U kontekstu osnovnih ideja nuklearne fizike relevantne za ekonomiku energetiku, bitno je naglasiti da je snaga energije izražena u jedinici vremena, dok je energija sposobnost da se realizuje sam proces rada. Posmatrano kroz pristup Karnoovog koncepta energetske efikasnosti, neophodno je ispitati odnos inputa energenata i postignutog transfera željene energije u okviru jednog sistema, čime se implicira dinamika kretanja energije i uzročno-posledična veza sa optimizacijom poslovnog modela preduzeća (Eden et al., 1981). Karnoova pretpostavka potpune reverzibilnosti procesa rada mašine i nulte kinetičke energije prikazuje sistem u stanju ravnoteže, pa bi u realnom poslovnom sistemu efikasnost rada mašine bila ispod Karnoove zadate efikasnosti (Struchtrup, 2014). Svojstva energenata, preferencije ka određenim energetske uslugama i troškovi konverzije zajedno utiču na potražnju za energijom.

Energenti su vitalan input ekonomskih procesa, neophodni za proizvodnju materijalnih dobara, pružanje usluga i srodne procese koji zatim formiraju njihovu ukupnu potrošnju. Primetno je da bogata društva imaju visoke inpute energenata, koji su u pozitivnoj korelaciji sa bruto nacionalnim dohotkom (Boulding, 1973). Sa aspekta njene održivosti, energetika predstavlja i „sposobnost savremenog društva da razvija, to jest upošljava neophodne vrste resursa radi zadovoljenja potražnje za energentima, čime se ujedno podstiče održivost ekonomije, zaštita životne sredine, a ujedno i pravičan odnos prema svim članovima društva“ (Simkins & Simkins, 2013, str. 80). Održivi razvoj energetike neki autori posmatraju i kao dinamičnu harmoniju između pravične dostupnosti energetske-intenzivnih dobara i usluga za sve, sa jedne strane, i očuvanja planete zemlje za buduća pokoljenja, sa druge strane (Tester et al., 2005).

Dostupnost energenata i načini na koji se mogu upotrebiti čine okosnicu za podrobna istraživanja ekonomske isplativosti i održivosti finansiranja eksploatacije izvora energije. Posmatrano kroz ekonomsku terminologiju, energetika se može opisati kao sposobnost obavljanja poslova korisnih za ljudska bića, zahvaljujući unetim promenama koje su nastale a uz određene troškove ili kroz napor koji iziskuje promenu u strukturi materija (Malanima, 2014).

Međuzavisnost ekonomskih aktivnosti energetskog i ostalih industrijskih sektora ogleda se kroz upotrebu energenata kao ključnog inputa za procese rada svih privrednih sistema. Državne institucije imaju odgovornost intervencije na tržištu električne energije i kreiranje uslova pozitivne investicione klime za energetski sektor, čime se makroekonomske posledice odražavaju kroz, između ostalog, tehnološku kompoziciju proizvodnje i karakteristike evolucije budućih ekonomskih aktivnosti (Bhattacharyya, 2011). Da bi se odgovorilo na rastuće izazove, mora doći do značajne transformacije globalne ekonomike energetike, uz fokus na energetskoj efikasnosti, upotrebi obnovljivih izvora energije i nuklearne energije, eliminaciji ugljen-dioksida (na engleskom jeziku *CO₂ Capture and Storage*), kao i razvoju nisko-karbonskih alternativa urbanog transporta (Aswathanarayana & Divi, 2009).

2.2 Pojam ekonomike energetike kroz istoriju razvoja ekonomske misli

Energetski sistem, uopšteno posmatrano, ne funkcioniše u stanju savršene konkurencije između tržišnih učesnika, jer bi time postojanje ekonomike energetike kao posebne naučne podoblasti ekonomije bilo suvišno. Naprotiv, ekonomika energetike je mnogo više od osnovne obrade statističkih podataka o energetskim tržištima – kompleksni monopoli i oligopoli su, može se reći, „prirodnija” tržišna stanja za proces distribucije električne energije, što čini odstupanje od idealno postavljenog ekonomskog modela (Zweifel et al., 2017). Pri tome, očekuje se dalja deregulacija energetskih sistema Zapadnih zemalja u cilju orijentacije ka otvaranju tržišta električne energije, koja su trenutno jednim delom zasnovana na etatizmu ili oligopolističkom kapitalizmu (Midttun, 2001). Jasno je da liberalizacija tržišta zahteva podsticanje konkurentnosti i efektivnosti institucija kako bi one sprovele regulatorne mere unapređenja uslova za konkurentno poslovno okruženje.

Stalne promene do kojih dolazi u sektoru energetike i potreba razumevanja povezanih kretanja političkih, ekonomskih i prirodnih faktora ukazuju na potrebe ispitivanja endogenosti novonastalih uslova na tržištu. Pretpostavlja se da „delovanja tržišnih učesnika u odnosu na formiranje cena, proizvodnju, alokaciju resursa, investicije, horizontalnu, vertikalnu integraciju i ostale tržišne uslove zavisi od takozvanih institucionalnih aranžmana“ (Correljé & de Vries, 2008, str. 67). S obzirom na hibridni karakter savremenih tržišta energenata, evolucija aranžmana sa aspekta institucionalne ekonomike energetike sve više dobija na značaju. Mehanizmi podrške razvoju obnovljivih izvora energije čine nove koncepte u ekonomskoj literaturi, obzirom da se primena ekonomski isplativih podsticajnih mera realizuje tek svega nepunih pedeset godina. Tako, sam termin „energetska analiza” zvanično je upotrebljen 1974. godine u toku radionice IFIAS – *International Federation of Institutes for Advanced Study* federacije (Energy Analysis Workshop on Methodology and Conventions et al., 1974).

Ekonomika energetike je relativno nova naučna podoblast koja je nastala u toku nekoliko godina pre prve svetske naftne krize. Prvi put se interesovanje za ovu oblast pronalazi u naučnoj studiji Donele Medouza i drugih ko-autora pod nazivom *The Limits to Growth*, publikovane od strane Rimskog kluba 1972. godine (Meadows et al., 1972). Autori su naprednom analizom sistemske dinamike projektovali potrošnju energije za period od 1975. do 2100. godine gde pesimistički scenario ukazuje na evidentno usporavanje ekonomskog rasta i velike distorzije na energetskom tržištu do poslednje godine projekcije, koje bi, prema njihovim rečima, mogle uslediti i ranije u slučaju svetske zdravstvene

pandemije ili rata na globalnom nivou. Nažalost, bile su potrebne samo dve godine da se neki od elemenata projektovane resursne krize obistine i to upravo u okviru prve naftne krize.

Ključni događaji na svetskim energetske tržištima su dodatno podstakli izučavanje teme ekonomskih tokova u sektoru energetike, te je 1977. godine osnovano i prvo zvanično međunarodno udruženje za ekonomiku energetike (IAEE – *International Association for Energy Economics*) sa sedištem u Klivlendu, SAD. IAEE je nezavisna, neprofitna organizacija za predstavnike kompanija, Vlada, međunarodne akademske zajednice i ostalih stručnjaka koji se bave istraživanjima iz ove oblasti. IAEE je osnovano kako bi se „unapredilo znanje, razumevanje i primena ekonomskih principa u svim aspektima energetike”. Potreba da se identifikuju održivi putevi ekonomskog rasta energetske sistema navela je pomenuto udruženje da se bavi detaljnim ispitivanjima korišćenja alternativnih izvora energije, evolucije tržišta i regulativnog okvira, brz napredak u promeni tehnologije, ali i rastuća zabrinutost o uticaju energije na klimatske promene (IAEE, 2022). Pored realizacije brojnih aktivnosti koje olakšavaju razmenu ideja o energetske pitanjima na globalnom nivou, IAEE je i izdavač dva renomirana naučna časopisa – *The Energy Journal* i *Economics of Energy and Environmental Policy* sa impakt faktorima za 2021. godinu od 3,494 i 2,333, respektivno. Ukoliko se posmatra pokretanje inicijative o formiranju organizacije za oblast ekonomike energetike na državnom nivou, prva je to učinila Velika Britanija 1985. godine osnivanjem instituta *British Institute for Energy Economics* (British Institute of Energy Economics, 2022).

Činjenica da je korišćenje energije dominantno potrošnog karaktera čini ovu oblast jedinstvenom sa aspekta potrebe i kompleksnosti izučavanja (Sickles & Huntington, 2018). Uticaj inženjeringa energetske sistema, projektovanja energetske postrojenja, procesnih tehnika, operacionih istraživanja i ostalih sistema za podršku procesu odlučivanja dodatno otežava usaglašavanje oko usko-orijentisanog definisanja oblasti ekonomike energetike. Analiza energetske tokova razvila je inter-disciplinarnu saradnju autora iz brojnih oblasti, kreirajući aplikativan pristup međuzavisnosti ekonomskih aktivnosti i energije.

Dobitnik Nobelove nagrade za hemiju Frederik Soddy, sam dosta zaslužan za popularizaciju ekonomike energetike, napravio je analogiju između monetarne politike i energije, smatrajući da je „novac isto što i energija, jer se energija može transformisati, ali se ne može iskoristiti da bi se od nje proizvelo još više energije“ (Soddy, 1912). Izjavio je i da zakoni koji čine odnos materije i energije nisu samo od značaja za prirodne nauke, već su od prioriteta za čitavo čovečanstvo, kontrolišući kao poslednje sredstvo uspon i pad političke sistema, slobodu ili povezanost naroda, kretanje trgovine, poreklo bogatstva i siromaštva, kao i opšte blagostanje naroda. Soddy je i dodao da bi „protok energije trebalo da bude primarna briga ekonomista“ (Soddy, 1912).

Shodno tome, stručnjaci se, pokušavajući da ekonomski pojasne energetske tokove i da definišu odgovarajući okvir za analizu, suočavaju sa konstantnim promenama ekonomskog koncepta usled snabdevanja poslovnog sistema energijom, što ih dalje usmerava ka kontinuiranom prilagođavanju okvira istraživanja novim tržišnim prilikama sektora energetike (Silvast, 2017). Posebno relevantne promene tržišnih prilika dogodile su se u eri prve industrijske revolucije, a ticala su se najpre (Malanima, 2014): (1) promena u obimu i trendu finalne potrošnje energije, (2) procesa zamene odgovornih energetske subjekata, (3) orijentacije ka novim geografskim lokacijama za proizvodnju energije, (4) formiranja prodajnih cena oblika energije, (5) promena u odnosu između energetike i ekonomije i (6) novog pristupa realizaciji energetske aktivnosti u odnosu na zaštitu životne sredine. Značajne strukturne promene u okviru energetske sistema zahtevale su promenu pravca ekonomske analize energetike i nova shvatanja koja bi doprinela spajanju ovih dveju naučnih oblasti.

2.2.1 Uloga energetike u teoriji klasične ekonomske misli

U periodu zastupljenosti klasične političke ekonomije, merkantilizma i fiziokratizma zemlja je posmatrana kao limitirajući proizvodni faktor (Letiche, 1969; Yılmaz Genç & Kurt, 2016). Tomas Jang je 1805. godine u svom obraćanju Kraljevskom društvu Londona prvi ustanovio da je energija „sposobnost da se obavi proces rada“, potkrepljujući rikardijansko i marksovsko viđenje rada u smislu osnovnog stvaraoca bogatstva (Young, 1805). Ubrzo potom i Herman-Ludvig Ferdinand fon Helmholtz, jedan od vodećih fizičara vremena, pokušava da 1847. godine naučno obuhvati opšte prisutno postojanje energije pokretom zvanim „Energetika“, kako bi se pojasnile raznolike pojave u okviru amorfnog polja energije (Nadeau, 2015).

Mnogi autori su u zanemarivanju energije kao faktora proizvodnje videli osnovnu grešku tradicionalne ekonomije (Binswanger & Ledergerber, 1974). Da bi teorija proizvodnje zaista u potpunosti pojasnila stvaranje bogatstva za društvo, mora se analizirati doprinos elementa energije (Tyron, 1927). Trebalo bi napomenuti da je proizvodna funkcija klasične ekonomske škole nastojala da, uprošćeno rečeno, objasni ekonomske aktivnosti i rast kroz varijable inputa, kapitala i rada, dok su za Adama Smita, Tomas Maltusa i Dejvida Rikarda autputi energetskog sektora bili vezani za treću funkciju proizvodnje: zemlju, što je umanjilo značaj energetike za standardnu ekonomsku teoriju (Ayres & Warr, 2009).

Od klasičnih ekonomista posebno je Dejvid Rikardo tretirao prirodne resurse kao iskoristivu vrednost kojom se može snabdeti bez troška, dok je privredni fokus usmerio ka merljivoj robi i uslugama (Hall & Klitgaard, 2012). Rikardova analiza zemljišne rente, slično kao i korišćenje konvencionalnih izvora energije, zasniva se na upotrebi ograničeno dostupnih resursa, s tim da je razlika u tome što se konvencionalni energetske izvori mogu upotrebiti samo jednom. Rikardo se nikada nije direktno bavio energetikom, premda je kao tvorac zakona opadajućih prinosa i zakona o najamnini potpomogao kritičko razmišljanje na temu ekonomske analize energetike (Hall & Klitgaard, 2012). Važna uloga energetike se može primetiti u Rikardovoj teoriji žitnih zakona, uz datu pretpostavku da, ako se zemlja (u ovom slučaju i energija) relativno uveća u odnosu na rad, profit će rasti. Naznake očekivane koristi od ekonomskog ispitivanja upotrebe energije Rikardo je dao i misli da je snaga vetra i vode koja pokreće mašineriju od velikog značaja, smatrajući da ne postoji proizvodnja kojoj priroda svojim izvorima energije ne pomaže (Ricardo, 1817, poglavlje 2, str. 10). Na temelju njegove doktrine međunarodne trgovine mogu se razviti novi tokovi održive energetske strategije i razmene energenata shodno principu ublažavanja klimatskih promena.

Preteču analize posledica naftne krize dao je Robert Tomas Maltus u svojim delima *Essays on the Principle of Population* (Malthus, 1798). On je za proizvodnju hrane smatrao da će rasti linearno, praćena eskponencijalnim rastom ljudske populacije, što bi posledično dovelo do nestašice hrane i nemogućnosti dalje poljoprivredne proizvodnje. Fokus Maltusove teorije na zemljištu kao fiksnoj funkciji proizvodnje i na ukupnoj potrošnji značio je ujedno i zanemarivanje investicija kao komponente efektivne potražnje (Hall & Klitgaard, 2012). Izostanak faktora invencije i obimne ekspanzije proizvodnje zasnovane na upotrebi nafte u Maltusovim jednakostima učinio je njegovu teoriju naizgled nepotpunom, pa su se tako i predviđanja o nestašici hrane pokazala neosnovanim. I za Maltusa i za Rikarda pitanje akumulacije dalo je odgovor na pitanje raspodele bogatstva, s tim da je kod Maltusovih ispitivanja zanemarivanje inovativnog aspekta upotrebe energenata jedan od razloga nepreciznosti u postavci scenarija agrarne ekonomije.

Adam Smit, prema mnogima osnivač klasične ekonomske misli, u svom delu „Bogatstvo naroda“ (na engleskom jeziku *The Wealth of Nations*) dao je teorijsko opravdanje za postojanje fiziokratske *laissez-faire* ideologije i ograničene uloge državnih intervencija na tržištu (Smith, 1776). Za razliku od ambicija Dejvida Rikarda da se uveća porez aristokratiji i suprotstavljenih namera Tomasa Maltusa da se isti društveni sloj subvencionise, Smit je bio fokusiran na potpuno ukidanje merkantilističkih

ograničenja trgovine. Doktrinu Smitove „nevidljive ruke“ koristio je i Žan Baptist Saj za ideju o procesu proizvodnje dobara i usluga koji stvara prihod potreban da se i realizuje njihova kupovina (Forget, 2001). Inspirisan Smitovim radom, Sajov zakon je prvi doprineo opštoj teoriji proizvodnje zasnovanoj na teoriji rada i mehaničke energije (Cleveland, 2009). Smit je takođe bio zainteresovan za postulate fizike, te je njegovo viđenje sveta kroz samoregulisani sistem dalo naznake privrženosti Njutnovoj teoriji (Smith, 1776).

Stavom da je agrikultura glavni izvor energenata za celokupno čovečanstvo Smit se u znatnoj meri složio sa Fransoa Keneom, liderom francuskih fiziokrata. Međutim, Smit dalje u svojim delima osporava Keneovo viđenje da je „zemlja jedinstveni izvor bogatstva“ i fokus usmerava ka produktivnosti rada kao ključnom razlogu za razliku u produktivnosti između određenih naroda i zemalja (Eltis, 1988). Uprkos tome što je svoje najznačajnije delo objavio samo sedam godina nakon patentiranja parne mašine od strane Džejms Vata, diskusiju o ekonomskim procesima Smit nije proširio na energetske upotrebu prirodne snage vetra, slobodnog pada vode ili pak uglja, koji je u tom periodu već uveliko zamenio drvena goriva za potrebe britanskog privrednog rasta (Cleveland, 2009).

U okviru svog istraživanja ekonomskog prosperiteta i ekonomske slobode nacija, Smit je evidentno zapostavio ulogu izvora energije za industrijalizaciju, što može biti jedan od razloga za sporiji uvođ ekonomike energetike kao zasebne discipline. Ipak, sa aspekta regulativne politike Smit jeste zastupao da britanski parlament omogući međunarodnu trgovinu ugljem, smatrajući da će, spuštanjem cene uglja ispod najvišeg nivoa, zemlje koje obiluju ugljem moći da imaju koristi od izvoza, čime bi primorale i inostrane proizvođače da svoje cene prilagode novim uslovima privređivanja (Ginzberg, 2002). Umesto podrške Smitovom subvencionisanju prevoza uglja, Vlada Velike Britanije je tokom XVIII veka uvela namete na prekomorski izvoz uglja od približno 60 procenata (Turner, 1921).

Iz pregleda objavljenih dela Adama Smita uočen je njegov stav o ekspanziji potrošnje uglja radi korisnih rezultata i učestvovanja u međunarodnoj trgovini energentima. Autori poput Maira (Mair, 2018) tvrde da iz dinamičnog odnosa kapitala i tržišta u teoriji rasta Adam Smita sledi jasna potreba za uvećanjem upotrebe energije, energetske efikasnosti i intenzivnije saradnje energetskih preduzeća. Štaviše, Mair smatra da se iz Smitovog dela „Bogatstvo naroda“ može zaključiti da su investicije ključan faktor energetske efikasnosti kapitala, sa čijim rastom će se smanjiti ukupna potrebna količina energije za proces proizvodnje. Samim tim, navedeni autor razmatra da Adam Smitov prikaz koncepta rada kao forme fiksnog kapitala, podržane cirkularnim kapitalom, ukazuje na posmatranje ekonomije kao sistema zasnovanog na energetici koja predstavlja poseban oblik kapitala. Opšti utisak jeste da u Smitovom radu izostaje naučna utemeljenost značaja prirodnih resursa za proizvodnju. To je i očekivano, s obzirom da je njegov rad nastao u eri razvoja poljoprivrede i malih preduzeća, kada još uvek nisu bili zasnovani naučni principi uticaja energije na ostale industrijske procese (Hall & Klitgaard, 2012).

Jozef Šumpeter, možda i najznačajniji autor iz oblasti poslovne ekonomije do danas, jasno je ukazao na važnost međuzavisnosti „naučne ekonomije“ i metoda fizike relevantnih za oblast energetike u svom kapitalnom delu „Istorija ekonomske misli“. Da li odnos ovih dveju oblasti znači da su ekonomsko matematičke metode proistekle iz naučne oblasti fizike? Prema Šumpeteru (Schumpeter, 1954, str. 17) čista je slučajnost što su određena matematička objašnjenja ekonomskih fenomena proistekla prvo iz fizike, premda u istom delu nije ukazano na potencijalnu upotrebu navedenih modela za ekonomsku analizu energetike. Dodatno razdvajanje oblasti energije od ekonomske sociologije Šumpeter je potvrdio mislju da je Džejms Džul zaslužan za otkrića u vezi očuvanja energije, a za varijabilne principe energetike je to bio švajcarski matematičar i fizičar Leonard Euler, ne ukazujući pri tome na doprinos ekonomske misli razvoju oblasti (Schumpeter, 1954, str. 30).

Ideju o važnosti energetike za menjanje ekonomske strukture Šumpeter je iskazao kroz, njegovim rečima, evolucionim proces industrijskog kapitalizma, smatrajući da su potrošna dobra, pored novih metoda proizvodnje i transporta, impulsi koji pokreću i održavaju kapitalistički razvoj kroz proces industrijske mutacije, konstantno korigujući ekonomsku strukturu iznutra radi stvaranja nove (Schumpeter, 1942). Premda nije eksplicitno pojasnio refleksije rasta energetske efikasnosti kroz produktivnost rada, uočio je da će „tehnološki progres proizvodnje efektno podstaći ekspanziju ukupnog autputa preduzeća i omogućiti više nego potrebno, *embarras de richesse* prirodnih resursa u sagledivoj budućnosti“ (Schumpeter, 1942, str. 46).

Na temelju klasične ekonomske misli nastalo je prioritarno pitanje da li uvrstiti ekološki koncept energetike u ekonomsku analizu, o kome su se vodile brojne debate. Tako je i Frederik Kotrel, čuveni američki fizičar i hemičar, pronalazač elektrostatičkog filtera za eliminisanje zagađenja vazduha, tvrdio da bi stanovništvo moglo redukovati svoje energetske potrebe ukoliko imaju informacije da te potrebe negativno utiču na osnovne vrednosti društva. Međutim, Kotrel je izrazio sumnju da su razvijene zemlje spremne da ostvare ove promene pre dostizanja maksimuma ekoloških granica i troškova ekoloških eksternalija (Gunderson, 2018).

Strepnju od rasipničke prirode eksploatacije prirodnih resursa pokazao je i engleski ekonomista Artur Sesil Pigu u njegovom delu „Ekonomija blagostanja“ (na engleskom jeziku *The Economics of Welfare*). Pigu je istakao da postoji tendencija da se metodom uništavanja više ugrožavaju buduće generacije od ekonomske koristi koja se trenutno dobija. Rezultat tih procesa je stvaranje otpada, kada „jedna generacija koristi za trivijalne potrebe prirodne resurse kojih ima u izobilju, ali koji će postati retki i nedostupni za generacije koje slede“, kao što je to primer sa korišćenjem ogromnih količina uglja (Pigou, 1932, str. 28). Ovakvim i sličnim stavovima Pigu je podržao državne intervencije radi ograničenja emisije negativnih eksternalija nastalih iz eksploatacije fosilnih goriva i ostalih uzročnika zagađenja životne sredine.

Značajan je i rad američkog ekonomiste Torštajna Veblena, jednog od zastupnika pokreta sociologije životne sredine, čija su kritički nastrojena, po nekima i kontraverzna dela, uvela novi pogled na ekološki uticaj kapitalizma. Prema Veblenu, postoje dve društvene klase, radnička klasa i „predatorska“ plemićka klasa, koja nastoji da ostvari monopolističku poziciju na tržištu kontrolom ključnih prirodnih resursa (Veblen, 1904). Isti autor primetio je da su se američke kompanije tog doba, vođene sopstvenim oportunističkim interesima, pozicionirale feudalistički prema eksploataciji resursa i da ne preuzimaju odgovornost za nastale ekološke troškove. Sa druge strane, rasipanje prirodnih resursa Veblen je opisao kroz ekonomsku neefikasnost i kroz ustaljene obrasce društvene potrošnje (Mitchell, 2001).

Sergej Podolinski je krajem XIX veka nastojao da ukaže na elemente neraskidive veze energetike i principa teorije vrednosti, zauzimajući stav da je ljudsko telo bolji konvertor energije od parne mašine (Podolinsky, 1883). Za njega, cilj ekonomije socijalizma bio je da se maksimizuje akumulacija energije na zemlji punim korišćenjem savršene mašine za rad – čoveka, što je analogija izvedena iz Karnoovog ciklusa (Burkett & Foster, 2006). Podolinski je u brojnim izvorima bio okarakterisan kao ukrajinski sociolog, ekološki aktivista potkovan znanjem iz političke ekonomije, ali i kao jedan od osnivača ekonomije ekologije. Veliki uticaj na njegova rana pisana dela imao je francuski fizičar i matematičar Gustav Hirn svojim eksperimentima merenja energetske efikasnosti ljudskog rada, sprovedenim na istovetan način merenju termodinamičke efikasnosti parne mašine (Foster & Burkett, 2008). Prvi rad na temu energetike Podolinski je objavio 1880. godine u pariskom *La Revue Socialiste* zastupajući protok energije sa aspekta solarne energije i efekat biljnog sveta na upotrebljivu energiju za ekonomiju, sa jedinstvenom sposobnošću ljudskog rada da smisleno akumulira energiju u korisnom obliku (Foster & Burkett, 2004).

Značajan je i doprinos Sergeja Podolinskog utemeljenju koncepta povraćaja energije na uloženu energiju ili na ukupno ulaganje (na engleskom jeziku EROI – *Energy Return on Investment*) (Martínez-Alier & Schlupmann, 1987). Fokusom na ekonomskoj analizi poljoprivredne proizvodnje, izračunao je da su prinos energije po površini i višak proizvedene energije veći ukoliko je energetska input subvencionisan od strane države u odnosu na nekontrolisano okruženje prirodnog ekosistema (Mayumi & Gowdy, 1999, str. 129). Bitan je i višak energije, nastao konverzijom solarne u energiju biomase, a za dobrobit društva kao celine. Prikaz principa Podolinskog pruža uvid u kolikoj meri agrarni sektor postaje neto snabdevač ili neto potrošač energije u odnosu na energetska sistema države. Potrebno je definisati ukupnu neto primarnu proizvodnju (NPP_{act}) dobijenu od foto-sinteze unutar agro sistema, tako da se pojednostavljeni model na primeru biomase sastoji od sledećih elemenata (Tello et al., 2015, str. 54):

$$NPP_{act} EROI = \frac{UPH + BR + FP - LPB}{TIC} \quad (2.1)$$

gde je UPH – neprerađena biljna biomasa, BR – ponovo upotrebljena biomasa, FP – finalni proizvod, LPB – stočni proizvod i TIC – ukupan utrošeni unos sirovina.

Pristup Podolinskog akumulaciji i protoku energije relevantnim za industrijski razvoj posmatra se i kao poslednji pokušaj stvaranja simbioze između prvog zakona termodinamike i Marksove analize radne teorije vrednosti (Martínez-Alier & Schlupmann, 1987). Karl Marks je svojim istorijskim materijalizmom 1880. godine ovo viđenje odbacio kao neosnovano, smatrajući biofizički svet „slobodnim darom prirode”, po čemu je njegov stav podsećao na pređašnja Rikardova zastupanja (Hall & Klitgaard, 2012). Marks je termoekonomiku i zakon entropije video u kontekstu pojašnjenja materijala, ne razmatrajući u svojoj teoriji radne vrednosti energiju, pa je tako ovaj stav čuveni ekonomista Leontijev označio kao „metafizički”. Pri tome, Leontijev nije shvatio šta u tom slučaju predstavlja dodatnu vrednost za Marksa, što aludira na njegovo neslaganje sa teorijom vrednosti zasnovanoj na jednom inputu (Rosier, 1986).

Mada su retki elementi koji se u Marksovom sveobuhvatnom radu mogu asociirati sa ekonomijom ekologije ili pak ekonomikom energetike, pojedini istraživači povezuju njegov termin „metabolizam” (na nemačkom jeziku *Stoffwechsel*) sa navedenim oblastima. Termin je prihvatio iz učenja Justus fon Libiga, konstatujući da kapitalizam eksploatiše i zemlju, a ne samo rad, što su određeni istraživači naklonjeni marksovom učenju iskoristili kao faktor za doprinos teoriji ekonomije ekologije i održive energetike (Martínez-Alier & Muradian, 2015). To je, na primer, učinio Alf Hornborg u svojoj teoriji ekološki nejednake trgovine (Hornborg, 1998). Šezdesetih godina XIX veka Marks se okreće od paradigme rada ka paradigmi proizvodnje, uz osvrt ka ekspanziji tehnološkog razvoja i upotrebi energije. Ipak, iz njegovog dela *Kapital* stiže se utisak da je Karl Marks prepustio drugim istraživačima iz sfere političke ekonomije da kvantitativno definišu ekonomski značaj zaliha i protoka energije, kao što je to, podstaknut njegovim učenjem, učinio Oto Nojrat (Bensaïd & Elliott, 2002).

Fridrih Engels se, sa druge strane, izričito usprotivio uvođenju energetike u okviru marksovog rada, smatrajući da je „energetska vrednost prema troškovima proizvodnje nemoguća količina, koja ne može izraziti ekonomske odnose u fizičkim veličinama” (Engels, 1882). U svojim pismima Marksu 1882. godine, Engels piše negativnu notu o radu Podolinskog, smatrajući prvi i drugi zakon termodinamike kontradiktornim. Pri tome, iznosi svoj stav da se kroz rad akumulacija energije odvija samo u poljoprivredi, dok se u ostalim sektorima industrije isključivo troši. Dodaje i da Podolinski ulaže napor da u prirodnim naukama pronađe dokaz o verodostojnosti socijalizma, te da ne bi trebalo da poistovećuje ekonomiju sa fizikom (Engels, 1882). Iako Engels u drugim, izdvojenim pismima Marksu pominje da industrijski kapitalizam rasipa energiju, ugalj, rudu, šumsku vegetaciju i druge sirovine, iz tih pisama se ne vidi predlog za rešenje problema primenom metodologija iz oblasti ekonomike energetike.

2.2.2 Afirmacija energetike od strane neoklasične škole ekonomije

Teorije fizike razvijene u drugoj polovini XIX veka nisu bile predmet eksperimenata u kontrolisanim tržišnim uslovima, jer nisu ni precizno određene karakteristike oblasti energetike. Pretpostavka očuvanja kinetičke i potencijalne energije korišćena je kao sredstvo afirmacije istovetnosti energetskeg intenziteta i količine, koja bi trebalo da ostane nepromenjena u uslovima promena i transformacije sistema. Za ekonomsku formalizaciju oblasti to stanovište nije bilo potpuno. Strategija kreatora neoklasične političke ekonomije, kao što su to Stenli Dževons, Leon Valras, Vilfredo Pareto i drugi, bila je naizgled krajnje jednostavna – supstitucija varijabli fizike ekonomskim varijablama. Tako je korisnost zamenjena za energiju, zbir korisnosti za potencijalnu energiju i izdaci za kinetičku energiju (Mirowski, 1988).

Konstatacije da će distribucija energije biti u skladu sa najvećom statističkom verovatnoćom i da će sistem dostići stanje ravnoteže refleksije su preuzetih postulata teorije fizike, gde se smatra da do promena unutar sistema neće doći. Prema njima, reagovanja na spoljne tržišne snage bi bila anulirana kao direktna posledica zatvorenosti sistema (Nadeau, 2015). Zapravo, u skladu sa pristupom neoklasične škole ekonomije, količina energije dostupna u bilo kom vremenskom periodu endogenog je karaktera. Ona je, pak, ograničena biofizičkim i ekonomskim parametrima, poput kapaciteta generisanja električne energije i efikasnosti kojom se ovakav i srodni procesi mogu obaviti (Stern, 1999).

Na osnovu naučnog razumevanja zatvorenog tržišnog sistema, neoklasični ekonomisti su izneli sledeće tvrdnje (Nadeau, 2015, str. 102): 1) sistem tržišta je zatvoren i postoji u domenu realnosti koja je odvojena i različita od spoljne sredine, 2) oblast korisne energije funkcioniše unutar zatvorenog sistema tržišta, a snage povezane sa tom oblašću prikazane su kroz dinamiku sistema, 3) pomenuta dinamika reguliše odluke koje donose ekonomski akteri i održava zatvoreni sistem u stanju ravnoteže, osim ukoliko u posredstvu odlukama nisu uključeni i egzogeni učesnici, poput vlada države. Problem validacije navedenih tvrdnji proteže se kroz modele neoklasične ekonomije. Primeri istraživanja navedeni u nastavku sugerišu da se teorija neoklasicizma većim delom oslanja na koncepte faktora proizvodnje koji su nekada bili zastupljeni u agrarnim društvima, ne menjajući ih shodno potrebama savremenih društava (Hall et al., 2001).

Obrazloženje za to navodi i nobelovac Vasilij Leontijev izjavom da su mnogi ekonomski modeli zasnovani na setu manje ili više verodostojnih, ali u potpunosti arbitrarnih pretpostavki, što vodi ka precizno navedenim, ali teoretski irelevantnim zaključcima (Leontief, 1982). Pretpostavka neoklasicizma jeste da kapital, rad i energetske inputi imaju nezavisne i aditivne efekte po ekonomski učinak, pri čemu se svako zaostalo povećanje pripisuje nastanku egzogene tehničke promene (Sorrell, 2015).

Da se ekonomija razvijala u stanju ravnoteže koje karakteriše dostizanje maksimuma profita unutar zatvorenog sistema prema postojećem stanju tehnologije, formalna analogija neoklasične teorije proizvodnje bila bi ispunjena (Hall et al., 2001). Fundamentalna uverenja neoklasicizma da se ekonomija može analizirati odvojeno od ostalih društvenih pojava, kao i da postiže stanje ravnoteže bez intervencija na tržištu, sugeriše izostanak holističkog pristupa rešenju problema upotrebe prirodnih resursa. Nasuprot tome, sa aspekta energetske održivosti moglo bi se reći da je neoklasični pristup redukcionističko-mehaničkog karaktera, uz monetarnu interpretaciju sa ciljem usklađivanja sa dominantnom paradigmom škole (Söderbaum, 1992). Neprihvatanje multidimenzionalnog pristupa održivosti i posmatranje međugeneracijske distribucije bogatstva kroz prizmu neopadajućeg blagostanja pojedinca na neograničeni rok odlike su neoklasicizma (Illge & Schwarze, 2009). Valrazijansko jezgro neoklasične misli implicira razmenu između pojedinaca zasnovanu na sopstvenom interesu, koja rezultuje postizanju tačke ravnoteže uz postignut maksimum interesa pojedinca, a da se pritom ne ošteti druga interesna strana (Hall et al., 2001).

Iako su, prema Alfredu Maršalu, modeli ekonomskih aktivnosti fokusirani na statički ekvilibrijum koji je proistekao iz fizike, on nije prihvatao eksplicitnu analogiju ekonomije sa zakonima fizike, astronomije ili mehanike, već je postulate ekonomskih modela poredio sa naukom meteorologije (Ekelund & Hebert, 2002). Tako, on je tvrdio da bi zakone ekonomije pre trebalo uporediti sa zakonima plime i oseke nego sa egzaktnim zakonom gravitacije, s obzirom da su aktivnosti ekonomskih aktera raznovrsne i nepredvidive (Marshall, 1920, str. 32–33). Prema Maršalu, racionalno ljudsko ponašanje dovodi do predvidljivih rezultata u uslovima ograničavajućih faktora. Metodologija koju je zastupao ne navodi da su svi faktori definisani, već da i neodređeni faktori mogu merljivo uticati na ishod rezultata, što se može ispitati uz *ceteris paribus* pretpostavku (Ekelund & Hebert, 2002).

Suprotno navedenom, Fridrih Hajek je svojom naučnom doktrinom doprineo da se o alokaciji resursa razmišlja i u drugom pravcu, različitom od glavnih tokova neoklasične ekonomske misli. Hajek je verovao u kolektivno stvaranje novih znanja potrebnih za efikasno alociranje resursa, koja se nikako ne mogu dostići bez zajedničke koordinacije učesnika na tržištu i bez usmerenja aktivnosti sa ciljem maksimizacije ekonomske koristi (von Hayek, 1945). Može se komentarisati da se Hajek nije slagao sa osnovama neoklasične misli po tri ključna stanovišta (Sagoff, 2021):

1. sa idejom da alokacija ograničenih resursa postoji u okviru savršene konkurencije gde potrošači poseduju sve relevantne informacije – prema Hajeku, pretpostavka savršene konkurencije zapostavlja institucionalni okvir u kom se konkurencija odvija, a ignorišu se svi pokretači koji motivišu nastanak ekonomskih aktivnosti,
2. na cenu se posmatra kao na meru vrednosti – Hajek je smatrao da je cena samo kanal za važne informacije za preduzetnike kako bi usavršili svoje poslovno planiranje i razmotrili sve poslovne opcije, te prognoza kretanja cena i njihov iznos nisu dovoljan pokazatelj preferencija potrošača (konstantne intervencije na tržištu mogu dovesti do centralizacije kontrole nad ekonomskim odlukama),
3. pojedinci se bave ekonomskim aktivnostima da bi zadovoljili svoje lične interese – kada je u pitanju poimanje funkcije i svrhe postojanja tržišta, Hajek nije smatrao da ljudi imaju za jedini cilj maksimizaciju lične koristi, već da se organizuju u mnogim formama udruženja sa ciljem otkrivanja, distribucije i primene novih znanja.

Oštre kritike upućene Hajekovom pogledu na nemonetarne mere ekonomskog izbora najpre su usledile od Oto Nojrata, koji je kao jedan od začetnika Bečkog kruga (na nemačkom jeziku *Wiener Kreis*) bio posvećen fizikalizmu i logičkom pozitivizmu, to jest neopozitivizmu (O'Neill, 2004).

Neoklasičan pristup definisanju regulative za ekološka pitanja i upotrebu ekološki podobnih izvora energije normativnog je karaktera, pri čemu se neoklasičari nose mišlju da bi za maksimizaciju vrednosti ekološkog inputa trebalo odrediti optimalan nivo uticaja proizvodnje na životnu sredinu, stvarajući balans između upotrebe i zaštite prirodnog resursa (Tietenberg & Lewis, 2015). Nadalje, prema Tietenbergu, kako bi regulativna politika imala efekta i na generacije koje slede, neophodno je zadovoljiti određene kriterijume efikasnosti. Prvi kriterijum, nazvan još i *statička efikasnost*, proističe iz odgovarajuće alokacije resursa koja potkrepljuje tvrdnju da se neto korist maksimizira kada je marginalna korist jednaka marginalnim troškovima. Drugi kriterijum, *dinamička efikasnost*, ima za cilj da uključi i vremensko određivanje razmere neto koristi, poredeći upotrebu prirodnih resursa u dva različita vremenska perioda. Konzistentnost dinamičke efikasnosti i održivosti može postojati, pri čemu je isti autor stava da ključni problemi neadekvatne upotrebe konvencionalnih izvora energije potiču od neefikasnih tržišta i neuspešnih vladinih intervencija na tržištu. U tom smislu, opravdano je korišćenje neobnovljive energije samo ukoliko isto ne prouzrokuje neravnotežne uslove privređivanja za buduće generacije.

Efikasna tržišna alokacija resursa zahteva efikasnu strukturu prava svojine, koja se može podeliti na 1. sveobuhvatnost, 2. ekskluzivitet, 3. prenosivost i 4. primenjivost prava (Tietenberg, 1992). Analizom troškova i koristi ekološke regulative upotrebe energenata Tietenberg je umnogome doprineo razvoju neoklasične ekološke ekonomije, s tim da se kritika njegovog rada često zasniva na njegovom odabiru jednog kriterijuma efikasnosti, koji je specifičan sa aspekta konceptualnog i ideološkog okvira (Söderbaum, 1994).

Tako je i Vilijam Stenli Dževons, jedan od osnivača neoklasične ekonomije, u svojoj knjizi iz 1865. godine pod nazivom *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*, postavio pitanje nedostatka resursa uglja za dalji razvoj privrede, što je kasnije u literaturi prihvaćeno pod terminom „Dževonsov paradoks“ (Alcott, 2005). Dževons je tvrdio da se industrijski razvoj Ujedinjenog Kraljevstva zasniva na jeftinom uglju i da će neizbežno uvećanje troškova upotrebe uglja dovesti do gubitka proizvodne superiornosti zemlje, što se ne može sprečiti ni tehnološkim razvojem ili supstitucijom energetskog izvora (Foster et al., 2010). Zapravo, suprotno tržišnim očekivanjima, Dževons je bio stava da će uvećana efikasnost upotrebe uglja generisati povećanje tražnje za tim resursom. Kejns je u tome video nastavak Maltusove teorije geometrijske progresije reflektovane na primeru potražnje za ugljem, smatrajući da paradoks ne daje prikaz opsežne analize, tačnije prenaplašava problem oskudnosti prirodnih resursa (Keynes, 1936).

Statičnom teorijom ravnoteže Dževonsov paradoks zbilja ni po čemu ne podseća na Marksovu konotaciju vrednosti kapitala, a teorija nije obuhvatila ni ključno razmatranje celokupne dinamike akumulacije proizvedenog uglja (Foster et al., 2010). Prvo, teorijom je napravljena analogija između ekonomskih transakcija i transfera energije, što je navelo da se pojam „prirodno“ češće pojavljuje usled ekonomskih pitanja. Drugo, teorija Dževonsa podstiče na konkretizaciju matematičkih metoda u ekonomiji sa namerom da se predupredi osporavanje kritičara. Treće, pokazao je da tržišni procesi dostižu maksimum u stanju slobodne konkurencije gde nije moguće intervencijom poboljšati uslove razmene. Time se stiče utisak da je Dževons prikladnije branio doktrinu slobodne trgovine od njegovih prethodnika iz ere klasične političke ekonomije (Mirowski, 1984). Samim tim, ne može se osporiti značaj dela *The Coal Question*, koje se izdvaja u doktrini neoklasične ekonomske škole po svom zastupanju važnosti izvora energije, ali ipak ne bi trebalo da se tumači kroz ekološki karakter. Naprotiv, pitanje održivosti razvoja energetike nikada nije postavljeno u Dževonsovom radu, niti je predložena upotreba ostalih izvora energije.

Posledično, zbog svog sezonskog karaktera upotrebe, obnovljivi izvori energije nikada nisu bili predmet rada Dževonsa i njegovog poimanja kontinuiteta ekonomije (Foster et al., 2010). Utisak je da navedeni paradoks označava drastičan oblik efekta povratnog dejstva (na engleskom jeziku *the rebound effect*) u kome dolazi do povećanja potrošnje upotrebljenog resursa (Foster et al., 2010). U skladu sa iznetim objašnjenjima, konstatovano je da Dževonsov paradoks važi za bitan segment neoklasičnog odnosa prema energetske efikasnosti (Alcott, 2008).

Egzogenost tehnološkog razvoja sastavni je deo teorijskog postulata neoklasične ekonomske škole, koju su zastupali njeni istaknuti predstavnici, a prvo je uvedena od strane Aroua (Arrow, 1962). Prema njemu, korisnik tehnoloških promena ne mora da razvije samostalno inovaciju, već se može osloniti jednim delom na druge tržišne agente kako bi stekao znanje i onda na osnovu toga preuzeo tehnološko rešenje. Prisustvo eksternalija u procesu inoviranja i sticanja tehnološkog znanja utiče na agregatnu proizvodnu funkciju i konstantne prinose na obim, gde se očekuje da će eksternalije, ukoliko se jedna firma odluči za uvećanje inputa za dva puta, više nego proporcionalno uvećati inpute drugih učesnika na tržištu (Lipsey & Carlaw, 2004). Samo istraživanje endogenosti i egzogenosti tehnoloških promena u okviru neoklasične škole može posledično razjasniti njen stav po pitanju formiranja mehanizama podrške za obnovljive izvore energije i to u kontekstu evolutivne ekonomije. Ideja endogenih inovacija u okviru teorije ekonomskog rasta uključena je i u literaturi neo-Šumpeterijanskih istraživača (Nelson & Winter, 1982).

Prema određenim autorima saznanja mikroekonomskih efekata tehnoloških promena mogu se sumirati u sledećem (Dosi et al., 1988):

1. inovacije karakterišu razni stepeni pogodnosti i neizvesnosti po pitanju tehničkih i komercijalnih ishoda,
2. tehnologija sadrži određeni procenat implicitnog znanja koje ima odlike specifičnosti, lokaliteta i kumulativnosti za određenu kompaniju,
3. inovacije su posledica procesa učenja pojedinaca i organizacije. Aktivnosti koje se tiču rešenja problema karakterišu organizacione rutine, takozvane „ograničene racionalnosti”,
4. tehnologija se razvija po utvrđenim trajektorijama u granicama tehnološke paradigme, dok kolektivni okvir određuje obrazac tehnološkog napretka na osnovu dominantog proizvoda ili usluge,
5. kao rezultat prethodno navedenog, raznovrsnosti tehnika koje se koriste unutar kompanije, kao i između kompanije i sektora čine osnovni instrument ekonomije koja prolazi kroz tehnološke promene.

2.2.3 Kritika neoklasicizma i razvoj neoenergetike

Imajući u vidu da se pregledom literature o razvoju ekonomske misli ne može uočiti jedinstveno shvatanje teorije određivanja vrednosti, potrebno je razmotriti pristupe objektivističke, subjektivističke i hibridne teorije sa ciljem razmatranja različitih stavova o ulozi energetike u okviru pomenute teorije. Upravo su dijametralno suprotni stavovi brojnih autora oblikovali paradigmu ekonomike energetike kakva je danas poznata. U literaturi se pominju brojne teme koje razdvajaju neoklasičnu i ekološku ekonomiju, koje bi se mogle sumirati u sledećim kategorijama (Illge & Schwarze, 2009): koncept ljudskog ponašanja (Costanza et al., 1993), bio-fizičko u odnosu na monetarno vrednovanje prirode (Solow, 1992, Martínez-Alier et al., 1998), procene odnosa održivog razvoja i ekonomskog rasta (Munda, 1997, van den Bergh, 2000), kao i različita tumačenja po pitanju pravičnosti raspodele resursa (Howarth & Norgaard, 1992, Illge & Schwarze, 2009).

Brojni naučnici iz oblasti fizike, biologije i ekonomije bili su uverenja da je energetika istovetna ekonomskom konceptu vrednosti i da su sve tri navedene naučne oblasti od istog značaja za razvoj ekonomske teorije energetike. Autori koji su zastupali ove stavove nazvani su još i „neo-energetičari“. Oni su smatrali da neoklasicizam ne posvećuje dovoljno pažnje ekonomici energetike i da bi energetika trebalo da bude sastavni deo funkcije proizvodnje i da se inkorporira u okviru neoklasične teorije vrednosti (Mirowski, 1988). Time su u velikoj meri bili u pravu, s obzirom da su „pobornici neoklasične ekonomske škole, prilikom ispitivanja uzroka nastanka bogatstva na tržištima, u matematičku formulaciju uključivali kapital i rad, prvenstveno se oslanjajući na Kob-Daglasovu proizvodnu funkciju“ (Hall & Klitgaard, 2012, str. 5).

Određeni autori smatraju da je pojašnjenje razloga nastanka međuzavisnosti između proizvodnih faktora izostalo iz istorijskog toka standardne ekonomske teorije, gde su ekonomski procesi posmatrani kao jednostavni kružni tokovi, kroz prizmu vremenskog perioda. Sasvim suprotno, autori kao što je Georgesku Regen tvrdili su da „procesi ekonomije u svojoj realnosti stalno ukazuju na potragu za prirodnim resursima i efikasnom upotrebom ograničenih ekonomskih faktora“ (Georgescu-Roegen, 1976a). Ipak, pojašnjenje kako energija utiče na proces rada i rast produktivnosti uglavnom je izostao iz ekonomske misli u toku prve polovine XIX veka. Dok neoklasična ekonomska teorija posmatra kompanije „kao monolitične aktere koji maksimizuju profit u uslovima ograničenja nametnutih od strane tehnologije, regulative i sveopštih tržišnih uslova“, teorija post-neoklasicizma tumači kompanije kao mreže pojedinaca (menadžera ili zaposlenih) povezanih protokom materijala i informacija (Dennis, 2006).

Vođeni rezultatima sprovedenih ekonometrijskih analiza, autori Kumel i Lindenberg su mišljenja da pretpostavka jednakosti elastičnosti outputa i učešća faktora u ukupnoj potrošnji neoklasičnog ekvilibrijuma nije osnovana, jer prilikom postavljanja modela nisu uzeta u obzir tehnološka ograničenja. Konkretno, pomenuti autori tvrde da bi, ukoliko se zanemari procena odnosa troškovi - udeo faktora i ekonometrijski odredi elastičnost outputa za kapital, rad, energiju i kreativnost, tada došlo do ekonomske vrednosti energije koja prevazilazi definisan udeo energije u troškovima, čime izostaje Solovljev rezidual. Time zaključuju da „proizvodni faktor energije najviše doprinosi rastu, koji neoklasičari smatraju tehnološkim progresom” (Kümmel & Lindenberg, 2014, str. 16).

Robert Costanza, eminentni zastupnik neo-energetike, svojom *input-output* analizom nastoji da ukaže na zavisnost primarnih faktora proizvodnje od energetike i kako na pomenute faktore indirektno utiču nastali troškovi energetike (ukupne direktne i indirektno energije potrebne za proizvodnju ekonomskih dobara i usluga – na engleskom jeziku *embodied energy*) (Costanza, 1980). Kako bi adekvatno prikazao međuzavisnost primarnih faktora proizvodnje u analitičkom modelu, Costanza se osvrće ka Leontijevom konceptu zatvorenog ekonomskog sistema, predstavljajući domaćinstva i vladu kao endogeni sektor, radi realnog prikaza neto inputa za model (Costanza, 1980, str. 3).

Premda je ovaj naučni pokret naišao na veliku podršku u akademskim krugovima, zagovornici neoklasične ekonomske škole uspeli su da ospore usvajanje osnovnih postulata ekonomske analize energetike.

Posmatrajući ranu neoklasičnu ekonomsku literaturu, primetna je klasifikacija kriterijuma za faktore proizvodnje prema njihovoj zamenjivosti, oskudnosti, važnosti za proizvodni proces i egzogenosti, tj. da li su nastali van procesa koji su obuhvaćeni ekonomskim sistemom (Cesaratto, 1999). Prema istraživanjima određenih neoklasičnih ekonomista (Berndt, 1978; Denison, 1985) konstatuje se da energetika, po svemu sudeći, nije veoma važan faktor za podsticaj ekonomskog rasta. Interpretacija neoklasičnog pristupa Slesera je da, u tom kontekstu, „ekonomija posmatra svet kao zatvoreni sistem koji ima pristup neograničenim izvorima energije, za čiju eksploataciju su potrebni vreme, kapital, rad i tehnologija” (Slesser, 1975).

Međutim, ekonomska analiza energetike postaje prisutna u naučnoj literaturi i u kontekstu identifikovanja stepena zavisnosti zemalja od proizvodnje uglja u toku prve industrijalizacije. Energetski sektor koristi inpute drugih sektora (poljoprivrede, transportne industrije, domaćinstava i drugih) ali su energenti i ključni inputi industrijskih sektora, što posledično utiče na potražnju, potencijal supstitucije energentima sa drugim resursima, na snabdevanje ostalim proizvodima i uslugama, investicione odluke, kao i na makroekonomske varijable jedne zemlje (ekonomski output, platni bilans, međunarodnu trgovinu, inflaciju i drugo) (Bhattacharyya, 2011). Time je takođe jasan značaj uticaja nacionalnih institucija, agencija i regulatornih tela na formiranje održive energetske strategije.

Svini objašnjava da „ekonomika energetike proučava sile koje vode ekonomske subjekte da se snabdeju energetskim resursima, da ih pretvore u druge korisne energente, da ih koriste i odlažu zarad kasnije upotrebe” (Sweeney, 2001, str. 4514). Ekonomika energetike proučava i uloge alternativnih tržišnih i regulatornih struktura nad aktivnostima ekonomskih subjekata, ekonomske uticaje distribucije električne energije i posledice po životnu sredinu. Nadalje, ekonomika energetike se može posmatrati i kao primenjena podoblast ekonomije koja obuhvata sve aspekte potražnje, snabdevanja, formiranja cena, regulatornih mera, mehanizama podrške za izvore energije i eksternalija proisteklih iz proizvodnje i upotrebe energije (Tyner & Herath, 2018).

2.3 Uticaj prve naftne krize na razvoj ekonomike energetike

Sektor energetike je kompleksan zbog brojnih faktora (Bhattacharyya, 2011):

- sastavne industrije su veoma izražene tehničke prirode, što zahteva razumevanje osnovnih, to jest pratećih procesa i tehnika kako bi se sistematično pristupilo rešavanju ekonomskih pitanja,
- svaki segment sektora energetike ima svoje specifične karakteristike koje zahtevaju posebnu pažnju i usmerenost ka svim procesima,
- s obzirom da energetika utiče na ukupne ekonomske aktivnosti, a dostupnost ili nedostatak energenata utiče na društvo u celini, moglo bi se konstatovati da postoje opširni društveni izazovi od kojih sektor zavisi, za razliku od većine drugih sektora,
- interakcije između privrednih subjekata i interesnih strana na međunarodnom, nacionalnom i lokalnom nivou oblikuju energetske sektor i doprinose razvoju različitih naučnih subdisciplina ove oblasti.

Korišćenje termina ekonomika energetike u literaturi postaje posebno značajno nakon prvog naftnog šoka 1973. godine, kada su zakoni ponude i tražnje za energentima postali moćan instrument za pregovore između zemalja u sporu, a „kako bi te zemlje organizovale događaje koji bi se odvijali na takav način tako da zakoni ekonomije moraju delovati” (Mitchell, 2011). Kriza početkom 1970tih godina usmerila je pažnju kreatora regulatornih okvira i mehanizama podrške države ka sektoru energetike, što je dalo rezultata da ekonomska istraživanja ove oblasti poprime karakter daleko šireg opsega i delotvornosti nego što je to prvobitno bio slučaj. Autor Fuke je pomenuti fenomen rasta indikatora istraživanja opisao neegzaktnim, nepotpunim, gledajući na tu pojavu kroz kontekst istorijskih događaja, koji su prema njemu imali veći uticaj na obim istraživanja iz ekonomike energetike od opštih kretanja ekonomskog autputa (Fouquet, 2012).

Šurovo objašnjenje krize kroz pad energetskeg intenziteta (upotrebe energije u odnosu na bruto domaći proizvod) je dodatno potkrepilo arugmente za proučavanje uže naučne oblasti ekonomike energetike (Schurr, 1984). Poredeći energetske intenzitet sa opštim porastom produktivnosti u razdoblju od 1880. do 1980. godine, Šur je istraživanje podelio u četiri sekvence (Schurr, 1984):

1. na period pre I svetskog rata, kada je energetske intenzitet stabilno rastao,
2. zatim na pad intenziteta posle rata sve do 1953. godine, koji je bio praćen znatnim porastom produktivnosti,
3. nakon pomenutog perioda energetske intenzitet pokazuje konstantnost kretanja sve do prvog naftnog šoka, uz dalji rast produktivnosti,
4. po okončanju 1973. godine, Šur pokazuje da dolazi do naglog pada i energetskeg intenziteta i produktivnosti, posebno za vremenski period od 1978. do 1981. godine.

Brojna teorijska i metodološka saznanja su se iznedrila iz naftne krize, ukazujući na pregovaračku moć članica Organizacije zemalja izvoznica nafte (OPEC – *Organization of the Petroleum Exporting Countries*) i na njihovu ulogu u međunarodnim okvirima energetskeg tržišta. Stanovište da je kriza bila rezultat promene u percepciji zemalja učesnika na naftnom tržištu, a ne realna promena ekonomske stvarnosti tog vremena, ukazivalo je na potrebu izučavanja ekonomskih tokova na međunarodnom energetskeg tržištu (Ilie, 2006). Spor rast razvijenih ekonomija usled rasta cena nafte i sirovina, kao i rasta trgovinskih barijera praćenog ukidanjem zlatnog standarda za američki dolar 1971. godine doveo je do naglog smanjenja profita zemalja izvoznica nafte (Covi, 2015).

Novi nameti i savremeni pristupi ekonomske politike u oblasti upotrebe fosilnih goriva odrazili su se kroz promenu uslova proizvodnje energije tokom druge polovine 1970tih godina. Istorijska perspektiva sleda događaja prvog i drugog naftnog šoka pojašnjava razloge za nastankom posebne

naučne oblasti ekonomike energetike, kao i razloge za usvajanjem inoviranih mehanizama podrške alternativnim izvorima energije. Važni su i efekti prelivanja na druge sektore i uticaj šoka na stabilnost makroekonomije, ako se uzme u obzir da su to, ekonomski posmatrano, šokovi ponude energenata koje nije jednostavno neutralisati instrumentima ekonomske politike (Jakšić & Ješić, 2021). Težište fokusa ekonomista preusmereno je sa endogenih na egzogene funkcije ekonomije, što nije do tada bilo uobičajeno za okvir njihovog istraživanja (Hall & Klitgaard, 2012). Prethodna kontrola regulativnih mera energetske politike od strane više nacionalnih ili saveznih agencija zamenjena je nastankom novih departmana, vladinih agencija i regulatornih tela. Posledično, većina zemalja članica Organizacije za ekonomsku saradnju i razvoj (OECD – *Organization for Economic Cooperation and Development*) okrenula se ka dugoročnim podsticajnim merama očuvanja održivog razvoja energije i poboljšanja energetske efikasnosti (IEA, 2004b).

The Energy Policy and Conservation Act najobimniji je javni akt proistekao iz prve naftne krize, koji je autorizovao predsednika Sjedinjenih Američkih Država da preduzme niz mera u cilju podsticaja očuvanja izvora energije, što se može okarakterisati i kao početak ekonomskih propisa energetske regulative. Nadalje, Kongres usvaja i dva veoma važna akta pod nazivom *Energy Supply and Environmental Coordination Act* i *The Department of Energy organization Act*, 1974. i 1977. godine, respektivno. Navedena dva akta takođe služe uspostavljanju novog regulatornog okvira energetike. Centralizacija upravljanja energetskom krizom time poprma novi karakter, pri čemu departman za energetiku SAD-a (na engleskom jeziku *United States Department of Energy*) postaje odgovoran za istraživanje i razvoj uvođenja novih tehnologija u polju energetike, kao i za izradu dvogodišnjeg nacionalnog plana energetske regulativne politike (Greer, 2012).

U pogledu institucionalizacije mera za povećanje energetske bezbednosti na svetskom nivou, pozitivan ishod krize ogleda se i kroz osnivanje Međunarodne agencije za energetiku (IEA – *International Energy Agency*) u novembru 1974. godine. Tada je sedamnaest industrijski razvijenih zemalja donelo odluku da osnuje pomenutu agenciju, u uslovima rastućeg pritiska klimatskih promena i tekućih nestabilnosti na elektroenergetskim tržištima. Potreba za sveobuhvatnim alatom koji bi unapredio saznanja o razlogu nastanka energetske krize i primenio kompletan set efikasnih tehnologija podstakao je donošenje ovakve odluke. Nova autonomna agencija stvorena je sa idejom kolektivne međunarodne akcije u slučaju ponovnog nastanka poremećaja u snabdevanju naftom i naftnim derivatima.

Tokom godina, uticaj Međunarodne agencije za energetiku se proširio na čitav spektar energetske pitanja. Prilagođavajući se transformaciji globalnog energetskog sistema, agencija stavlja akcenat na održavanju globalne energetske bezbednosti kroz poboljšanje pouzdanosti, pristupačnosti i održivosti energije, uz veći fokus na tehnologije čiste energije (IEA, 2022b). U njenoj novoj strategiji modernizacije jasna je odlučnost da se doprinese smanjenju negativnih uticaja energetike na klimatske promene. Henri Kisindžer je u svom obraćanju za 35. godišnjicu navedene agencije izjavio da „opasnost od globalnog zagrevanja potekla iz energetskog sektora svakako može u velikoj meri inhibirati ekonomski rast, tako da su se nakon 1973. godine pojavile nove klimatske opasnosti prema kojima bi Međunarodna agencija za energetiku trebalo da usklađuje svoje prioritete i strategije“ (Kissinger, 2009).

Iako povremeno korigovan cikličnom prirodom ekonomske ekspanzije i međunarodnim sukobima, konstantan rast poljoprivredne i industrijske proizvodnje između 1950. i 1973. godine bio je impresivan kako sa aspekta obima, tako i u smislu dostignutih kumulativnih efekata (Rostow, 1978). Ciljevi kao što su stabilnost nivoa cena, puna zaposlenost i rast bruto društvenog proizvoda po glavi stanovnika su bili ispunjeni, tako da je kejnzijanski sistem pokazivao rezultate.

Na osnovu hronološkog pregleda dešavanja u toku 1973. godine (Merrill, 2007), može se konstatovati da su nestašica nafte i nastala kriza na tržištu naftnih derivata proizvele četiri ključna ekonomska efekta:

1. opšti pad u potrošnji nafte,
2. akcije kompanija i postojeća tehnologija postale su previše skupe za neometano funkcionisanje usled rasta cene energenata,
3. marginalni troškovi rasli su za proizvedenu robu,
4. troškovi transporta goriva su porasli.

U toku posmatranih, kriznih perioda još veće poteškoće imale su privrede zemalja u ekonomskom razvoju koje nemaju velike prirodne rezerve nafte. Podložnost eksternim šokovima je posebno bila uočljiva kod tih zemalja, praćena visokom stopom inflacije i sporim privrednim rastom. Pored toga, stopa privrednog rasta na globalnom nivou opala je za 2 procentna poena između 1972. i 1975. Godine (Gurtner, 2010). Velike fluktuacije deviznih kurseva stvorile su nestabilnost finansijskog sistema, uzrokujući deficit platnog bilansa. Nakon naftnog šoka usledio je i znatan porast potrošnje energije u odnosu na posmatranu dodatnu vrednost i takav trend je trajao sve do stabilizacije cena sredinom 1980tih godina (IEA, 2004b).

Intenziviranje trgovine naftom i porast cena naftnih derivata uzrokovao je nastanak većeg broja kompleksnih ekonomskih transakcija, pružajući zemljama nove šanse za većim uticajem na globalnom geopolitičkom nivou i stvarajući uglavnom veću međuzavisnost nacionalnih ekonomija. Posledično, rast cena nafte izazvao je paradoksalni makroekonomski problem kroz istovremena inflatorna i deflatorna dejstva na nacionalnom nivou. Takve okolnosti su dodatno nepovoljno uticale na makroekonomsku stabilnost, s obzirom da se tradicionalnom ekonomskom politikom moglo samo odvojeno odgovoriti na inflaciju ili na nezaposlenost (Ikenberry, 1988).

Način na koji se investira u nove izvore je verovatno jedno od najvažnijih pitanja ekonomske regulative upotrebe energenata. Posmatrajući energetske efikasnosti kroz komponentu povrata energije na ulaganje (EROI – *Energy Return on Investment*) može se primetiti da su sledeći izazovi za dalji rast presudni (Hall & Klitgaard, 2012):

1. kontinuirani pad EROI pokazatelja će znatno ograničiti mogućnosti investiranja u nove energetske tehnologije,
2. potreba za profesionalnim prikupljanjem podataka u proceni efikasnosti alternativnih izvora energije, koja bi trebalo da potiče od strane subvencioniranih programa države,
3. pronalazak optimalnog rešenja za ekonomsku analizu, napuštanje konvencionalnog pristupa sa ciljem rešavanja izazova sa kojima se susreću tržišni učesnici u eri ekonomije zasnovane na znanju.

Na osnovu pregleda literature, stiče se utisak da je potrebna šira društvena debata radi predloga konceptualnog rešenja za legitimizaciju korišćenja novih indikatora društvenog progressa. U toku 1970tih godina prvi put se pominje i kvalitativan rast, termin kojim bi se odvojili koristan rast od rasta koji po svojoj prirodi ima negativne posledice po celo društvo (Leipert, 1986). Pomenuti period produbljiivanja energetske krize i stvaranja dalekosežnih energetske šokova pozitivno se reflektovao na adaptaciju novih, održivih modela energetskog razvoja sa fokusom na energetske efikasnosti.

2.4 Energetska efikasnost i njene implikacije za ekonomiku energetike

Sa ciljem smanjenja emisije štetnih gasova, energetska efikasnost bi trebalo da rastereti stranu potrošnje električne energije, ujedno stvarujući koristi za nacionalnu ekonomiju. Ipak, troškovno efikasne tehnološke inovacije upotrebe energenata često rezultuju širim rasponom mehanizama povratne sprege ili takozvanih povratnih efekata (na engleskom jeziku *rebound effects*), koji smanjuju obim sačuvanih energenata.

Energetska efikasnost postaje posebno relevantan predmet izučavanja za ekonomiste tokom 1980tih godina, nakon završetka prve i druge globalne krize na tržištu naftnih derivata, koje će promeniti uslove proizvodnje i trgovine energentima uz akcenat na tržišno orijentisanim reformama. Transformacija primarne u sekundarnu energiju i posledično dolazak do ekonomski isplative energije tercijarnog oblika praćen je efektom multiplikatora satisfakcije krajnjih korisnika energije, sa racionalnim smanjenjem procentualnog učešća energetske-intenzivnih proizvoda u bruto domaćem proizvodu i sa premeštanjem fokusa ka uslužnoj industriji. Efikasnost u smislu redukcije upotrebene energije po jedinici proizvoda ili pružene usluge proistekla je od tehničkih promena odgovornih za kontinuirano smanjenje troškova tehnologije snabdevanja energijom (Azar & Dowlatabadi, 1999).

Kvantifikacija energetske efikasnosti može se sagledati i u kontekstu ukupnih promena energetske intenziteta. Produktivnost i energetske intenzitet jesu indikatori rasta energetske efikasnosti, s tim da kao izolovani pokazatelji mogu preceniti uzrok napretka u polju efikasnosti, s obzirom da ona direktno zavisi i od klimatskih uslova, rasta ukupnog stanovništva i strukturnih promena u ekonomiji (Nordhaus et al., 2013). Iako se može pretpostaviti da bi rast energetske efikasnosti smanjio ukupan energetske intenzitet, povratni efekat u okviru mikroekonomske analize nastaje kada krajnji korisnici nastoje da koriste više energetske usluga usled pada troškova tih usluga, što bi posledično značilo da će finalna potrošnja energije i energetske intenzitet sporije opadati od rasta energetske efikasnosti (Stern et al., 2019). Dodatno, sa aspekta troškova energije u trgovini, uočeno je da „povećanje energetske efikasnosti u maloprodaji smanjuje rizik povećanja troškova energije, što se pozitivno odražava na ukupne operativne troškove i profit u maloprodaji“ (Lukić & Molnar, 2016, str. 292-293).

Očuvanje energije i njena efikasnost mogu biti stimulisani informacijama, tehnološkim progresom, nestašicom energije, povećanjem cena energenata, kao i regulatornim kodeksima i standardima. Stoga, efikasnost u kontekstu očuvanja energije sa aspekta ekonomskih mehanizama podrške predstavlja racionalnu upotrebu energije kroz redukciju otpadnih i hazardnih materijala (Chandler, 2006).

Polja novih istraživanja poboljšanja energetske efikasnosti mogu se podeliti na (Brown & Wang, 2017):

1. kvantifikaciju smanjenja emisija štetnih gasova radi utvrđivanja heterogenosti vrsta goriva,
2. razmatranje pitanja kvaliteta energetske usluge,
3. poboljšanje merenja i procene rasta efikasnosti nastale od regulative energetske politike,
4. jačanje empirijskog utemeljenja transakcionih troškova, diskontne stope i povratnih efekata sa namerom njihovog oblikovanja prema regulativnoj politici i
5. bolje razumevanje preferencija potrošača i upotrebe efikasne tehnologije kroz jačanje multidisciplinarnog istraživačkog identiteta.

Oporezivanje emisije štetnih gasova neadekvatne upotrebe energenata i savremeni koncepti kreiranja okvira za mehanizme podrške efikasnosti podstiču nove pravce usporavanja iscrpljenja rezervi prirodnih resursa. Kroz odnos „troškovi-efikasnost“ posmatra se odnos ukupnih troškova

mehanizama podrške energetske efikasnim sistemima i ukupno sprečene emisije tona ugljen dioksida. Argumenti za zastupanje regulative energetske efikasnosti mogu se sumirati u četiri, međusobno komplementarnih stavki od posebnog značaja a to su: (1) ušteda državnih sredstava, (2) smanjenje energetske zavisnosti, (3) ublažavanje posledica emisije gasova sa efektom staklene bašte i (4) održivost ekonomskog razvoja (Anderson, 1993). Intenzitet rasta svetske populacije i potražnja za energijom zemalja u razvoju zasigurno će umanjiti mogućnosti postizanja više energetske efikasnosti. Shodno tome, u narednih nekoliko decenija predviđanja su da bi se morao dostići dva puta brži globalni prosperitet sa upola manje trenutno iskorišćene energije i prirodnih resursa (Weizsäcker, 1998).

2.5 Osnova uloge zakona termodinamike u oblasti ekonomike energetike

Ekonomisti su veliki deo pažnje posvetili pojašnjenju vrednosti sa aspekta njenih fizičkih korena kroz, na primer, zakon opadajuće granične korisnosti, ali su istovremeno u većoj meri prevideli važnost biofizičkih ograničavajućih faktora za ekonomske podsisteme. Kako bi se spoznao razvojni put uže naučne discipline ekonomike energetike, u analizu se moraju uvrstiti i doprinosi drugih naučnih disciplina, grana i usmerenja iz kojih su kasnije proistekli postulati ekonomske teorije za savremene tokove energetike. Upravo tako, termodinamika u okviru prva dva, osnovna zakona podseća na zakonitosti kretanja energije i na oskudnost dostupnih resursa.

Termodinamika približava procese energetske efikasnosti i korisnosti upotrebe energije ekonomskoj analizi, služeći ekonomistima kao spona između ekonomske misli i prirodnih nauka. Shodno tome, realizacija ekonomske aktivnosti je do te mere promatrana u kontekstu termodinamike da je 1962. godine profesor Majron Tribus uveo poseban koncept, pod nazivom *termo ekonomika*. Naime, Tribus i Evans su bili stava da bi se novom teorijom poslovnih ciklusa razmotrile sve karakteristike sistema proizvodnje u pogledu energetske efikasnosti (Tribus & Evans, 1962). Ubrzo se pomenutim istraživanjima priključio i autor El Sajed, sa ciljem definisanja ekonomskih procedura za termodinamičke procese obrade energije (El-Sayed, 2003). Prva termoeekonomska analiza, nazvana Tribus-Evans procedura, nastojala je da utvrdi kretanje tokova novca, cena goriva i amortizovanih kapitalnih troškova energetskog postrojenja (Frangopoulos, 2009). Termoeconomika ima i integrativnu i eksplorativnu funkciju, sa antropocentričnim shvatanjem efikasnosti, pa je označena još kao nauka o očuvanju energije (Bramakis & Karellas, 2017).

Konkretno, termo ekonomika se može objasniti kao spoj termodinamike, poslovne ekonomije i makroekonomije koja bi trebalo da obezbedi teorijske osnove za funkcionisanje energetske intenzivnih sistema, sa aspekta odnosa efikasnosti i troškova. U teorijskom smislu, osnovno pitanje koje bi trebalo postaviti u polju termo ekonomike jeste da li postoji sistem koji ima višu energetske efikasnost uz niže troškove proizvodnje po jedinici autputa, u istovetnim uslovima zadatih ograničavajućih parametara sistema (El-Sayed, 2003).

Tako, na primer, termin *energija* označava izraz za ukupnu energiju i materijalne resurse koji su upotrebljeni u procesu rada sa rezultatom kreiranja proizvoda ili usluga, izračunatih u jedinicama jednog oblika energije (Scienceman, 1987). Hauard Odum je tokom 1970tih godina zastupao mišljenje da se merilo kvaliteta proizvoda može izraziti u formi ukupne energije koja je bila potrebna da se realizuje proces proizvodnje. Verovanjem da je *energija* mera podrške životne sredine bilo kom procesu u biosferi, Odum i Sajnsmeni su koristili reč transformitet kako bi definisali odnos ukupne energije i dostupne energije proizvoda u cilju klasifikacije termodinamičke hijerarhije komponenti proizvodnog sistema (Brown & Ulgiati, 2002).

Termo ekonomika se može podeliti na dve velike podoblasti: jedna ispituje računovodstvene troškove upotrebe energije (uključuje teoriju troškova *eksergije*, pristup prosečnom trošku, *Last-in-First-out* pristup i druge), dok se druga mahom bavi tehnikama optimizacije sistema (na primer, termo ekonomskom, funkcionalnom analizom itd.) (Frangopoulos, 2009). U navedenom postupku formiranja troškova ekonomija i fizika se komplementarno dopunjuju, dok se termo ekonomika može prikazati i kao opšta teorija uštede korisne energije u kojoj je osnovni koncept efikasno očuvanje energije. Jedna od interpretacija jeste da očuvanje energije podrazumeva uvećanje efikasnosti ili produktivnosti energetske upotrebe kako bi srazmerno porastao ekonomski autput sa manje uposlene energije, ili usmerenjem ka obilnijim izvorima energije (Chandler, 2006).

Poboljšanje troškovne analize i sagledavanje uzroka energetske neefikasnosti vodi ka kontinuiranom uvećanju optimizacije sistema, čime se zadovoljava uslov proširenja istraživanja interakcije troškova i efikasnosti na primarno kvantitativnoj osnovi, kao temelja termo ekonomike energenata. Prema Frangopoulosu, koncept procene troškova korišćenja resursa i ireverzibilnosti sistema čine ekonomsku logiku termo ekonomike, uz fokus na sagledavanju ekonomskih troškova. Ireverzibilnost proizvodnih procesa se odnosi na njihov kapacitet nepovratne dezintegracije prirodnih resursa. Ako se ovakav trošak termodinamike može obračunati lociranjem, identifikovanjem i kvantificiranjem uzroka neefikasnosti poslovnih procesa, time se daje na objektivnosti ekonomije kroz procesni pristup (Frangopoulos, 2009). Dakle, ukoliko se može uočiti i sprečiti degradacija energenata i prirodnih resursa od strane poslovnih sistema, termo ekonomika je ispunila početne pretpostavke stabilizacije sistema. Tačnije, sve materijalne transformacije moraju zadovoljiti uslove prvog i drugog zakona termodinamike, pa stoga ekonomski modeli koji ispituju buduće procese i tehnološki razvoj moraju se pridržavati ovih ograničenja fizike.

Ekonomska specifičnost energetike je prikazana u prvom zakonu termodinamike činjenicom da „energenti nisu ni kreirani ni uništeni, već su samo pretvoreni ili redistribuirani iz jedne forme u drugu”, što dalje implicira da su energenti i ključni limitirajući faktori ekonomskog rasta, potrebni da bi nastala većina dobara i usluga (Hinrichs & Kleinbach, 2013). Sledi da je ovaj princip relevantan za cirkularnu ekonomiju, gde se zatvaranjem protoka materijala određeni deo otpada može ponovo upotrebiti u svojstvu resursa. Proizvodno-tehnološka formulacija prvog zakona termodinamike, još zvanog i zakonom očuvanja energije, može glasiti i da je nemoguće sastaviti mašinu koja će realizovati proces rada bez inputa energije (Kümmel, 2011).

Brojni istaknuti autori, poput Ernsta Maha i Vilhelma Ostvalda, smatrali su da prvi zakon termodinamike iz 1841. i 1842. godine predstavlja početak formalizacije naučne analize energetike (Banks, 2004, Stewart, 2014). Upravo je bolje razumevanje konverzije energije unutar parne mašine bio presudan razlog za definisanje zakona, kako bi se dalje mogli razviti napredni motori i sistemi proizvodnje. Prema prvom zakonu termodinamike, maksimizacija efikasnosti se odvija ukoliko je input energenata jednak ostvarenom autputu, tačnije ukoliko ne postoje gubici energije unutar zatvorenog sistema. Međutim, za određivanje maksimuma efikasnosti kao mere „pristupa idealu” funkcionisanja sistema potrebno je uvrstiti i reverzibilne procese kojima će se uočiti koji udeo inputa energije je očuvan i koliko je odstupanje sistema od standardnog procesa rada (Dincer & Rosen, 2007a). Određivanje mera odstupanja od standarda može se utvrditi i razmatranjem u kojoj meri se promenio iznos prvobitno uložene energije nakon završetka samog procesa. Da bi se to učinilo, neophodno je odrediti kvantitativnu dimenziju kvaliteta i upotrebljivosti grupe energenata.

U skladu sa zakonom rastuće entropije (ili drugim zakonom termodinamike Rudolfa Klauzijusa), ireverzibilni procesi kao što je konverzija ili cirkulisanje energije stvaraju entropiju, to jest težnju sistema da pređe u stanje veće neuređenosti, pa je tako ustanovljeno da sve životne forme zavise od dostupnosti i korišćenja upotrebljive energije (Kümmel, 2011). Prema Kalilu, entropija se može objasniti i kao mera poremećaja unutar zatvorenog sistema, čijim se povećanjem smanjuje obim dostupne energije angažovane da se obavi proces rada. U tom kontekstu, gubitak toplotne energije

odnosi se na propuštenu šansu a ne na realan sistemski trošak, pa se još naziva i entropijskim troškom (Khalil, 2004).

Izjavom da „svaki živi organizam zahteva održavanje svoje uredene strukture korišćenjem niske entropije iz životnog okruženja kako bi kompenzovao za neizbežnu i kontinuiranu entropijsku degradaciju” (Georgescu-Roegen, 1971, str. 191) čuveni američki ekonomista, filozof i pionir termo ekonomike, Nikolas Georgescu-Roegen, ukazao je na korisnost dostupne energije sa aspekta oskudnosti resursa. Isti autor smatrao je da je koren ekonomske vrednosti entropijska degradacija energije i materije u rasutom stanju (Georgescu-Roegen, 1992). Posmatrano sa aspekta resursnih ograničenja i zakona entropije, ekonomski proces transformiše samo vredne prirodne resurse (niska entropija) u neupotrebljivi otpad (visoka entropija), kvalitativno razdvajajući energiju u dva oblika: dostupnu ili slobodnu energiju i „vezanu“ energiju. On je, shodno tome, ustanovio da je zakon entropije do te mere važan za ekonomiju da čak predstavlja i „najviše relevantan zakon prirode za ekonomske nauke, kao i za osnovu ekonomije procesa na svim nivoima” (Georgescu-Roegen, 1976b).

S tim se nije u potpunosti složio Kalil, tvrdeći da ekonomski procesi ne mogu biti regulisani samo zakonom entropije (Khalil, 2004). Prema njemu, zakon entropije ne može objasniti kretanje troškova proizvodnje. Iako troškovi proizvodnje uzrokuju *ex post* rast neto iznosa entropije, sa sobom povlače i druge varijable hemijskih reakcija pa stoga više predstavljaju prvi, a ne drugi zakon termodinamike. Samim tim, Kalil ističe značajnu razliku između entropije nastale usled zakonitosti razlaganja otpadnih materija i otpada kao užeg pojma, nastalog kao rezultata potrošnje ili proizvodnje u okviru jednog sistema (Khalil, 2004). Cilj svođenja ekonomske kalkulacije na uticaj entropije jeste da se pronade sistem koji će od mogućih rešenja obezbediti željeni izvor energije, uz najnižu moguću cenu koštanja (Quaschnig, 2005).

Kako bi se kvantitativno odredila efikasnost u okviru drugog zakona termodinamike, ustanovljena je protivteža entropiji nazvana negentropija (Häfele et al., 1981). Negentropija je merilo čija se vrednost u apsolutnom iznosu ne definiše, povezana je se nesavršenim uslovima rada i rast korišćenja negentropije jednak je negativnoj vrednosti rasta entropije (Dincer & Rosen, 2007b). Doduše, isti autori smatraju da se opšta efikasnost ne može utvrditi na osnovu negentropije jer njena apsolutna veličina nije određena. Ipak, njena primena je posebno delotvorna u slučaju internalizacije troškova reziduala eksergije za svaki podproces sistema ponaosob (Valero, 1998).

Termodinamičko svojstvo kome je sa aspekta maksimuma efikasnosti i ekonomski racionalnog odlučivanja potrebno posvetiti posebnu pažnju zove se eksergija (na engleskom jeziku *exergy*). Eksergija se često u naučnoj literaturi preimenuje i u dostupnu, korisnu energiju, a u kvantitativnom smislu ona označava maksimum mehaničkog rada koji se može postići od strane kompozicije sastava sistema u referentnom okruženju (Wang, 2020). Ekonomski posmatrano, eksergija je onaj deo energije koji za privredne subjekte ima isplativu vrednost od suštinskog značaja za proizvodnju. U smislu autputa, eksergija uključuje korišćeni i neiskorišćeni autput, recimo gubitke usled ireverzibilnosti i nusprodukte proizvodnje. Zato se evaluacija eksergije odvija u više faza procesnog razvoja kao garant dostizanja tehnološke efikasnosti uz smanjenje troškova, vodeći pri tome računa o ispunjenju društvenih i pravnih uslova preduzeća (Gude, 2015).

Energetski analitičari su osamdesetih godina prošlog veka predložili nove koncepte energetskih troškova, primarne energije, upotrebljive energije, sive energije (na engleskom jeziku *embodied energy*), te stoga eksergija kao savremeni pristup ima za cilj da objedini nove koncepte i približi energiju matematičkoj formulaciji relevantnoj za ekonomiste. Bliži uvid za razlikovanje osnova između energije i eksergije dat je u narednoj tabeli.

Tabela 2.1: Uporedan prikaz svojstava energije i eksergije

Energija	Eksergija
Zavisi od svojstava materije ili toka energije, ali ne zavisi od svojstava sredine.	Zavisi od tokova materija i energije, ali i od svojstava sredine.
Ima vrednosti koje nisu jednake nuli kada je u ravnoteži sa sredinom (uključuje jednakost i sa mc^2 Ajnštajnovom jednačinom).	Jednak nuli u termodinamički mrtvom stanju po osnovu potpune ravnoteže sa sredinom.
Očuvana za sve procese, prema prvom zakonu termodinamike.	Očuvana za reverzibilne procese, ali nije očuvana i za stvarne procese (gde je jednim delom ili u celini uništena kao posledica ireverzibilnosti sistema), na osnovu drugog zakona termodinamike.
Ne može nastati niti biti uništena.	Ne može nastati niti biti uništena u reverzibilnom procesu, ali je uvek uništena (upotrebljena) u ireverzibilnom procesu.
Pojavljuje se u mnogim oblicima (kinetička energija, potencijalna energija, rad, toplota) i meri se u datom obliku.	Pojavljuje se u mnogim oblicima (kinetička eksergija, potencijalna eksergija, rad, termalna eksergija) i meri se radom ili sposobnošću stvaranja rada.
Kvantitativna mera	Kvantitativna i kvalitativna mera

Izvor: (Dincer & Rosen, 2007a, str. 13)

Primetno je da se analiza protoka eksergije (na engleskom jeziku *Exergy Flow Analysis*) može koristiti kao alat za identifikovanje materijalnog otpada i gubitka energije, ali istovremeno može biti i baza za poređenje troškova komponenti proizvoda. Faktor ekonomske eksergije poredi kapitalne troškove elektrane i povezane procesne troškove ireverzibiliteta. Zapravo, kasnije nastali troškovi rezultat su uvećane količine energije ili materijala potrebni da se realizuje proizvodnja, što se poredi sa idealnim poslovnim procesom (Tonon et al., 2006). Metoda se tiče pronalaska optimalne konfiguracije i predložena je za različite oblike kompleksnih sistema, a našla je primenu i u brojnim agencijama energetike za definisanje regulativnih mera dugoročnog planiranja energetske sistema (Sciubba, 2001).

Osnova za procenu troškova u okviru termoekonomske analize eksergije (upotrebljive energije) i njihov ukupan odnos se prikazuje kao (Bejan et al., 1996):

$$f_{G,k} = \frac{\ddot{F}_{G,k}}{\ddot{E}_{G,k}} \quad (2.2)$$

$$f_{P,k} = \frac{\ddot{F}_{P,k}}{\ddot{E}_{P,k}} \quad (2.3)$$

$$\ddot{F}_{D,k} = f_{F,k} \ddot{E}_{D,k} \quad (2.4)$$

$$\ddot{F}_{L,k} = f_{F,k} \ddot{E}_{L,k} \quad (2.5)$$

$$g_k = \frac{f_{P,k} - f_{G,k}}{f_{G,k}} = \frac{\ddot{F}_{D,k} + \dot{O}_k}{f_{G,k} \dot{L}_{P,k}} = \frac{1 - \gamma_k}{\gamma_k} + \frac{\dot{O}_k}{f_{G,k} \dot{L}_{P,k}} \quad (2.6)$$

$$s_k = \frac{\dot{O}_k}{\dot{O}_k + (\ddot{F}_{D,k} + \ddot{F}_{L,k})} \quad (2.7)$$

gde je prosečan jedinični trošak goriva ($f_{G,k}$), prosečan jedinični trošak proizvoda ($f_{P,k}$), nivo troškova za eliminisanje eksergije ($\ddot{F}_{D,k}$), nivo troškova gubitka eksergije ($\ddot{F}_{L,k}$), relativna razlika u troškovima (g_k) i eksergo-ekonomski faktor (s_k).

S obzirom da troškovi eksergije nemaju *per se* dodeljenu monetarnu vrednost, niti su direktno određeni u odnosu na proizvod, protok energije ili proizvodnju, proces formiranja troškova je ključno pitanje u pogledu određivanja energetske efikasnosti posredstvom termoekonomske analize. Ukoliko se u obzir uzme kompleksnost mehanizma i raznovrsnost proizvoda, distribuciju troškova za input eksergije u sistemu nije moguće utvrditi, to jest njihova alokacija ne bi bila ekonomski racionalna. Umesto navedenog, sistem bi trebalo podeliti u formi više linearnih funkcija podsistema na način tako da je sistem prikazan opštom funkcijom:

$$E = m(h - T_x s) \quad (2.8)$$

gde je m masa, h entalpija (mera totalne energije sistema), s entropija i T_x temperatura. Funkcionisanje sistema matematički se može objasniti kao (Valero, 1998):

$$E_i = f_i(\{x\}, E_j) \quad (2.9)$$

pri čemu je $i = 1 \dots$ broj ulaza u sistem $j = 1 \dots$ broj izlaza iz sistema i $\{x\}$ = set internih parametara koji upravljaju protokom energije (ekvivalent funkciji proizvodnje). Kada se sistem podeli u dovoljan broj manjih linearnih intervala, autor zaključuje da se dobija:

$$E_i = k_{i1} E_1 + k_{i2} E_2 \quad (2.10)$$

što se odnosi na linearan odnos ulaza i izlaza u okviru sistema a parametri k_{ij} predstavljaju interne substitute parametara za svaki identifikovani sistem, tako da važi:

$$k_{ij} = \left(\frac{\partial E_i}{\partial E_j} \right)_{(E_n, k_{in}) \text{ constant}} \quad (2.11)$$

k_{ij} koeficijenti prikazuju potrošnju jedinice resursa i da bi se dobio proizvod j i u tom smislu mogu predstavljati analogiju tehničkim koeficijentima u „input-output“ teoriji Leontijeva (Rocco, 2016). Dakle, odnos troškova između ulaza i izlaza utvrđen je pomoću parametara jedinične potrošnje, a alokacija troškova je jednostavna primena pravila lanca u proračunu derivata (Valero, 1998).

3 ENERGETSKO MODELIRANJE

Kako bi se definisala odgovarajuća energetska regulativna politika na državnom nivou, podstakla energetska efikasnost, kontrolisao nivo finalne potrošnje energije i izvršio odabir tehnologija proizvodnje, važno je izabrati adekvatan pristup energetskom modeliranju (Sanchez-Escobar et al., 2021). Energetski modeli se mogu razvijati za efikasno predviđanje, planiranje, projektovanje, rad i optimizaciju energetskih sistema (Kondili, 2010).

Kao energetski modeli koriste se dinamički modeli optimizacije, koji bi trebalo da formiraju celokupnu strukturu sektora energetike, pri čemu se uzimaju u obzir relevantne tehnološke, ekonomske i ekološke karakteristike energetskog sistema (Strubegger & Messner, 1987). Heterogenost primenjenih energetskih modela i u njima definisanih energetskih scenarija zahtevaju specifične, tehnički napredne veštine za adekvatnu procenu kretanja u tako multidisciplinarnoj disciplini (Cao et al., 2016). Energetsko modeliranje može se opisati i kao proces koji sadrži tri međusobno povezane aktivnosti: formulaciju modela, procenu parametara i validaciju modela (Labys, 1982).

3.1 Klasifikacija energetskih modela

Prema Medouzu i ostalim autorima, model je uređen skup pretpostavki o kompleksnom sistemu, pokušaj da se shvati određeni aspekt beskonačno raznolikog okruženja biranjem na osnovu prošlih iskustava i saznanja kroz skup opštih zapažanja koja su aplikativna za posmatrajući problem (Meadows et al., 1972). Sa rastom složenosti energetskih sistema na nacionalnom i globalnom nivou rastao je obim podataka i broj nametnutih tehnoloških ograničenja, te su organizacija i podela rada u okviru sektora postajali sve manje jasni (Kavrakoğlu, 1979). Danas, zbog naprednih mogućnosti upotrebe računara i računarskog programiranja, ukupan broj energetskih modela i njihova kompleksnost stalno rastu. Modeli se razlikuju u znatnoj meri po strukturi i opsegu primene, dok složenost dobijenih rezultata često predstavlja izazovan zadatak za analitičare navedene oblasti. Relevantnost energetskih modela ogleda se i u implementaciji strategija dekarbonizacije energetike. Ističu se četiri glavna izazova sa kojima se suočava savremeno modeliranje energetskih sistema (Fodstad et al., 2022):

1. vreme i prostor za koje se model definiše,
2. istraživanje više-energetskih sistema (optimalna koordinacija između različitih energetskih kategorija, na engleskom jeziku MES – *Multi-Energy Systems*),
3. modeliranje uz osvrt ka neizvesnosti,
4. ispitivanje ponašanja potrošača energije i modeliranje energetske tranzicije.

Energetsko planiranje i kreiranje scenarija u okviru modela imaju dva ključna cilja: davanje smernica i projekcije o budućim energetskim sistemima, kao i pružanje podrške donosiocima odluka za razvoj kratkoročne i dugoročne strategije energetike (Cao et al., 2016). Sveobuhvatno i integrisano energetsko planiranje trebalo bi da uzme u obzir potencijal povećanja energetske efikasnosti kako bi se redukovale potrebe za investicijama u nove tehnologije proizvodnje i transmisije električne energije (Wang & Brown, 2014). Isti autori dodaju da su poboljšanja u okviru energetskog modeliranja zasnovanog na znanju od presudnog značaja za planiranje ekspanzije transmisije i distribucije energije, kao i za optimizaciju mehanizma podrške energetske regulativne politike.

Šterman (Sterman, 1991) tvrdi da bi model trebalo da bude dizajniran tako da se fokusira samo na ograničeni sistem u okviru privrede, kao što je to tranzicija od upotrebe konvencionalnih goriva ka

OIE. U tome se pronalazi korisnost samog modela, jer ukoliko izostane usmerenje istraživanja ka jednoj celini privrede on postaje previše složen i empirijski neshvatljiv za analitičare, kao što je to slučaj kod sveobuhvatnog modela koji nema fokus na jednom segmentu industrijskog sektora.

Shodno navedenom, važno je i razgraničiti naučnu oblast koja se istražuje, s obzirom na multidisciplinarnost opsega istraživanja sektora energetike. U tom smislu, energetske sistemi predmet su istraživanja prevashodno u okviru dve oblasti: (1) ekonomike energetike i (2) procesnog sistemskog inženjerstva (Subramanian et al., 2018). Pristup procesnog sistemskog inženjerstva je takođe zasnovan na ekonomskim osnovama, kao što su to minimizacija troškova životnog ciklusa racionalnih ulaganja, procena uticaja tržišnih neuspeha na usvajanje energetske efikasne tehnologije, efikasna alokacija resursa i na drugim ekonomskim tezama (Sanstad & Howarth, 1994).

Problem asimetričnosti informacija prouzrokuje ograničenu racionalnost potrošača, što je još jedan izazov za energetske modeliranje. Savremena makroekonomija ukazuje i na sve veću podelu u distribuciji informacija i znanja, to jest na postpunu asimetričnost. Tako, dok neki tržišni učesnici imaju sve potrebne informacije za donošenje odluka, druga tržišna grupa nema ni jednu (Jakšić & Prašević, 2014). Kao što je naveo i Fridrih Hajek, „ekonomski problem društva nije samo problem na koji način alocirati raspoložive prirodne resurse, već je to i problem upotrebe znanja koje nikome nije dato u potpunosti“ (von Hayek, 1945). Bez obzira što potražnja za energijom nastaje na osnovu ekonomskih odluka i ličnih preferencija potrošača, one dosta zavise od socio-tehničkog sistema, koji ih oblikuje, održava i stabilizuje (Sorrell, 2015). Navedena ograničenja mogu biti izazov i za uvođenje tehnologije nove generacije. Kako bi se kreirao holistički pristup rešenju postoji potreba za sistematizacijom modelovanih rešenja.

Tabela 3.1: Vrste ograničenja za modeliranje tržišta zasnovanog na „čistoj“ energiji

Vrsta	Opis
Nesavršene i asimetrične informacije	Agencijski problem može dovesti do potcenjivanja troškova životnog ciklusa od strane proizvođača i neracionalne potrošnje korisnika električne energije.
Visoki transakcioni troškovi	Problemi sa optimizacijom troškova zaliha napredne opreme i sa iskorišćenjem potencijala kadrovskih resursa. Kompleksna implementacija projekata obnovljivih izvora energije.
Ograničene kognitivne sposobnosti	Pristrasnost u proceni energetske alternativa. Pojedinci i kompanije imaju averziju prema investicionom riziku.
Nesavršena konkurencija	Propisi i mehanizmi podrške mogu omogućiti određenim privrednim subjektima monopolističko pozicioniranje na tržištu.
Eksterni troškovi i koristi	Bezbednosne procene distribucije energetske resursa su često nemerljive. Postoji izazov praćenja i projekcije ekoloških eksternalija od korišćenja fosilnih goriva.
Isključivost	Problem dostupnosti savremenih tehnologija za krajnjeg korisnika. Porez na ugljenik može biti opterećenje za pojedince koji ne mogu zameniti neefikasne tehnologije.
Ograničenja monetizacije	Potencijal opasnosti po zdravlje građana i po biljne i životinjske vrste.

Izvor: (Sovacool et al., 2016)

Kompleksnost ispunjenja uslova energetske efikasnosti nije uvek u potpunosti prikazana kroz modele. Primenu programa energetske efikasnosti teško je kvantifikovati i postoji realna pretnja nastanka skrivenih troškova projekta, te bi okvir energetske politike trebalo da uzme u obzir sve prednosti i mane instrumenata podrške novim tehnologijama i da ih prilagodi policentričnom sistemu (Brown & Wang, 2017).

Energetski modeli mogu usmeriti donošenje odluka o investicijama u dodatne kapacitete za proizvodnju električne energije definisanjem različitih strategija za ispunjenje budućih energetske zahteva i ciljeva zaštite životne sredine (Heuberger et al., 2017). Pomenuti autori takođe tvrde da energetski modeli mogu pojasniti ekonomsku opravdanost tehnologija u okviru elektroenergetskog sistema i ukazati na tačku optimuma ulaganja. Može se ustanoviti da je za modele savremenih energetske sistema veliki izazov na koji način obuhvatiti visok stepen varijabilnosti i složenosti energetskog sistema, a ujedno uključiti i sve korišćene tehnologije.

Feninger i ostali autori (Pfenninger et al., 2014) predstavili su sledeće izazove modelovanja energetskog sistema: (1) rezoluciju u vremenu i prostoru, (2) neizvesnost i transparentnost, (3) integraciju rastuće složenosti energetskog sektora i (4) integraciju komponenti bihejvioralne ekonomije. Razmatranje tehnološkog učenja u energetskim modelima od ključne je važnosti, pa se može primeniti i metoda krive iskustva sa aspekta analize odnosa između kumulativnog instaliranog kapaciteta i smanjenja jediničnih troškova tehnologije (Schreiber et al., 2020). Dodatno, postoje brojni faktori koji su navedeni kao mogući kriterijumi za optimizaciju energetskog sistema, poput bruto prihoda, bruto proizvodnje, profita, količine energije, bruto nacionalnog proizvoda, energetske performansi i drugih, a uz pretpostavku postojanja limitirajućih faktora proizvodnje električne energije (Jebaraj & Iniyar, 2006).

Najčešće korišćene paradigme u okviru energetske modela mogu se podeliti na četiri kategorije (Kavrakoğlu, 1987):

1. fenomenološki pristup – analizom istorijskih podataka proceniti buduće odnose varijabli (ne uključuje kauzalan odnos),
2. pristup ravnoteže – simultano rešenje skupa nelinearnih jednačina (problemi sa specifikacijom, identifikacijom i stabilnošću ove paradigme),
3. pristup neravnoteže – analiza sistema u uslovima diskontinuiteta poslovanja (kompleksnija, zahteva veliki broj parametara),
4. pristup optimizacije – zasnovan na maksimizaciji koncepta korisnosti (zbog nelinearnosti i dinamike sistema može postati veoma kompleksan za evaluaciju).

Nesavršenost tržišta u pogledu neracionalne politike cena utiče negativno na prosečne cene troškova u elektroenergetskom sektoru i na društvene troškove koji nisu internalizovani u okviru sektora energetike. Problem „ograničene racionalnosti” krajnjih potrošača energije može nastati i u slučaju postojanja savršeno racionalnih agenata – učesnika na tržištu, što sledstveno vodi ka izostanku maksimizacije korisnosti za potrošače. U uslovima maksimizacije profita kompanija, nedostatak celovitih i simetričnih informacija može prouzrokovati agencijski problem. Konkretno, potrošači koji nemaju potrebno znanje za obradu informacija mogu se navesti da donose odluke o upotrebi energenata na kognitivno neefikasan način (Sanstad & Howarth, 1994). Veliki broj istraživanja pokazao je da su potrošači često nepotpuno informisani o tržišnim uslovima, karakteristikama upotrebljene tehnologije i uticajem sopstvenog ponašanja prilikom korišćenja električne energije u domaćinstvu (Kempton & Montgomery, 1982).

Modelovanje energetske sistema postalo je posebno aktuelno za disciplinu ekonomike energetike u poslednjih pet decenija kroz specifični naučni doprinos i praktične implikacije. Pojava prve naftne krize 1973. godine podstakla je velike društvene i ekonomske promene, kao što su to izmene procesa

u međunarodnoj trgovini, bilansa plaćanja, preraspodele dohotka i brojne druge faktore koji su doprineli intenziviranju potrebe za modelima energetike (Kavrakoğlu, 1987). Od tada, njihova raznovrsnost i kompleksnost samo su rasle. U navedenom periodu javlja se potreba i za modelovanjem efikasnije finalne potrošnje energije na globalnom nivou. Razvojem modela popunio se jaz između tehno-ekonomskih i makroekonomskih modela. „Šta ako“ analiza simulacionih energetskih modela pokazala je u određenim slučajevima važniji doprinos od modeliranja optimalnih odluka. Jedno od prvih javnih zastupanja energetskog modela systemske dinamike bilo je u govoru bivšeg predsednika Sjedinjenih Američkih Država (dalje u tekstu: SAD) Džejmisa Kartera 1978. godine, pred Kongresom SAD-a. Metodološke procene navedenog modela o ekonomskoj koristi od prirodnog gasa i kako bi njegova upotreba uticala na cene, snabdevanje i potražnju za energijom doprinele su procesu lobiranja za planiranu energetske regulativu SAD-a (Stermann, 1991).

Važni su i CGE (*Computable General Equilibrium*) modeli, kojima se pretpostavlja analiza određene strukture tržišta i dinamika ekonomije, a potom se dodaje i određeni stepen tehnoloških detalja modela. Jedan od prvih primera ekonometrijskih metodologija za formiranje energetskih modela bio je DGEM (*Dynamic General Equilibrium Model*) model autora Berndta i ostalih (Berndt et al., 1981). Ovim modelom su inkorporirani devet proizvodnih sektora i analiza potrošnje energenata u domaćinstvima prema definisanoj strategiji formiranja cene. Slična metodologija korišćena je i za ZENCAP model ekonomskog razvoja i analize potreba za kapitalom unutar energetskog sektora (Codoni et al., 1980). Za regionalni nivo, drugi autori su pokazali da se analizom obavljanja podataka (DEA – *Data Envelopment Analysis*) može sa velikim stepenom sigurnosti proceniti da li regioni efikasno koriste svoje resurse (Martić & Savić, 2001). DEA metoda se može koristiti i za istraživanje specifičnih uticaja proizvodnje električne energije na ekološku efikasnost regiona (Xie et al., 2012).

U kontekstu rešavanja problema u okviru energetskog sistema, pominje se podela energetskih modela na: (1) modele predviđanja, (2) modele energetskog planiranja, (3) modele analize energetske ponude i potražnje, (4) modele analize rada opreme u okviru elektrana, (5) modele za ispitivanje funkcionisanja celog energetskog sistema i (6) modele optimizacije energetskog sistema (Kondili, 2010).

Autor Van Bek (van Beeck, 1999) ističe da postoji devet načina da se klasifikuju energetske modeli i to prema:

1. opštim i specifičnim svrhama energetskih modela,
2. strukturi modela: na interne i eksterne pretpostavke,
3. analitičkom pristupu: *top-down* ili *bottom-up* modeli,
4. osnovnoj metodologiji,
5. matematičkom pristupu,
6. geografskoj pokrivenosti: projekat, lokalno, regionalno, nacionalno ili globalno,
7. sektorskoj pokrivenosti,
8. vremenskom okviru: kratak, srednji ili dugi rok,
9. zahtevu za podacima.

U pogledu opšte svrhe kreiranja energetskog modela najpre postoji podela na tri vrste modela (Hourcade et al., 2006): (1) modeli koji projektuju buduće tokove energetike uz endogeno posmatranje ekonomskih aktivnosti pomoću ekonometrijske analize, (2) istraživanje budućnosti energetskog sistema formiranjem alternativnih scenarija koji se potom porede sa referentnim scenarijom, (3) *backcasting* – definisanje vizije željene budućnosti, a zatim analiza korekcija trenutnog stanja zarad ostvarenja budućih ciljeva (koristi se i za ocenu dugoročne ekonomske konzistentnosti alternativnih strategija).

Što se tiče specifičnih svrha, one zavise od fokusa istraživanja formiranog modela: (1) modeli potražnje za energijom posmatraju potražnju kao funkciju koja izaziva promene ukupnog stanovništva, prihoda, cena energenata, (2) modeli energetskeg snabdevanja fokusiraju se na tehničkim aspektima i na ispitivanju da li snabdevanje može zadovoljiti potražnju za energijom, uz inkluziju određenih finansijskih pokazatelja, (3) impakt modeli, to jest modeli uticaja koji su uzrokovani donošenjem aktuelnih mera energetske politike, što može dovesti do promena ekonomsko-finansijskih parametara, društvenog blagostanja ili promene strategije zaštite životne sredine (navedeni modeli procenjuju posledice izbora alternativnih opcija) (van Beeck, 1999). Drugi autori su pak mišljenja da je za integrisani energetski menadžment od posebne važnosti kreiranje modela za upravljanje energetskom potražnjom, te ih dele na (Suganthi & Samuel, 2012):

1. modele vremenskih serija,
2. regresione modele,
3. ekonometrijske modele,
4. modele dekompozicije,
5. modele kointegracije,
6. autoregresione modele pokretnih proseka,
7. veštačke, ekspertske sisteme,
8. *grey* modele,
9. input-autput modele,
10. fazi logiku/modele genetičkog algoritma,
11. integrisane modele – autoregresija,
12. *bottom-up* modele – kao što su LEAP/MARKAL/TIMES.

Na drugom primeru je sprovedena opsežna empirijska analiza podobnosti alata za procenu sposobnosti upravljanja skladištenjem energije i za analizu potražnje za energijom (eng. DSM – *Demand and Storage-Side Management*) u kontekstu integracije obnovljivih izvora energije (Lyden et al., 2018). Posmatrane su karakteristike ulaznih podataka, tehnologije snabdevanja, optimizacija dizajna modela, dostupni izlazni podaci, kontrola DSM sistema i praktične implikacije modela.

Za potrebe predviđanja ukupne potražnje za energijom, do sada je metodološki okvir energetskih modela dosta napredovao, posebno sa aspekta primenjivosti koncepta veštačke inteligencije. Empirijski nalazi ukazuju na činjenicu da ne postoji *one-size-fits-all* metodologija koja bi rešila sve, raznovrsne izazove sa kojima se susreću privredni subjekti energetskeg sistema. Neke od najvažnijih metodologija modela, vremenski okvir koji obuhvataju, kao i njihovi prednosti i nedostaci navedeni su u tabeli koja sledi.

Tabela 3.2: Pregled najčešće korišćenih metodologija u predviđanju potražnje za energijom

Metodologija	Model	Vremenski okvir	Prednost	Nedostatak
Statistički model	Regresija	Srednji i dug vremenski period	jednostavan za proračun i tumačenje rezultata; povoljan za analizu višefaktorskog modela i za proveru grešaka	ne uzima u obzir periodične varijacije, neizvesnosti i interakciju između parametara inputa; osetljiv na vanredne situacije
Vremenske serije	ARIMA (<i>Autoregressive integrated</i>)	Kratak, srednji i dug	zahteva samo endogene varijable;	visoki zahtevi za kvalitetom podataka; komplikovan za

	<i>moving average models</i>) Autoregresioni model pokretnih proseka	vremenski period	jednostavan za adaptaciju u stacionarnim vremenskim serijama bez neodstajućih uzoraka	determinisanje parametara modela; ne može biti transformisan u nelinearan model; unapred definisana linearna forma je ograničena
	GM (<i>Grey Model</i>)	Srednji i dug vremenski period	jednostavan, može okarakterisati nepoznati sistem sa nekoliko podataka; moguće je ekstrahovati skrivene informacije iz malih uzoraka, nepotpune i diskretne podatke	nije moguće u potpunosti uporediti odnos potražnje za energijom i faktora uticaja; ignoriše unutrašnji mehanizam sistema; nije moguće predstaviti dinamične promene sistema
Pristup zasnovan na veštačkoj inteligenciji	ANN (<i>Artificial Neural Network</i>) Veštačka neuronska mreža	Kratak, srednji i dug vremenski period	dobre performanse u slučaju nedostatka podataka; moguće rešiti kompleksne nelinearne probleme; obezbeđena funkcija samostalnog učenja i velike brzine pretrage za optimalnih rešenjima	komplikovano objasniti rezultate za nedostajuće matematičke formulacije; visoka računarska složenost; uobičajeno se zaustavi u lokalnom minimumu i moguće je da se nikada ne konvergira
	SVR (<i>Support Vector Regression</i>) Regresija pomoću metode potpornih vektora	Kratak i srednji vremenski period	konstruiše optimalnu hiper-ravan u visokodimenzionalnom prostoru; nekoliko parametara za rešavanje; poboljšanje performanse generalizacije i postojećeg globalnog minimuma	komplikovano determinisati funkciju kernela i odvojiti prave podatke; visoka osetljivost ukoliko nedostaju podaci; visoka zahtevnost u selektovanju hiperparametara; loše performanse u okviru problema višestruke klasifikacije
	<i>Fuzzy logic</i> Fazi (rasplinuta) logika	Kratak, srednji i dug vremenski period	mapiranje ulaznih i izlaznih promenljivi sa modelom; niza stepen zahteva za kvalitet ulaznih	izostaje sposobnost samostalnog učenja kod modela i formule za specifična predviđanja; zahteva dosta prethodnog

			promenljivih; koristan za scenarije u uslovima nesigurnosti	podešavanja i testiranja
	GA (<i>Genetic algorithm</i>) Genetski algoritam	Kratak, srednji i dug vremenski period	efikasan, adaptivan i kompaktan proces pretraživanja; generisanje optimizovanih rešenja bez prethodnog znanja o predviđenoj prirodi sistema	zahteva veliki obim podataka; kompleksan za učenje i primenu
Swarm Intelligence Optimization – Inteligencija roja	PSO (<i>Particle swarm optimization</i>) Optimizacija rojem čestica	Kratak, srednji i dug vremenski period	primenjivo za optimizaciju različitih jednačina na osnovu ekonomskih pokazatelja; nekoliko kontrolnih parametara	stvaranje podoptimalnih rešenja i prerana konvergencija algoritama; nije moguće odraziti odnos između predviđanja i inputa
	ACO – <i>The ant colony optimization</i> Optimizacija kolonije mrava	Kratak, srednji i dug vremenski period	efektivan u procesuiranju velikog obima podataka i eliminisanju redundansi; u stanju da reši probleme diskretne optimizacije; pogodan za odabir karakteristika sa ograničenjem	zahteva promenu predstavljanja problema u formu graфа; visoki naponi u računarskom određivanju procesa obilaska stabla
	ABC (<i>The Artificial bee colony</i>) Optimizacija kolonijom pčela	Kratak, srednji i dug vremenski period	nije osetljiv na početne vrednosti parametara; kompaktan i manje kontrolnih parametara	neophodno birati podesive parametre; osetljivost globalnih rešenja na podesive parametre
Bottom-up modeli	MARKAL (<i>Market Allocation</i>)	Srednji i dug vremenski period	prikazuje istovremeno i ponudu i potražnju energije jednog energetskog sistema; u stanju da modelira ponašanja na tržištu i da optimizuje	nije moguće predstaviti potražnju krajnje upotrebe i poboljšanja tehnologije za krajnju upotrebu

			ekonomske performanse	
	LEAP (<i>Low Emissions Analysis Platform</i>)	Srednji i dug vremenski period	primenjiv za različite nivoe sistema; u stanju da odredi emisiju štetnih gasova sa efektom staklene bašte i da je kombinuje sa analizom scenarija; ne zahteva veliki broj inicijalnih podataka	nije moguće automatski generisati optimizaciju ili scenarije tržišne ravnoteže

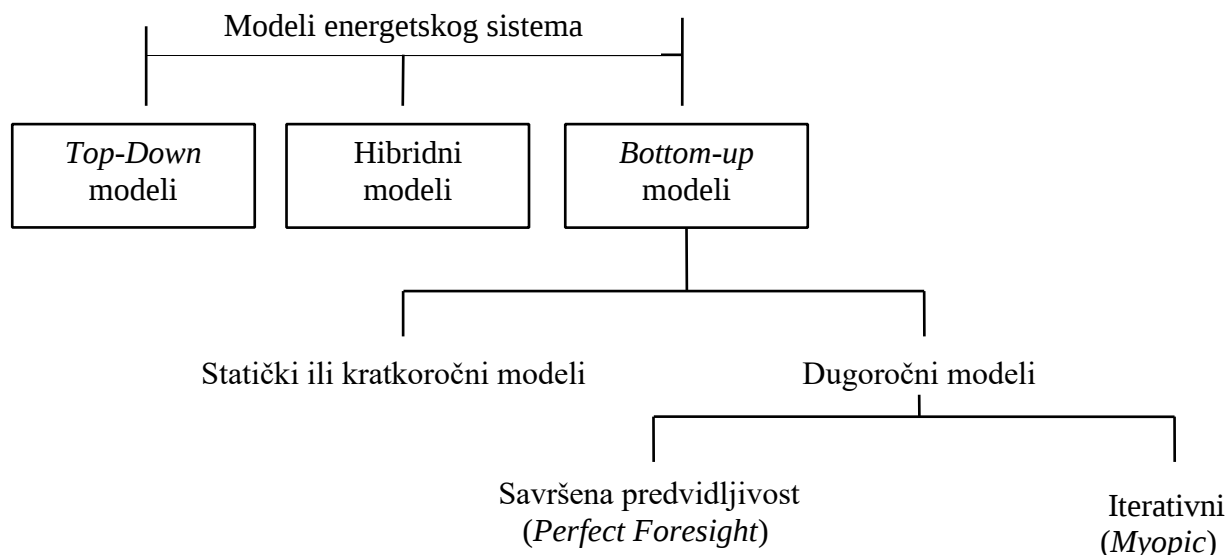
Prilagođeno prema: (Chen et al., 2019)

3.2 Podela energetske modela prema analitičkom pristupu

Postojanje dva alternativna pristupa energetskom modeliranju često dovodi do nekonzistentnosti u okviru istraživanja i do nedoumice kod analitičara prilikom izbora adekvatne metode. Nedovoljna dostupnost informacija od strane energetskih kompanija posmatra se kao limitirajući faktor prilikom analize energetike u stanju tržišnih nedostataka. Ireverzibilne investicije u energetska efikasnost koja zavisi od neizvesnih, budućih cena energenata zahtevaju upotrebu visokih diskontnih stopa od strane investitora, posebno u slučaju njihove averzije prema riziku (Koopmans & Te Velde, 2001).

Programi zasnovani na informacijama mogu biti efikasni u snižavanju definisane diskontne stope, dok se analiza osetljivosti predlaže radi procene potencijala uštede ukupne energije (Brown & Wang, 2017). Izuzetna složenost izbora tehnologije za proizvodnju električne energije i planiranja investicija u energetskom sektoru čine izazov za detaljnu analizu. Osnovni razlozi za ovu kompleksnost su visoka integrisanost energetskog sistema, što pokazuje elektroenergetska mreža, kao i raznovrsnost tehnologija konverzije resursa u finalne proizvode, to jest goriva (Kavrakoğlu, 1987).

Usmeravanje ekonomskih procesa ka podsticaju razvoja tehnologija proizvodnje koja redukuju emisiju štetnih gasova sa efektom staklene bašte stvorilo je dodatnu razliku između navedenih analitičkih pristupa. Kreatori energetske politike trebalo bi da donose odluke o ciljevima sektora energetike uz osvrt na ekonomskoj efikasnosti, ekološkoj efektivnosti i političko-administrativnoj izvodljivosti mehanizama podrške odabranih tehnologija (Hourcade et al., 2006).



Uključeni energetske sektori

1. specifični sektor
2. svi sektori

Geografska pokrivenost

1. jedan čvor
2. više čvorova

Vremenska rezolucija

1. niska
2. srednja
3. visoka

Metodologija

1. Simulacija
2. Pravilo otpremanja energije
3. Optimizacija ulaganja sa jednim ciljem
4. Optimizacija ulaganja sa više ciljeva

Tehnika programiranja

1. Linearna
2. Nelinearna
3. Dinamička
4. Mešovito celobrojno
5. Hejurstika
6. Ostali

Slika 3.1 Osnovna podjela energetske modela
Izvor: (Prina et al., 2020)

Sledstveno istaknutom, prema analitičkom pristupu energetske modeli se klasifikuju na *top-down* i *bottom-up*, to jest procesno orijentisane modele (Böhringer & Rutherford, 2008; Herbst et al., 2012; Hourcade et al., 2006; Subramanian et al., 2018; van Beeck, 1999). Ova osnovna podjela posebno je dobila na značaju tokom 1980ih i 1990ih godina, usled nastanka debate o jazu energetske efikasnosti. Primetna su i poređenja u toku 1990ih godina između analize dugoročne opšte ravnoteže u sektoru energetike putem *top-down* modela (uz optimalnu alokaciju resursa u okviru savršeno konkurentnog tržišta), sa jedne strane, i konvencionalnih makroekonomskih modela kratkoročne dinamičke analize, sa druge strane (Grubb et al., 1993). Kako bi se jasno uočila razlika između trenutno dostupnih, naprednih energetske modela, u narednoj tabeli prikazane su osnovne karakteristike modela prema njihovoj vrsti i metodologiji koju koriste.

Tabela 3.3: Primeri modela energetskeg planiranja – osnovne karakteristike

Model	Osnivač i država nastanka	Vrsta modela	Prostorna primena	Zahtevi za podacima	Vremenski raspon	Metodologija
MARKAL	IEA/ETSAP (<i>Energy Technology System Analysis Project</i>)	<i>Bottom-up</i>	lokalno, regionalno, nacionalno, globalno	Srednji-visoki	Dugi rok	<i>Toolbox/Optimizacija</i>
LEAP	<i>Stockholm Environment Institute</i> , Švedska, SAD	<i>Bottom-up</i>	lokalno, regionalno, nacionalno	Srednji	Dugi rok	Potražnja: makroekonomska Ponuda: simulacija
MESSAGE	IIASA (<i>International Institute for Applied Systems Analysis</i>), Austrija	<i>Bottom-up</i>	lokalno, regionalno, nacionalno, globalno	Srednji-visoki	Srednji i dugi rok	Kombinacija dinamičkog linearnog programiranja i energetske inženjerske modela
MEGEVE-E3ME	<i>Cambridge Econometric</i> , Kembridž, Velika Britanija	<i>Top-down</i>	lokalno, regionalno, nacionalno, globalno	Srednji	Srednji i dugi rok	Ekonometrijske metode
MICRO-MELODIE	CEA, Grenobl, Francuska	<i>Top-down</i>	nacionalno	Srednji	Srednji i dugi rok	Makroekonomska (model ravnotežne cene)
RETScreen	<i>Natural Resources Canada</i> , Kanada	<i>Bottom-up</i>	lokalno	tehnološki specifična	Za period od godinu dana	<i>Spreadsheet/Toolbox</i>
MIDAS	Evropska Unija	Hibridni	lokalno, regionalno, nacionalno, globalno	Niska-srednja	Dugi rok	Simulacija, višekriterijumska analiza
MESAP	IER (<i>Institute of Energy Economics and Rational Energy Use</i>), Štuttgart, Nemačka	Hibridni	lokalno, regionalno, nacionalno, globalno	Niska-srednja	Dugi rok	Potražnja: ekonometrija Ponuda: simulacija, linearno programiranje
TIMES	ETSAP (<i>The Energy Technology Systems</i>	<i>Bottom-up</i>	lokalno, regionalno, nacionalno	Srednji	Dugi rok	Linearno programiranje

	<i>Analysis Program</i>), Pariz, Francuska					
EnergyPlan	<i>Sustainable Energy Planning Research Group</i> , Univerzitet u Alborgu, Danska	Hibridni	lokalno, regionalno, nacionalno	Niska-srednja	Statička analiza	Simulacija
Phoenix/SGM	<i>Pacific Northwest National Laboratory/Joint Global Change Research Institute</i> , Univerzitet u Merilendu, SAD	<i>Top-down</i>	lokalno, regionalno	Srednji-visoki	Srednji i dugi rok	Kompjuterski model opšte ravnoteže
EFOM	Evropska Unija	<i>Bottom-up</i>	lokalno, regionalno, nacionalno, globalno	Srednji-visoki	Srednji i dugi rok	Linearno programiranje

Prilagođeno prema: (Cambridge Econometrics, 2019; Hardy et al., 2021; Heaps, 2022; Loulou et al., 2004; Loulou et al., 2005; Lund et al., 2021; Messner & Strubegger, 1995; Shelby et al., 2008; van Beeck, 1999)

3.2.1 *Top-down* („odozgo na dole“) energetske modeli

Top-down modeli koriste agregirane podatke da bi se sprovedla analiza sinergije između sektora (Sanchez-Escobar et al., 2021). Pomenuti modeli obuhvataju analizu cele privrede razmatrajući tekuće tržišne distorzije, prelivanja novca i efekte prihoda za različite ekonomske subjekte, uz izraženu endogenost ekonomskih aktivnosti u periodu energetske krize (Böhringer & Rutherford, 2008).

Premda inženjerski *bottom-up* modeli mogu potceniti troškove zanemarivanjem procesa implementacije tehnologije, ekonomski *top-down* modeli imaju tendenciju da preценjuju troškove uz izostavljanje potencijala strukturnih promena i rasta energetske efikasnosti nastalog podsticajem regulatorne politike (Grubb et al., 1993). *Top-down* modeli formirani su uz pretpostavku efikasne alokacije svih energetske inputa i finalnih dobara od strane konkurentnog tržišta, a to se odnosi i na CGE modele. Sa druge strane, *bottom-up* modeli ukazuju na dodatne mogućnosti poboljšanja energetske efikasnosti zastupljenim mehanizmima državne podrške (Hourcade et al., 2006). Isto tako,

top-down modeli nastoje da formiraju holističku perspektivu ekonomije, ali posmatrajući energetske sektor na jedan naizgled pojednostavljen i agregiran način.

Konvencionalni *top-down* modeli imaju problema da procene kombinovan efekat regulativne politike instrumenata zasnovanih na cenama (kao što su porezi na ugljenik, razmenjive energetske dozvole) i regulative specifičnih tehnologija proizvodnje energije, s obzirom da tehnološku promenu registruju kao apstraktni, agregatni fenomen – implicitan sa aspekta supstitucione elastičnosti (Hourcade et al., 2006). Suštinski, ovi modeli prevashodno ispituju posledice regulativne politike po javne finansije, ekonomsku konkurentnost i stepen zaposlenosti (Hourcade et al., 2006). Neke od prednosti *top-down* modela su (Vogt, 2020):

1. niski troškovi i brza implementacija na osnovu rutinskog prikupljanja dostupnih podataka,
2. laka identifikacija i kvantifikacija efekata zamene opreme za energetske sistem,
3. istorijski podaci za vremenski period od samo jedne godine dovoljni su za modeliranje,
4. model brzo prepoznaje promene u finalnoj potrošnji energije uzrokovane pojavom nepoznatih faktora poput neplaniranih izmena u operativnim procedurama.

Postoje i određeni nedostaci navedenih modela:

1. ukoliko prikupljanje podataka nije sprovedeno na odgovarajući način, može se dobiti nizak stepen preciznosti modela,
2. ako model pokaže rezultate koji znatno odstupaju od očekivanih, to znači da proces, tehnologija ili deo opreme koji je doveo do odstupanja ne može biti prepoznat, već se mora ponovo modelirati ceo sistem,
3. potrebno je specifično znanje iz oblasti statistike, tačnije opis statističke validacije modela je teško predstaviti bez prethodnih saznanja o modelu.

3.2.2 *Bottom-up* („odozdo na gore“) energetske modeli

Suprotno *top-down* energetske modelima, *bottom-up* modeli sadrže više tehnoloških detalja i koriste ekonomski vođen pristup za procenu upotrebljenih tehnologija. Pretpostavke modela su definisane uz osvrt ka tehnološkoj difuziji, investicijama i operativnim troškovima elektrana (Herbst et al., 2012). S obzirom da pružaju brojne mogućnosti pojašnjenja razloga nastanka određenih ishoda u okviru energetske sektora i s obzirom da se zasnivaju na visokoj programskoj kompleksnosti, ovi modeli mogu verodostojno projektovati usvajanje novih tehnologija proizvodnje energije, a sa ciljem informisanja o novim mehanizmima podrške regulativne energetske politike (Adams, 2019).

Neuspeh određenih potrošača i kompanija da minimiziraju troškove zahtevanih energetske usluga često je povezan sa dinamičkim svojstvom razvoja energetske efikasnosti i kompleksnošću difuzije efikasne tehnologije (Sanstad & Howarth, 1994). Dakle, opšta teorija ekonomske ravnoteže može poslužiti za prikaz ishoda adaptacije novih tehnologija proizvodnje energetske sistemu, ali se u okviru iste teorije zapostavlja analiza samog dinamičkog procesa koji je doveo do njihove primene.

Bottom-up modeli posmatraju energetske efikasnost kroz smanjenje upotrebe energije određene tehnologije ili uređaja u odnosu na referentni scenario. Za razliku od *top-down* modeliranja energetske potražnje, *ex post* istraživanja dohodne elastičnosti domaćinstava kombinacijom ekonomskih i strukturnih varijabli jasno doprinose identifikaciji upotrebe energije po jedinici aktivnosti.

Na taj način, procena racia troškova i koristi za odabir novih tehnologija sa višim stepenom energetske efikasnosti može se računati kao (Boonekamp, 2007):

$$TKR = [(Inv - Subv) \times An] \div [Ušteda \times (Cena + Porez)] \quad (3.1)$$

pri čemu je *Inv* – dodatne investicije u opcije uštede energije, *Subv* – subvencije za opcije uštede energije, *An* – faktor fiksnog anuiteta za kalkulaciju godišnjih investicionih troškova, *Ušteda* – ušteda energije, *Cena* – Cena energije bez poreza (novčana jedinica/GJ), *Porez* – porez na energiju (novčana jedinica/GJ).

Detaljni tehno-ekonomski modeli mogu simulirati penetraciju tržišta, relevantne promene povezanih troškova novih tehnologija i energetske regulative sa izvesnim stepenom tehničkih detalja (stoga se i zovu *bottom-up* modeli, to jest modeli „odozdo ka nagore”). Pomenuti modeli često se koriste za procenu finansijske isplativosti energetskih sistema u širem kontekstu, strategije redukcije emisije štetnih gasova i za, generalno posmatrano, novonastale velike promene unutar sistema (Mata et al., 2013). *Bottom-up* tehnika modeliranja uspešno može projektovati kretanje godišnje funkcije snabdevanja energetske efikasnosti, kako bi se promatrala responzivnost energetske efikasnosti na neočekivane promene u potražnji za energijom (Herbst et al., 2012).

Iako je osnovna svrha *bottom-up* modeliranja energetskih sistema podrška u donošenju strategijskih odluka na lokalnom, regionalnom, nacionalnom i globalnom nivou, njihova upotreba relevantna je i za donošenje operativnih odluka. Pojava ograničenog, sezonskog korišćenja kapaciteta obnovljivih izvora energije i deregulacija tržišta električne energije zahtevaju od energetskih modela integraciju sezonske varijabilnosti potražnje, kretanja cena, predviđanja vremenskih uslova i drugih varijabli, a sve sa namerom poboljšanja konkurentnosti energetskih kompanija (Subramanian et al., 2018).

S obzirom na prirodu postepene promene tehnologije, velika je verovatnoća da će *bottom-up* pristup preценiti ekonomski potencijal pune penetracije tehnologija za uštedu energije. Prema Grubu i drugim autorima (Grubb et al., 1993), *bottom-up* studije primene u praksi sugerišu postojanje još većeg potencijala za smanjenjem emisija štetnih gasova i ukupnih troškova u odnosu na ekstrapolaciju potražnje za energijom *top-down* modela. Na taj način, autori zaključuju da se primenom modela ukazuje da *top-down* nije optimalan u smislu dostupnih tehnologija koje se razmatraju, već da se znatne uštede u potrošnji energije mogu ostvariti kreiranjem različitog scenarija koji bi predstavljao inženjerski optimum. Trebalo bi napomenuti da i CGE *top-down* modeli često sadrže samo agregirane podatke bez detalja o tehnologijama, tako da je dezintegracija neophodna kako bi se proizvodnja električne energije razdvojila na rezultate različitih tehnologija proizvodnje (Truong & Hamasaki, 2021).

U neke *bottom-up* modele uključene su makroekonomske povratne informacije, dok su u drugima procenjeni mikroekonomski bihejvioralni parametri za odabir tehnologije proizvodnje energije (Hourcade et al., 2006). Isti autori navode da su određeni *top-down* modeli ugradili tehnološku kompleksnost za sektore snabdevanja energijom. Ređi su primeri definisanja parametara endogene tehnološke promene sa ciljem povezanosti energetske produktivnosti sa energetskom politikom koja stimuliše istraživanje i razvoj u polju redukcije intenziteta gasova sa efektom staklene bašte (Löschel, 2002). Uporednim prikazom determinističkog i stohastičkog modela primenom energetskog modela TIMES primetno je da je stohastička interpretacija realističnija za aproksimaciju opštih troškova energetskog sistema, jer zahteva predstavljanje neizvesnih parametara specifičnih za sam model (Seljom & Tomasgard, 2015).

Navedeni modeli su prikazi parcijalne ravnoteže energetskog sektora, pri čemu objedinjuju veliki broj diskretnih energetskih tehnologija za substituciju starijih procesa primarne i sekundarne energetskog nivoa radi poboljšanja energetske efikasnosti (Böhringer & Rutherford, 2008). U tom kontesktu,

predstavljena su tri glavna područja za istraživanje upravljanja *bottom-up* baza podataka (Koopmans & Te Velde, 2001): (1) projekcija potražnje za energijom i energetskim uslugama, uz osvrt ka trendu zamene tehnologije zasnovane na korišćenju konvencionalnih goriva sa tehnologijom koja koristi električnu energiju, (2) energetska efikasnost zavisi od realizovane strategije razvoja energetike: investicije u postojeće tehnologije ili potpuna zamena savremenim tehnologijama, (3) u modelu može izostati procena brzine prilagođavanja trenutne ka savršenoj *ex post* efikasnosti energetskog sistema, što bi trebalo unaprediti u novim verzijama modela.

Više-energetski sistemi modeliranja (eng. *multi-energy systems*) tretiranja međuzavisnosti podsektora energetskih sistema opisan je kod Krihbauma i dr. (Kriechbaum et al., 2018). Ovi autori odredili su pet opštih elemenata modeliranja energetskog sistema: obim modela, formulacija modela, prostorna pokrivenost, vremenski okvir, podaci. Uz to određena su i tri specifična elementa za modeliranje energetskih mreža: nivo detalja, prostorna rezolucija i vremenska rezolucija sistema. Ovaj pristup naziva se još i uzvodnim pristupom, zbog protoka informacija od nižeg ka većem obimu, sa odgovarajućim smanjenjem stepena slobode protoka informacija (na engleskom jeziku *upscale*) (Subramanian et al., 2018). Pri tome, kriterijume za procenu rezultata modeliranja podelili su na ekonomske, energetske, eksergetske i na kriterijume pouzdanosti sistema.

Koristi od više-energetskog sistema modeliranja mogu biti (Mancarella, 2014):

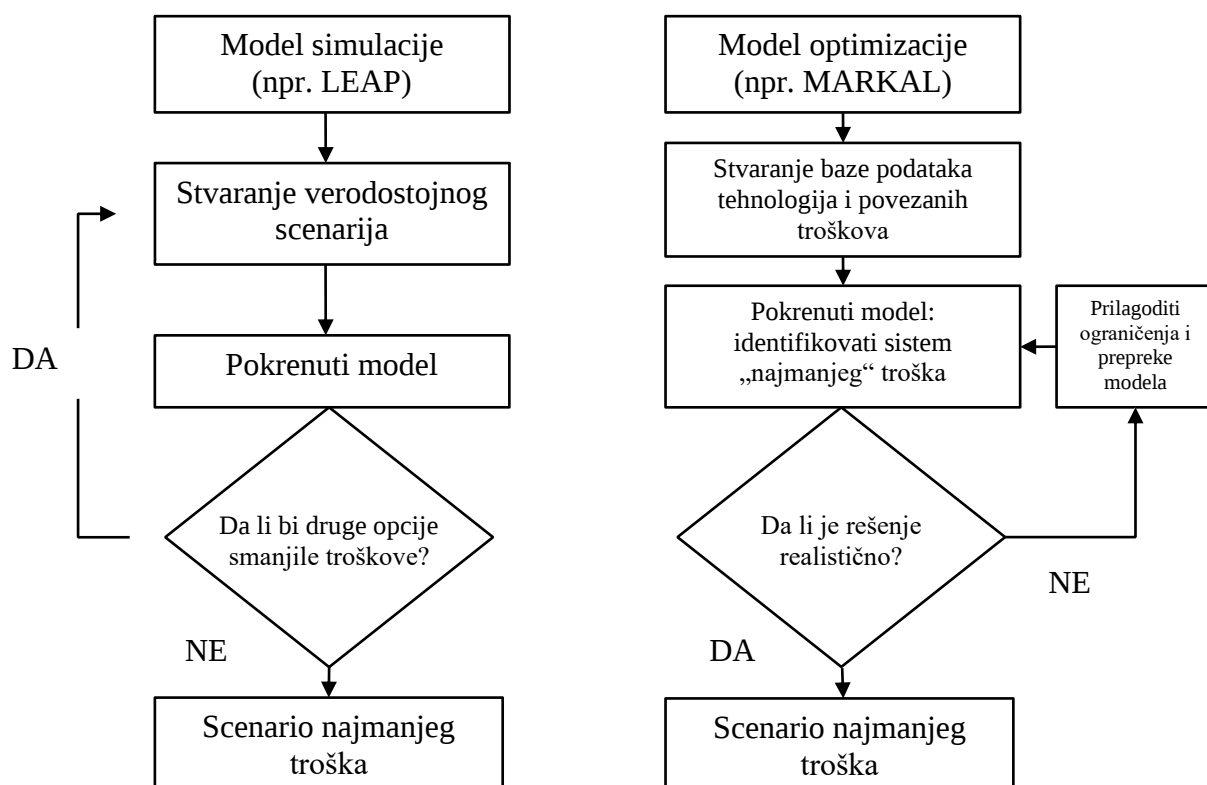
- povećanje efikasnosti konverzije i korišćenja primarnih izvora energije kroz, na primer, integraciju različitih vektora energije u jedinstven okvir generisanje energije,
- podsticanje optimalne primene centralizovanih i decentralizovanih resursa kroz optimalne tržišne interakcije,
- veća fleksibilnost energetskog sistema korišćenjem fleksibilnih sistema skladištenja energije, zatim dozvolom balansiranja elektroenergetskog sistema putem frekvencijskog odziva ili kreiranjem rezervi od strane toplotnog opterećenja.

MARKAL (*Market and Allocation*) je *bottom-up* („odozdo prema gore“) model koji pruža uvid u opsežne detalje o proizvodnji energije i korišćenju tehnologije za sve potrebe informisanja kreatora energetske politike i analitičara energetskih sistema. Model selektuje kombinaciju tehnologija otpremanja energije sa fokusom na smanjenju ukupnih troškova energetskog sistema i na poboljšanju performansi proizvodnje energije (Manne & Wene, 1992). Glavni ulazni parametri modela su raspoloživi tehnički potencijal resursa, potražnja za energijom, kao i tehničke i ekonomske karakteristike tehnologija. Dinamičkim linearnim programiranjem model pronalazi troškovno najefikasniju opciju otpremanja tehnologija proizvodnje energije, uz posebnu pažnju usmerenu ka smanjenju štetnih gasova sa efektom staklene bašte. Utvrđuje se i granični trošak smanjenja emisije gasova u određenom vremenskom periodu.

Pored navedenog, važno je istaći da je model MARKAL prilagođen dugoročnom kreiranju scenarija evolucije energetskog sistema za period uglavnom od 40 do 50 godina, a geografski može pokriti pokrajinski, regionalni ili državni nivo (Manne & Wene, 1992). Dodatak modelu pod nazivom MACRO je makroekonomski instrument sa osnovnim ulaznim faktorima proizvodnje poput kapitala, rada i pojedinačnih oblika energije. Rešava se nelinearnom optimizacijom i koristi kriterijum maksimalno diskontovane korisnosti potrošnje radi selekcije između alternativa makroekonomske potrošnje, ulaganja i ukupnih troškova energije.

Modeli optimizacije poput MARKAL modela zasnivaju se na pretpostavci da će krajnji potrošači energije težiti donošenju optimalnih odluka. Problem za modeliranje jeste što se potrošači često vode pogrešnim pretpostavkama na osnovu netačnih informacija i iracionalnim ponašanjem, koje otežava kreiranje realističnog modela (Sterman, 1991). Ova razlika između modela MARKAL i LEAP navodi se kao posebno značajna sa aspekta komparacije njihovih naprednih opcija. Time se svakako ne

umanjuje značaj kompleksnog MARKAL modela za projektovanje energetske sistema, već se napominje da je posebna pažnja usmerena ka odabiru osobina modela koje se smatraju adekvatnim za specifičnosti sprovedenog istraživanja sektora energetike Republike Srbije u okviru disertacije. Nesumnjivo je da bi i izbor MARKAL modela mogao dovesti do merodavnih i važnih rezultata za energetske sektor, tako da se u tom smislu samo ističu ključne razlike između pomenutih modela i posledično razlog odabira LEAP modela. Pored toga, povoljno je što se izveštavanjem po osnovu dobijenih scenarija na bazi obračuna fizičkih zaliha i sistemskih tokova daju eksplicitne pretpostavke o energetskej budućnosti u LEAP modelu. Kratak šematski prikaz osnovnih procesa LEAP i MARKAL modela dat je u nastavku.



Slika 3.2: Pojednostavljeni prikaz razlika između procesa LEAP i MARKAL energetskih modela

Izvor: (Heaps, 2002)

Energetska efikasnost može biti ekonomski isplativ instrument da se zadovolji buduća potražnja za energijom i smanji štetnost emisije gasova sa efektom staklene bašte. Ipak, do sada je retko analizirana godišnja funkcija ponude energetske efikasnosti za planiranje proizvodnje električne energije (Gumerman & Vegh, 2019). Primer naprednog linearnog programiranja koje ima potencijal nadogradnje putem *bottom-up* modeliranja sa strane snabdevanja energentima jeste dinamički integrisani ekonomski/energetski/emisioni model (DIEM model) (Ross, 2014). Tako, ponderisana prosečna cena kapitala (*Weighted average cost of capital* - WACC) u okviru DIEM modela formulisana je na sledeći način (Ross, 2014):

$$WACC_{nominalna} = E \times R_e + D \times R_d \times (1 - T) \quad (3.2)$$

$$WACC_{realna} = \frac{1 + WACC_{nominalna}}{1 + i} - 1 \quad (3.3)$$

gde je E – udeo u kapitalu, R_e – prinos na kapital, D – udeo duga, R_d – povrat duga, T – poreska stopa, i – poreska stopa. Stopa naplate kapitala zasnovana na ponderisanoj prosečnoj ceni kapitala (u) glasi:

$$CCR_{realna} = \left(\sum_{t=1}^u (1 + WACC_{realna})^{-t} \right)^{-1} = \frac{WACC_{realna}}{1 - (1 + WACC_{realna})^{-u}} \quad (3.4)$$

Modeli proizvodnih postrojenja se isporučuju na ekonomskoj osnovi, uzimajući u obzir, između ostalog, faktore poput operativnih troškova, cene goriva, emisije štetnih gasova i troškova novih proizvodnih jedinica. Potrebna je objektivna funkcija koja minimizira troškove proizvodnje električne energije u vezi sa ograničenjima sistema kao što su to: ograničenja u proizvodnji, međuregionalnom prenosu električne energije, pouzdanosti sistema, emisiji štetnih gasova ili na bazi investicionih ulaganja (Ross, 2014). Ipak, problematika predloženog modela jeste egzogeno izvedena fiksna procena za buduću energetska efikasnost. S tim u vezi, primena *bottom-up* pristupa omogućava proširenje okvira istraživanja na elastičnost energetske efikasnosti u odnosu na promene marginalnih troškova proizvodnje električne energije (Gumerman & Vegh, 2019).

Primetno je da analiza *bottom-up* informacija inkorporira oblikovanje krive ponude za skladištenjem energije i praćenje kretanja relativno fiksnih troškova na bazi individualnih tehnika uštede energije. Dodatnom upotrebom i OSeMOSYS softvera otvorenog koda moguće je sprovesti endogenu kalkulaciju kapaciteta skladištenja energije, investicione troškove po jedinici kapaciteta skladišta i povezuje ih sa obračunatom rezidualnom vrednošću za kraj modeliranog perioda (Heaps, 2002). Prilikom izgradnje novih kapaciteta proizvodnje električne energije, održavanja ili upotrebe postojećih kapaciteta nastaju troškovi tako da je (Löffler et al., 2017):

$$\begin{aligned} & \text{Ukupni diskontovani troškovi}_{r,t,g} \\ &= \text{Diskontovani operativni troškovi}_{r,t,g} \\ &+ \text{Diskontovane kapitalne investicije}_{r,t,g} \\ &+ \text{Diskontovana kazna za emisiju gasova tehnologije}_{r,t,g} \\ &- \text{Diskontovana rezidualna vrednost}_{r,t,g} \quad \forall_{r,t,g} \end{aligned} \quad (3.5)$$

za r – regione, t – tehnologije, g – godinu.

Ograničene informacije o investicijama u energetska efikasnost posledice su prirode tržišnih aktivnosti. Optimizacija troškova tehnologija radi projektovanja potražnje za energijom i smanjenja emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte pokazala je merodavne rezultate primenom *bottom-up* tehnike kreiranja scenarija (de la Rue du Can et al., 2019; Diemer et al., 2019; Prina et al., 2020).

Kako bi se omogućila veća cenovna elastičnost ugljenika u odnosu na promenu troškova smanjenja emisije gasova (na engleskom jeziku *abatement cost*) subjekata koji proizvode električnu energiju potrebno je definisanje njihove endogenosti primenom *bottom-up* energetske strategije. Promena nagiba krive marginalnog smanjenja emisije štetnih gasova uticaće na opciju parcijalnog korišćenja tehnologija za smanjenje gasova.

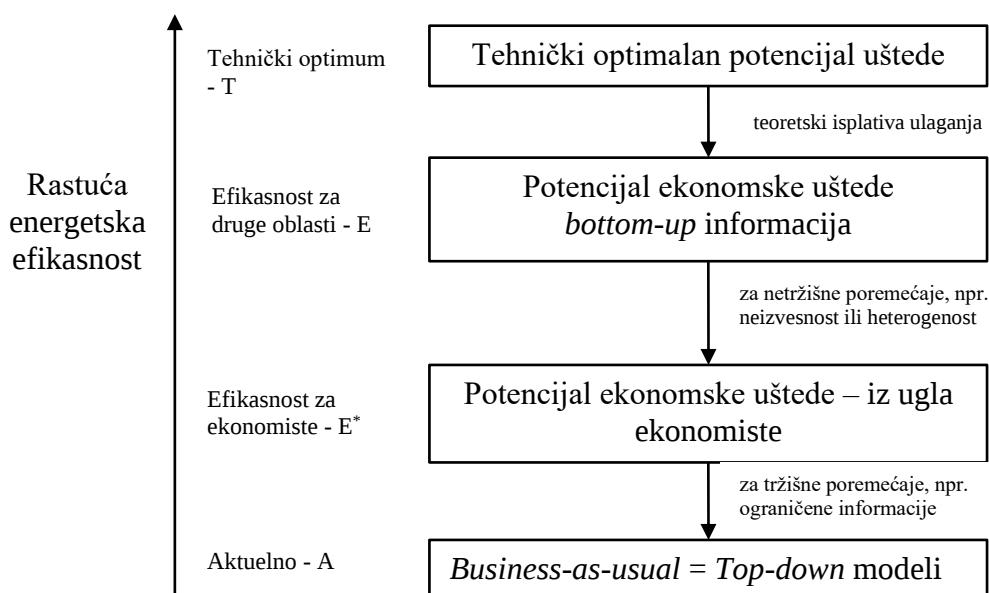
Endogenost troškova tehnologija važna je i u slučaju upotrebe skupih inputa, to jest goriva, jer se može preurediti izbor opcija za smanjenjem štetnih gasova (Weitzel et al., 2019). Isti autori tvrde da će modelovanje diskretnih sistema bolje prikazati potencijalne efekte nelinearnosti. Kao dobar primer ponašanja diskretnog sistema navode hemijski sektor, koji može dovesti do nelinearnosti usled veliki razlike između potencijala smanjenja emisije gasova od strane raznovrsnih hemijskih procesa. Dakle, *bottom-up* pristup endogenosti troškova smanjuje šanse za njihovim precenjivanjem ili potcenjivanjem.

Tako, na trošak proizvodnje jedne jedinice proizvoda u sektoru j utiče cena ulaznog kompozita p_e , naknada za emisiju gasova i trošak za smanjenje od strane svih tehnologija upotrebljenih u sektoru (Weitzel et al., 2019):

$$p_j = p_e + \theta_j \left[(1 - A_j)\tau + \sum_i \varphi_{ij} c_i(a_i) \right] \quad (3.6)$$

gde θ_j – je emisijski faktor po jedinici outputa, A_j – ukupna redukcija emisije, φ_{ij} – procenat smanjenja emisije sektora od pojedinačne tehnologije i prilikom korišćenja maksimuma kapaciteta, c_i – funkcija troškova (pod pretpostavkom Leontijeve proizvodne funkcije za proizvodnju sa ciljem smanjenja ugljenika) i a_i – nivo aktivnosti.

Primeri različitih razumevanja energetske efikasnosti na konceptualnom nivou prikazani su u nastavku.



Slika 3.3: Koncepti energetske efikasnosti

Izvor: (Koopmans & Te Velde, 2001)

3.2.3 Hibridni energetske modeli

Bottom-up modeli često predviđaju nižu potražnju za energijom i veću energetske efikasnosti u odnosu na *top-down* modele, što dovodi do pojave jaza u ispitivanju energetske efikasnosti. Kombinovanje informacija *bottom-up* modela sa nerealno visoko postavljenim diskontnim stopama otežava realnu projekciju stope investicija u energetske sektor (Prina et al., 2020). U novijem vremenskom periodu bilo je pokušaja da se formiraju modeli koji bi iskoristili prednosti oba analitička pristupa energetskom modeliranju, kombinujući *top-down* makroekonomski model sa makar jednim segmentom *bottom-up* modela za finalni sektor potrošnje energije.

Potrebno je uzeti u obzir da su hibridni modeli relativno nov pristup povezivanja modela iz oblasti ekonomike energetike. Hibridni scenariji trebalo bi da integrišu kvalitativne i kvantitativne informacije, kako bi se spojile odvojene discipline inženjerskih, prirodnih i društvenih nauka, koje u određenoj meri imaju suprotne ontologije, epistemologije i metodologije (Prehofer et al., 2021). Potrebno je zajedničko razumevanje oblasti energetike i njene multidisciplinarnosti. Tako, prvi primer povezivanja segmenata dva različita modela bio je BESOM (*Brookhaven Energy System Optimisation Model*) kojim su spojeni model opšte ravnoteže i input-autput energetske model (Hoffman & Jorgenson, 1977). Usledila su brojna ispitivanja hibridne forme modeliranja, uz naglašen neformalan pristup. Tačnije, osnivači tih modela su direktno kontrolisali kompleksnost i stepen spajanja dva segmenta, što je dodatno otežalo postupak simulacije i kalibracije modela. Kao posledica, nastao je problem povezivanja i terminološke definicije povezivanja hibridnih modela u okviru naučne literature. Tako su autori Mane i Vene (Manne & Wene, 1992) prvi put u stručnoj literaturi definisali termine mekog i tvrdog povezivanja modela na primeru MARKAL-MACRO hibridnog modela, dok su integrisani modeli predstavljeni kao istovremeno korišćeni modeli za kalkulaciju.

Tabela 3.4: Vrste povezivanja hibridnih energetskih modela

Termin	Opis
Meko povezivanje	Obrada i transfer informacija su u potpunosti kontrolisani od strane korisnika. Korisnik odlučuje kada i da li će inputi modela biti korišćeni ili modifikovani sa ciljem konvergencije modela i dobijanja relevantnih rezultata.
Tvrdo povezivanje	Formalizacija obrade i transfera informacija, uglavnom standardizovana od strane kompjuterskog programa. U slučaju neplaniranog preklapanja modela može se primeniti definisani algoritam. Očekuje se da će jedan model imati kontrolu nad rezultatima, dok bi se od drugog modela zahtevalo da prikaže istovetne rezultate.
Integrisani model	Modeli direktno utiču jedan na drugi i nisu pokrenuti nezavisno od strane korisnika.

Izvor: (Helgesen & Tomasgard, 2018)

Na osnovu informacija iz tabele, može se konstatovati da je koncept mekog povezivanja logičan odabir prilikom inicijalnog ispitivanja energetskog sistema zasnovanog na obimnom skupu podataka. Međutim, meko i tvrdo povezivanje mogu ostaviti određene nekonzistentnosti između dva modela hibridne strukture nerazjašnjenim, za razliku od integrisanog modela (Su et al., 2021). Kombinovanjem modela energetskog sistema i ekonomskog modela zamisao autora je bila kreiranje optimalne i konzistentne projekcije budućnosti energetskog sistema (Strubegger & Messner, 1987). Pri tome, navedeni ekonomski model se sastojao od pet odvojenih modula (modula za proračun koeficijenta inputa potreba za kapitalom i radne snage, modula potražnje, modula unakrsnih ekonomskih interesa, modula za formiranje cene i spoljnotrgovinskog modula).

Okvir integrisanog modela trebalo bi da odgovori na veliki izazov prikaza svih detalja korišćenih tehnologija u ekonomskoj formi, što ograničava njegovu primenu u empirijskim istraživanjima. Sa druge strane, empirijsko istraživanje zasnovano na hibridnom modelu tvrdog povezivanja može ukazati na važnost mera energetske efikasnosti. Projekcije autora Sua i dr. (Su et al., 2021) pokazuju da CGE *top-down* modeli precenjuju projektovane troškove dekarbonizacije energetskog sistema, prevashodno zbog fokusa na politici cena ugljenika. Predloženi model ovih autora ističe značaj rasta

energetske efikasnosti u industrijskim sektorima iz ugla hedžing strategije prema negativnim makroekonomskim uticajima na dekarbonizaciju zemlje, kao i u smislu povećanja intenziteta dodate vrednosti od proizvodnje energije. Relevantan je i primer mekog povezivanja koje su sprovedi Li i drugi autori (Lee et al., 2020) za model koji određuje upotrebu energije i nabavku tehnologije na osnovu zadate kamatne stope, indeksa plata, indeksa cena i potražnje za energijom od strane inkorporiranog CGE modela.

Primenjena metodologija naučnog istraživanja autora Tuladara i dr. (Tuladhar et al., 2009) prati *Böhringer-Rutherford* (Böhringer & Rutherford, 2008) pristup iterativnog procesa vezivanja *top-down* i *bottom-up* modela usklađivanjem ravnotežnih cena i količina dveju modela. Zasnovan na kalibraciji skupa funkcije linearne potražnje, navedeni hibridni koncept modelira *bottom-up* segment da prosledi instrukcije o snabdevanju električnom energijom i potražnji za prirodnim gasom *top-down* delu. Zatim, *top-down* vrši optimizaciju i povratnom spregom šalje nazad informacije o cenama električne energije i cenama prirodnog gasa. Iteracija se nastavlja sve do konvergiranja cena i količine energije. U predloženom konceptu modeli su povezani iterativnim tačkama. Testiranjem zajedničke primene dolazi se do zaključka da su tržišno orijentisani mehanizmi podrške za smanjenje emisije štetnih gasova troškovno najefikasniji (Tuladhar et al., 2009).

Böhringer-Rutherford pristup prikazali su i drugi autori (Proença & St. Aubyn, 2013) radi vezivanja statičkog CGE modela sa *bottom-up* u jedinstven model ekonomske opšte ravnoteže, sa ciljem procene ekonomskih efekata alternativne regulativne podrške OIE za srednji vremenski rok. Algebarska formulacija modela definisana je uz pretpostavku takmičenja tržišnih učesnika prema principu troškovne efikasnosti korišćenih tehnologija, pri čemu se simultano zadovoljavaju tri uslova modela: (1) uslov nultog profita za sve proizvodne sektore, (2) uslov regulacije tržišta za sve proizvode i usluge, (3) uslov ravnoteže stanja raspoloživih prihoda domaćinstava. Isti autori su dokazali troškovnu efikasnost i ekonomski značaj *feed-in* mehanizma podrške za OIE u datom primeru, s tim da su ograničavajući faktori modela pretpostavke savršene tržišne konkurencije i savršene mobilnosti kapitala, to jest radne snage.

Kako bi se prevazišla ukazana ograničenja, predložena je analiza endogene dinamike retrofita investicija zarad jasnog razdvajanja investicija u energetske efikasne tehnologije i u samostalnu održivost energetskog sistema (Giraudet et al., 2012). Time bi se izvršila procena povratnog efekta (*rebound effect* – porasti finalne potrošnje energije usled povećanja produktivnosti). Bitna je i integracija troškova životnog ciklusa radi ispitivanja ekonomske isplativosti sistema, matematički prikazana na sledeći način (Deshmukh & Deshmukh, 2008):

$$PV = \sum_{k=1}^t \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (3.7)$$

$$PV_D = (C + m)_{pV} + (C + m)_{vetar} + (C + m)_{bat} + (C + m)_{dizel} - D \quad (3.8)$$

gde su PV i PV_D sadašnja vrednost bez i sa depresijacijom, respektivno, t je vremenski period analize, i je godišnja kamatna stopa, C_t su ukupni troškovi u godini t , m su troškovi održavanja sistema, D je sadašnja vrednost depresijacije.

Bitno je istaći i uspešno kreiranje hibridnog modela vezivanjem modela LEAP sa Lesliejevom matricom, ARIMA (*Autoregressive integrated moving average models*) modelom, tj. autoregresionim modelom pokretnih proseka i Monte Karlo metodom, čime su se kvantitativno obezbedile precizne varijacije ključnih pretpostavki, zajedno sa identifikacijom neizvesnosti i verovatnoće raspodele potražnje za energijom (Chen et al., 2019).

Struktura ARIMA modela analize vremenske serije za slučaj navedenog modela definisana je kao (Miao, 2015):

$$\nabla^d x_t = \mu + \frac{\vartheta(B)}{\varphi(B)} C \quad (3.9)$$

$$E(\varepsilon_t) = 0, Var(\varepsilon_t) = \sigma_\varepsilon^2, E(\varepsilon_t \varepsilon_s) = 0, s \neq t \quad (3.10)$$

$$E(\varepsilon_t \varepsilon_s) = 0, \forall_s < t \quad (3.11)$$

pri čemu je μ srednja vrednost sekvenci $\{x_t\}$, B je operater kašnjenja, $\nabla^d = (1 - B)^d$; $\varphi(B) = 1 - \rho_1 B - \dots - \rho_p B^p$ je p -indeks polinomne regresije, $\vartheta(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$ je q -indeks koeficijenata pokretnih proseka polinoma; ε_t je sekvenca beli šum.

ARIMA model obuhvata sledeće faze (Barak & Sadegh, 2016; Chen et al., 2019; Miao, 2015):

1. pripremnu obradu podataka vremenske serije,
2. identifikaciju modela i procenu nepoznatih parametara,
3. dijagnostiku i prepoznavanje modela, sa ciljem potvrde da je dobijeni model konzistentan sa posmatranim podacima,
4. verifikaciju modela i kreiranje projekcija.

Pored ARIMA modela, za potrebe analize sezonskih obrazaca potražnje za energijom koristan je i SARIMA (*Seasonal autoregressive integrated moving average models*) model. Adaptivnost ovog modela čini ga sličnim metodama eksponencijalnog izgladivanja, tako da može modelirati trendove i sezonska kretanja, a može biti i automatizovan. Ipak, s obzirom da je zasnovan na autokorelacijama, ima bolju primenu od metoda eksponencijalnog izgladivanja kod stabilnih i obimnijih skupova podataka (E. M. de Oliveira & Cyrino Oliveira, 2018).

Kako bi se primereno obradio skup podataka energetskog modela, potrebno je razmotriti i hibridnu prostornu raspodelu koja promatra različite karakteristike urbanih i ruralnih prostora, a potom se na svaki od njih primenjuju određena sistemska ograničenja (Fodstad et al., 2022). Primera radi, Simoes i drugi autori (Simoes et al., 2017) pokazali su da geografske karakteristike, postojeća infrastruktura i regionalne razlike utiču na formiranje podele u potražnji za energijom. Može se uvesti ograničenje koje će tehnologije proizvodnje energije imati prioritet snabdevanja energijom u određenom regionu, dok se istovremeno simuliraju proizvodni potencijal i troškovi integracije obnovljivih izvora energije sa strane ponude. Autori su dokazali da regionalna podela proizvodnje iz OIE može uticati na preceanjvanje ili potcenjivanje troškovne efikasnosti analiziranih tehnologija proizvodnje energije.

Ispitivanje bihejvioralno realističnih odgovora modela na strategiju tehnološki fokusirane energetske regulative pokušano je kroz razvoj hibridnog energetsko-ekonomskog modela CIMS (Horne et al., 2005). CIMS integriše oba analitička pristupa modeliranju i alocira poreklo rasta tržišnog udela po vrsti tehnologije proizvodnje, a u skladu sa tekućom potražnjom za energijom. Zasnovan je na finansijskim parametrima, pretpostavki heterogenosti tržišta i nefinansijskim faktorima konkurentnosti. Kako bi se unapredila procena bihejvioralnog parametra u okviru CIMS modela, autori su predložili ekonometrijski instrument – multinominalni *logit*, koji je u stanju da analizira prirodu preferencija potrošača.

Drugi autori (Soria et al., 2016) su dodatno obezbedili međusektorsku konzistentnost hibridnih modela integracijom sledećih modela: MESSAGE, koji u ovom slučaju optimizuje ekspanziju celog energetskog sektora, TIMES-TiPS modela, koji optimizuje ekspanziju snage električne energije i

REMIX-CEM-B modela, koji optimizuje otpremanje energije iz proizvodnih postrojenja. U ovom slučaju, oportunitetni troškovi za svaki izvor energije izračunati su kroz ceo lanac energetske konverzije. Međim povezivanjem pomenutih modela autori su dokazali troškovnu efikasnost za sve oblike energije koji su obuhvaćeni analizom.

4 KONCEPTUALNI OKVIR ZA ISTRAŽIVANJE ENERGETSKOG SEKTORA REPUBLIKE SRBIJE PUTEM METODE SCENARIJA

4.1 Metoda scenarija

Planiranje na osnovu scenarija stimuliše strateški pristup menadžerskim odlukama i služi kao instrument za prevazilaženje limita procesa predviđanja kreiranjem višestrukih opcija za projekciju budućnosti. U dinamičkom okruženju rastućih promena, scenariji mogu smanjiti stepen nesigurnosti sa kojom se projektuje anticipirana realnost. Definisanjem nekoliko pravaca razvoja sa različitom verovatnoćom realizacije ova metoda pruža „holistički i šematski pregled za opis budućeg stanja“ (Sardesai et al., 2021). Štaviše, metoda scenarija bi trebalo da obuhvati sve komplikovane elemente na jedan celovit, sistematičan, koherentan i verodostojan način (Amer et al., 2013). Za razliku od klasičnog pristupa prognoza koje imaju za cilj da identifikuju najverovatniji sled okolnosti koji će dovesti do izvesne budućnosti, scenariji istražuju niz alternativnih ishoda koji su rezultat određenog stepena neizvesnosti (Pillkahn, 2008). Na osnovu toga može se reći da scenariji nisu alati predviđanja najverovatnije budućnosti, već služe za obrazovanje jedinstvenog skupa verovatnih budućih pravaca.

Premisa naučne primene metode scenarija nastala je u vojnoj industriji nakon Drugog svetskog rata. Ministarstvo odbrane SAD-a razmatralo je koje bi investicione odluke trebalo doneti usled rastuće složenosti proizvedene vojne opreme. Situacija visokog stepena političke neizvesnosti primorala je analitičare da koriste instrumente koji bi obuhvatili konsenzus raznolike grupe stručnjaka, što je podstaklo razvoj simulacionih modela za istraživanje posledica nastanka alternativnih pravaca politike (Bradfield et al., 2005). Što se tiče samog definisanja metode scenarija u literaturi, autori Herman Kan i Antoni Viner smatraju se idejnim tvorcima naučne zasnovanosti upotrebe metode, sa kojom su javnost upoznali krajem 1960tih godina. Prema njima, scenariji su pokušaji da se detaljno opiše hipotetički sled događaja koji bi sa visokim stepenom verovatnoće doveli do nastanka predviđene situacije (Kahn & Wiener, 1967). Veliki doprinos primeni scenarija u praksi je, između ostalih, dao i Gaston Berger, francuski filozof koji je prvi koristio scenarije da opiše politička i društvena dešavanja u Republici Francuskoj (Damon, 2005). U okviru instituta koji je osnovao, pod nazivom *le Centre international de prospective*, Berger je zastupao prospektivno razmišljanje o formulisanju normativnih scenarija koji bi poslužili kreatorima politike za dalja delovanja (Bradfield et al., 2005).

Teorijska i praktična saznanja o upotrebi metode scenarija ukazuju na to da njihova pojava umnogome zavisi od nastanka neizvesnosti, naročito prilikom velikih promena uzrokovanih intenzivnom dinamikom novih događaja i uvođenjem velikog broja inovacija (Pillkahn, 2008). Usvajanje scenarija kao metode naučnih istraživanja u uslovima nestabilnog poslovnog okruženja

posebno je došlo do izražaja nakon prve naftne krize 1974. godine, gde se u drugoj polovini 1970tih godina uočava dvostruko veća primena ove metode za oblast ekonomike poslovanja, u okviru stratejskog poslovnog planiranja (Malaska et al., 1984). Na korporativnom nivou, kompanija *Shell* prva je zvanično uvela stratejski pristup planiranju primenom metode scenarija u toku takozvanog naftnog šoka (Amer et al., 2013). Ovakav i slični događaji neočekivanih tržišnih neravnoteža dodatno ukazuju na važnost metode scenarija za dugoročno predviđanje kretanja u okviru energetske sistema. Povoljnost scenarija je što kao heuristički metod može obezbediti realan uvid u dalje očekivane tokove poslovanja. Time služi i kao upotrebljiv alat za spajanje teorije i prakse u cilju upravljanja organizacijama prema poslovnom okruženju koje se očekuje u budućnosti (Sarpong, 2016).

Scenariji su korisni jer između ostalog mogu služiti i za (Kahn & Wiener, 1967): (1) skretanje pažnje na proširenje područja koje se mora razmotriti usled okolnosti brzih promena koje slede u budućnosti, (2) ilustraciju mogućnosti koje se razmatraju na veoma koristan i napredan način, (3) detaljnu analizu odabranih skupova mogućnosti, koja navodi analitičare na pažljivo zaključivanje i izbegavanje apstraktnih predviđanja, (4) razumevanje interakcije elemenata između različitih društvenih, ekonomskih, kulturoloških i psiholoških faktora, (5) klasifikaciju značaja pitanja koja se mogu postaviti ili principa koji se mogu zadati za potrebe složenosti stvarnog sveta, (6) razmatranje alternativnih ishoda za selektovana prošla ili trenutna dešavanja, (7) kreiranje istorijskih primera koji nisu nastali, kako bi se lakše pojasnili aktuelni događaji i nadoknadio nedostatak stvarnih primera.

Metoda scenarija se može primeniti u mnogim oblastima istraživanja. Na primeru ispitivanja iz oblasti energetike, scenario je konzistentan opis kako bi energetske sistem trebalo da izgleda u budućnosti i kako bi mogao da evoluiira pod prethodno zadatim skupom preduslova (Kadian et al., 2007). Takođe, energetske scenariji se mogu opisati i kao alternativne putanje razvoja za budućnost sa ciljem smanjenja nejasnoća u identifikaciji optimizovanih rešenja (Hayat et al., 2019). Uopšteno posmatrano, alternativni scenariji predstavljaju nekoliko „potpuno različitih budućnosti od kojih ni jedna ne mora biti prava, ali koje primoravaju menadžere da razmišljaju o ekonomskim i poslovnim mogućnostima i često se suprotstavljaju njihovim tradicionalnim stavovima“ (Milićević, 2011, str. 143).

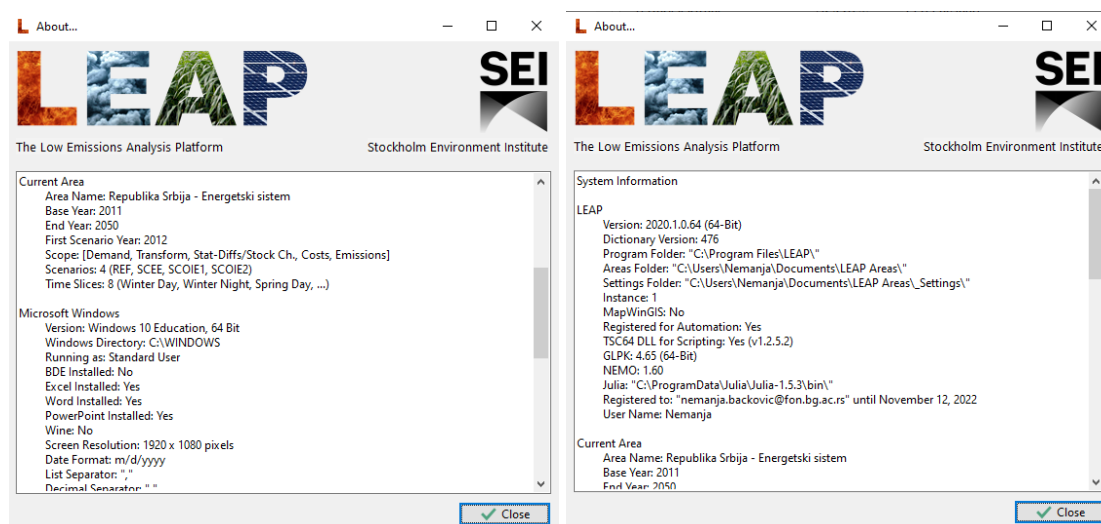
4.2 Opis modela LEAP

Low Emissions Analysis Platform (u nastavku: LEAP) je integrisani instrument za modeliranje procesa iz oblasti energetike zasnovan na pristupu metode scenarija (Heaps, 2022). Spada u grupu modela integrisane procene energetike i njenog uticaja na klimatske promene (*Integrated Assessment Modelling* - IAM). Razvijen je od strane *Stockholm Environment Institute* instituta i koristi se u nekoliko hiljada organizacija, u više od 190 zemalja sveta. Primena LEAP softverskog modela je posebno prisutna u zemljama u razvoju sa ciljem sprovođenja integrisanog resursnog planiranja energetske sistema, procene smanjenja emisije štetnih gasova od izvora energije i za razvoj održivih strategija upotrebe obnovljivih izvora energije.

Trenutno je u primeni u najmanje 32 zemlje u razvoju, gde je prioritetni cilj instrumenta kreiranje scenarija za sektore energetike koji bi bili u skladu sa postulatima Pariske konvencije za borbu protiv klimatskih promena. LEAP je prethodno nosio naziv *Long-Range Energy Alternatives Planning System*, ali je pomenuti naziv naknadno promenjen radi posebnog akcenta na kreiranju eko-sistema visoke troškovne efikasnosti, usmerenog ka smanjenju emisije štetnih gasova iz oblasti energetike.

LEAP se može koristiti za sveobuhvatnu analizu brojnih procesa koji utiču na sve industrijske sektore kako bi se utvrdila kretanja finalne potrošnje energije za energetske i neenergetske svrhe. Pored toga,

navedeni softverski instrument za energetska modeliranje pruža mogućnost kreiranja širokog dijapazona rešenja za različite metodologije modeliranja i optimizacije sistema energetike kroz unos podataka koji su svojstveni za konkretan primer na globalnom, nacionalnom ili regionalnom nivou. Sloboda unosa vrste podataka i izbora tehnika simulacija doprinosi fleksibilnosti i transparentnosti prilikom formiranja scenarija modela.



Slika 4.1: Informacije o sistemu LEAP modela i potvrda o licenci za korišćenje

Izvor: (Heaps, 2022)

O kompleksnosti modeliranja na bazi integrisane procene govori i podatak da je multidisciplinarna analiza energetike danas toliko razvijena da je često potrebno i više sati rada kako bi instrument obavio proračun svih zadatih scenarija. U odnosu na modeliranje iz oblasti teorije igara, modeli integrisane procene imaju napredniji kvantitativan pristup rešenja pitanja iz oblasti uticaja sektora energetike na životnu sredinu (Yang, 2008).

Ključni elementi instrumenta LEAP su:

1. Potražnja za energijom
2. Transformacija energije
3. Resursi (energenti, oblici energije)

Podaci o proizvodnji električne energije mogu se uneti i obraditi u okviru elementa transformacije energije. Shodno tome, LEAP vrši proračune snabdevanja električnom energijom za potrebe zadovoljenja potražnje za energijom u zadatom periodu. Navedena simulacija se sprovodi na osnovu brojnih ulaznih parametara, kao što su to procesna efikasnost rada elektrana, investicioni troškovi tehnologije za proizvodnju energije, potražnja za energijom, vršno opterećenje i drugi. Izlazni parametri modela mogu biti dodatni kapacitet rada elektrana, proizvedena električna energija, zahtevi energetske sistema za vrstama goriva, emisija štetnih gasova sa efektom staklene bašte, nove tehnologije i ostali relevantni parametri (Heaps, 2022).

Mogućnosti modeliranja energetske procesa u okviru LEAP instrumenta mogu se podeliti na osnovna dva segmenta:

1. Prvi segment LEAP metodološkog okvira sadrži ugrađene alate za obračun energetske potreba sektora potrošnje, emisiju štetnih gasova iz sektora energetike, kao i za analizu troškova i koristi sistema. Prethodno integrisane matematičke formulacije koje su za potrebe

kreiranja scenarija razvrstane u osam podkategorija prema vrsti funkcija (matematičke, logičke, statističke, ekonomsko-financijske, svojstva energenata, konstante, funkcije vremenskih serija i funkcije modeliranja) obuhvataju više stotina matematičkih operacija. Navedene kategorije predstavljaju celovit i važan faktor za uvećanje kompleksnosti varijeteta scenarija i za sprovođenje analiza sa više promenljivih.

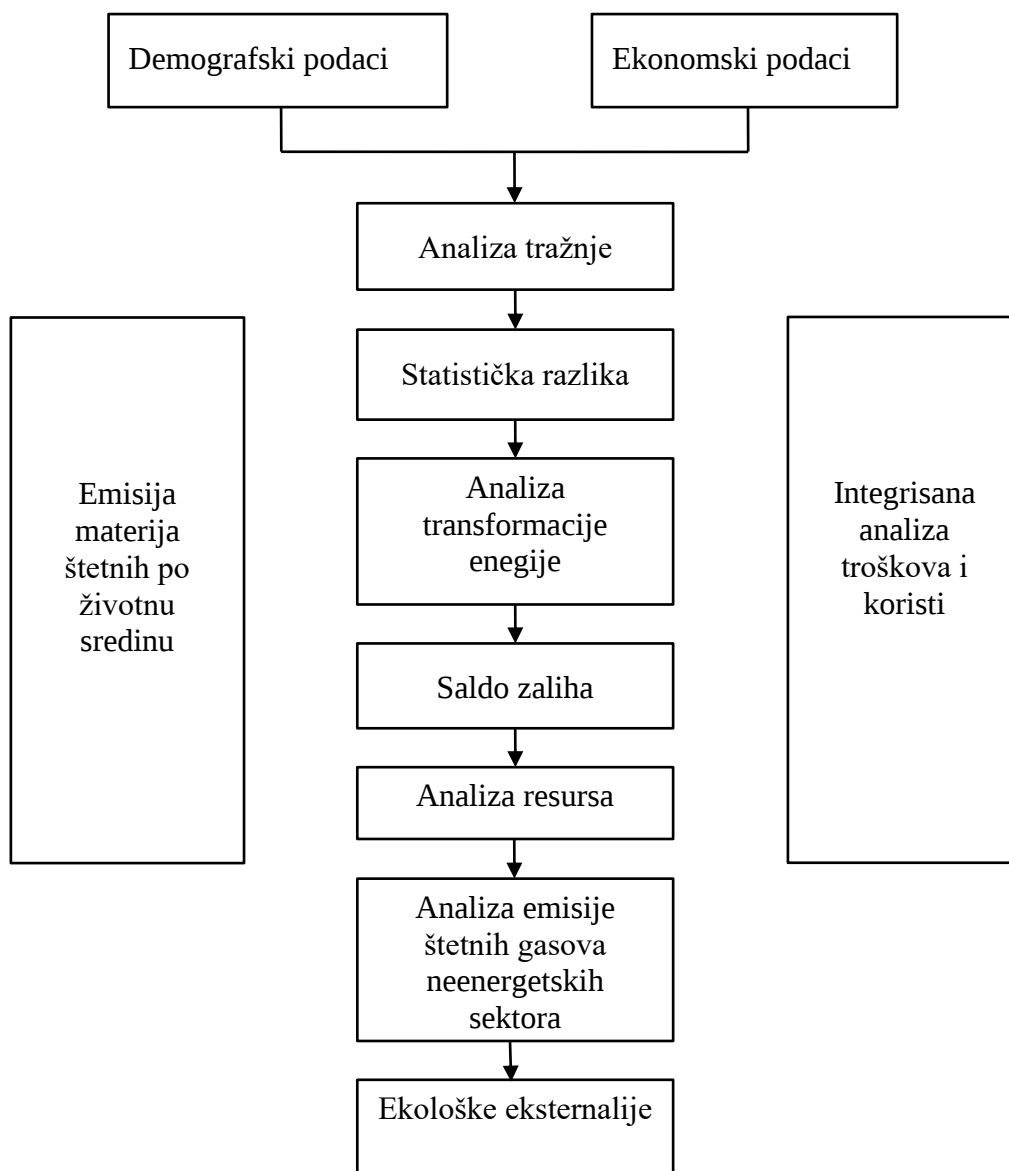
2. Drugi segment LEAP-a omogućava integraciju samostalno kreiranih, sofisticiranih ekonometrijskih i simulacionih pristupa korisnika u cilju njihovog povezivanja sa računovodstvenim okvirom instrumenta i sa pratećim programima za optimizaciju. Time se mogu kreirati napredni energetske modeli sa više varijabli, uz detaljnu specifikaciju raznovrsnih podataka. U tom smislu, instrument pokriva u potpunosti sve aspekte kreiranja scenarija energetskog sistema i razvoja energetike u odnosu na složene ekonomske procese.

Na strani potražnje za energijom LEAP pruža podršku za *bottom-up* modeliranje procesa, dok je omogućen i *top-down* pristup sa aspekta makroekonomske analize (Heaps, 2002). U kontekstu planiranja ekspanzije postojećih energetske kapaciteta, model omogućava upotrebu većeg broja računovodstvenih i simulacionih metoda, kao i optimizacije energetskog sistema. Podrška iterativnom analitičkom pristupu data je kroz samostalan izbor metodologije od strane analitičara koji razvija model. U pogledu obima traženih podataka za interpretaciju dobijenih rezultata, LEAP nema jasno definisane zahteve, već analitičar sam određuje kompleksnost modela. Time je data važnost intuitivnom pristupu kompleksne analize energetske sistema i prikazu svojstvene strukture modela.

LEAP je osmišljen na bazi koncepta analize sektora energetike kroz ispitivanje njegovog uticaja na ekonomski rast i industrijske sektore primenom metode scenarija. Idejna rešenja navedenog instrumenta uglavnom su usmerena ka srednjem i dugom vremenskom roku, pri čemu je većina istraživanja sprovedena za period između dvadeset i pedeset godina od referentne (bazne) godine. Pored toga, integrisani instrument ostavlja prostora i za kalkulaciju na osnovu posebno definisanih vremenskih odseka, ili po prioritetnosti procesa za otpremanje izvora energije. Ove opcije su od posebnog značaja za opis sezonskih i cikličnih fluktuacija primarne proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije. Podrazumeva se da se varijacije proizvodnje energije mogu menjati u okviru scenarija, zajedno sa procesnom efikasnošću korišćenja izvora energije.

Koristeći LEAP, moguće je sprovesti evaluaciju različitih alternativnih scenarija i na koji način se sektor energetike može razvijati u pogledu samoodrživosti i uticaja na celokupan eko-sistem države. Pogodan je i za postavljanje „šta-ako“ pitanja za scenarije, na primer: koje bi bile potencijalne implikacije za energetiku, životnu sredinu i troškove korišćenja oblika energije ako postoji visok ekonomski rast i ako energetske sektor postiže pozitivne rezultate po pitanju strategija energetske politike. Shodno tome, komparativna analiza definisanih scenarija uključuje poređenje energetske zahteva modela, ključnih pretpostavki scenarija, relevantnih troškova proizvodnje energije, uticaja energetskog sektora na životnu sredinu, ali i mnoge druge ekonomske aspekte održivog upravljanja energetskim sistemom.

Potrebno je ukazati na činjenicu da LEAP, za razliku od većine modela integrisane procene energetske sistema, ne zahteva obiman unos podataka u model kako bi se izvršila evaluacija scenarija. Suprotno od toga, s obzirom da je moguće odabrati metodologiju modeliranja i optimizacije energetskog sistema, analiza podataka može biti ograničena samo na njihove osnovne vrste i podvrste. Time će se naravno dobiti i pojednostavljeni rezultati koji nisu u skladu sa realnim stanjem sektora energetika, ali na korisniku je da na kompleksnosti samostalno postavljanih scenarija.



Slika 4.2: Pojednostavljena struktura LEAP kalkulacije

Izvor: (Heaps, 2002)

Kao što je navedeno u sažetom prikazu strukture LEAP kalkulacije, instrument raspolaže mehanizmima za kompleksnu i detaljnu analizu uzročno-posledičnih veza energetskog sistema, sa posebnim osvrtnom ka ekonomskoj analizi. Set instaliranih mera za ispitivanje brojnih tehnologija proizvodnje električne energije olakšava definisanje trenda kretanja i razvoja korišćenja izvora energije. Još jedna od prednosti je što se LEAP može direktno povezati sa *Microsoft Excel* programom za potrebe kreiranja analize vremenskih serija. Pored navedenog, ta veza se može koristiti i kao interaktivan instrument za otklanjanje grešaka i dijagnostiku pogrešno unetih podataka.

Sa aspekta optimizacije modela, važno je napomenuti opcije za specifikaciju podataka kapaciteta raznih vrsta elektrana u okviru kategorije „Proizvodnja energije transformacijom”. U zavisnosti od toga na koji način korisnik unese podatke o kapacitetima elektrana i po kom redosledu, mogu se dobiti sasvim različiti rezultati za isti scenario.

Postoje četiri osnovna pristupa definisanju parametara za proizvodnju energije transformacijom u LEAP-u (Stockholm Environment Institute, 2005):

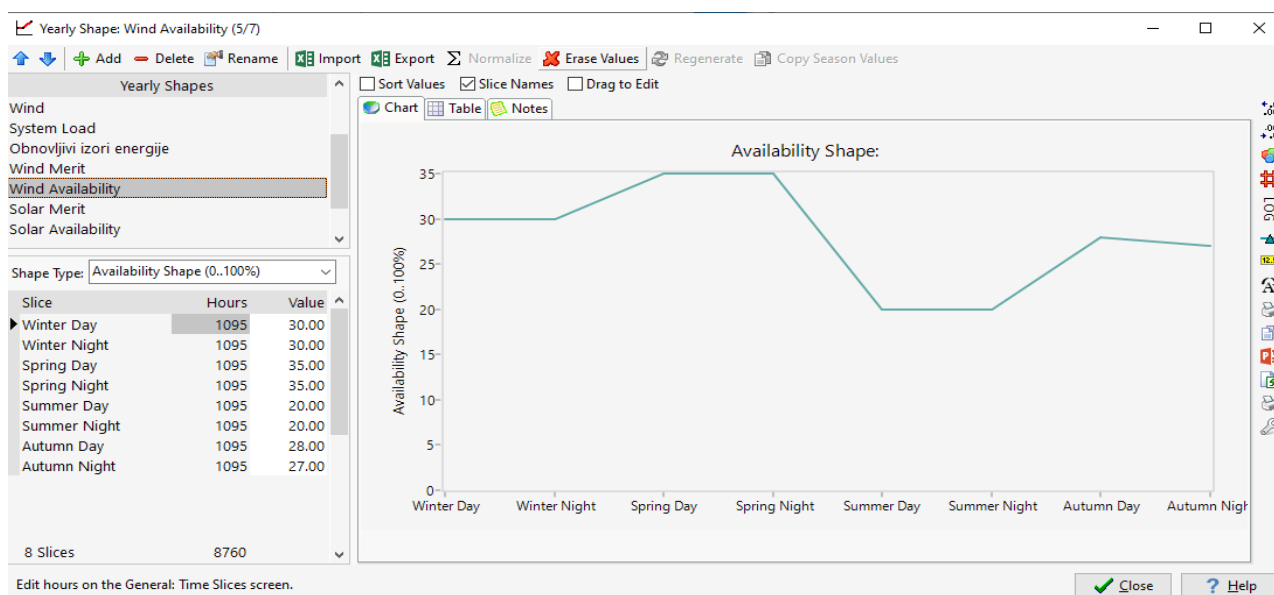
- Ignorirati limite kapaciteta – ovakav pristup može biti koristan u slučaju da korisnik ne raspolaže podacima o kapacitetu elektrana, ili ukoliko ih ne smatra važnim za dalju kalkulaciju. Pogodan je i za situacije kada je kategorija manjeg značaja za proizvodnju energije transformacijom, pa ne može uticati u većoj meri na dobijeni rezultat. Svakako bi bilo poželjno izbegavati navedeni pristup u slučaju definisanja kompleksnog scenarija.
- Korisnik kontroliše koje kapacitete proizvodnje dodati i u kom vremenskom intervalu ih dodati – pristup daje mogućnost samostalnog unosa egzogenih kapaciteta za ulazne sirovine odabranih tehnologija proizvodnje. Pristup daje kontrolu korisniku da prilagodi operacije modula realnim procesima sektora energetike.
- Korisnik kontroliše koje kapacitete proizvodnje dodati, ali LEAP kontroliše u kom vremenskom intervalu će biti dodati – odabirom ovog pristupa korisnik i dalje ima punu kontrolu nad sistemom dodataka resursa, definisanja radnog veka elektrana, troškovne efikasnosti itd. Jedina razlika je u tome što se mogu dodati i endogeni kapaciteti tehnologija koji će biti upotrebljeni samo ukoliko bude došlo do nestašica iz planiranih kapaciteta transformacije energije. U tom slučaju, LEAP će automatski dodati endogene kapacitete po prioritetu zasnovanom na procentualnoj margini rezervi resursa. Time će model stremiti ka održavanju planirane rezervne margine dostupnih resursa, koju je prethodno uneo korisnik.
- LEAP kontroliše koje kapacitete proizvodnje dodati i LEAP kontroliše u kom vremenskom intervalu će biti dodati – u okviru četvrtog pristupa LEAP ima punu kontrolu nad otpremanjem dostupnih resursa za proizvodnju energije transformacijom, koju najpre kontroliše metodologijom optimizacije troškova sistema. Optimizacija se može primeniti i za samo jedan od postavljenih scenarija pa se time dalje može porediti sa drugim scenarijom koji bi ostao pod kontrolom modeliranja korisnika. Data fleksibilnost olakšava proces donošenja odluka o prioritetu otpremanja izvora energije. Sa aspekta dostupnosti podataka, fokus je na kapitalnim troškovima, troškovima održavanja, troškovima energenata i na operativnim troškovima elektrana.

LEAP je krajnje intuitivan instrument za analizu sektora energetike i može sprovesti optimizaciju modelu na osnovu najnižeg troška proizvodnje energije (na engleskom jeziku *least-cost optimization*). Kao *bottom-up* energetska model, LEAP u okviru modula za proizvodnju energije transformacijom sadrži pravilo otpremanja energije (u okviru programa: *Dispatch Rule*), koje pruža sledeće opcije (Heaps, 2022):

- Otpremanje oblika energije proporcionalno dostupnom kapacitetu (u okviru programa: *Proportional to Capacity*).
- Procentualni udeo (u okviru programa: *Percent Share*), omogućeno prethodno definisanje procentualnog udela energije u ukupnoj proizvodnji, pogodno za određivanje ciljnog učešća OIE kao smernice za razvoj mehanizma podrške OIE kroz novu energetska regulativnu politiku (u okviru programa: *Renewable Energy Target*).
- Pun kapacitet (u okviru programa: *Full Capacity*), otpremanje punog kapaciteta energiju za proizvodnju transformacijom, bez obzira na zahteve sistema.
- *Merit Order Dispatch* – rangiranje dostupnih izvora energije na osnovu marginalnih troškova proizvodnje.
- Otpremanje energije za proizvodnju u zavisnosti od operativnih troškova sistema (varijabilnih troškova i cene goriva) (u okviru programa: *Running Cost Dispatch*).

Od toga koja tehnika otpremanja energije se odabere zavisi tok daljeg istraživanja. Za potrebe usklađenosti sa energetske bilansima Republike Srbije izabrana je opcija procentualnog udela

(*Percent Share*). Dalje modifikacije pravila otpremanja energije prilagođene su projekcijama energetskog sektora i biće prikazane u okviru prezentovanja rezultata. Komentar o uticaju na energetski bilans dat je u okviru komparativne analize scenarija. Za realističan pristup potencijalu integracije obnovljivih izvora energije u sektoru energetike, LEAP pruža korisniku slobodu kreiranja oblika krivulje energetskog opterećenja, *merit order* metode i dostupnosti izvora energije. Ova opcija je prikazana na narednom snimku ekrana modela.



Slika 4.3: Prikaz postavke godišnjeg faktora korisnosti kapaciteta OIE u modelu LEAP

Izvor: Analiza autora, prikaz modela LEAP (Heaps, 2022)

Navedene opcije su veoma bitne za modeliranje upotrebe OIE, uzimajući u obzir promenljiv stepen korišćenja ovih izvora energije (*CUF – Capacity Utilization Factor*). Sezonske varijacije brzine vetra, na primer, najčešće slede dvoparametarsku Vejbulovu raspodelu i Rejljevu raspodelu, koja je njen podskup (ima jedan parametar), sa ograničenim radom na nivou maksimalnog kapaciteta (Lun & Lam, 2000). LEAP može realno reflektovati kretanje faktora korisnosti obnovljivih izvora energije, procesnu efikasnost i ukupne sate punog opterećenja sistema za proizvodnju energije.

Saglasno sa navedenim, zaključuje se da LEAP predstavlja sistem za podršku u odlučivanju prilikom planiranja energetskih tokova, ublažavanja klimatskih promena i smanjenja emisija štetnih gasova od proizvodnje energije. Fokus ekonomske analize koja se sprovodi u okviru instrumenta jeste ispitivanje posledica usvajanja različitih strategija razvoja energetike za dugi vremenski rok. Na osnovu pregleda svih kategorija i podkategorija LEAP-a, može se konstatovati da ovaj instrument stavlja naglasak na uspostavljanju stabilnosti energetskih sistema i na kontroli tokova energenata putem naprednih softverskih rešenja.

Fleksibilnost instrumenta i sposobnost modeliranja nastalih promena podstiče adaptivnost u poslovanju energetskih subjekata. Time se razmatra veza između efikasnosti njihovog poslovanja i razvoja energetike. Opšte posmatrano, logika LEAP instrumenta se zasniva na simulaciji procesa savremenih energetskih sistema radi procene potencijala ostvarenja dugoročnog održivog razvoja energetike. LEAP se sastoji od neophodnih komponenti da bi se uključile sve tehno-ekonomske karakteristike sistema prema alternativnim scenarijima razvoja energetike. Posledično, ovakav pristup omogućava kreatorima energetske politike da utvrde uticaj pojedinačnih regulativnih mera i njihove zajedničke integracije na strategiju razvoja energetike (Heaps, 2022).

4.2.1 Potencijal globalnog zagrevanja od energetskeg sektora – GWP (*The Global Warming Potential*)

Efekti direktnih i indirektnih uticaja na životnu sredinu uključeni su u okviru kategorije GWP – *The Global Warming Potential*. Kategorija obuhvata skup od 258 različitih efekata, zajedno sa celokupnom dokumentacijom o prirodi uticaja brojnih kompleksnih efekata (Stockholm Environment Institute, 2005). GWP obuhvata sve štetne gasove sa efektom staklene bašte definisane u najnovijoj proceni Međuvladinog panela za klimatske promene. Istaknute su i hemijske formule efekata, zajedno sa grupisanjem štetnih hemikalija. Pored navedenog, LEAP daje mogućnost korisniku da samostalno doda novi efekat i precizira njegova specifična hemijska svojstva. Bitno je istaći da su vrednosti GWP-a definisane sa vremenskim rasponom od 20, 50 ili 100 godina. Te vrednosti odražavaju relativni potencijal svakog efekta emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte na dugi rok. Relevantno je koji vremenski period se bira, jer na primer metan ima 20-godišnji GWP od 84 tone ekvivalentne CO₂, 100-godišnja vrednost iznosi 28 tona, dok je 500-godišnja vrednost metana 8 tona ekvivalentne CO₂ (IPCC, 2014) (GWP vrednost na period od 500 godina nije uključena u AR5 izveštaju iz 2014. godine). Analiziraju se i složene hemikalije poput hlorouglenika, bromouglenika, hlorovodonika i drugih. Napomena jeste da LEAP ne može ispitivati indirektan uticaj emisije štetnih gasova, kao što je uticaj na zdravlje građana, već su emisije direktno povezane sa upotrebom oblika energije. Uprkos tome, LEAP ima integrisan IBC (*Integrated Benefits Calculator*) modul za procenu ukupnog uticaja aktivnosti energetskeg sektora na zdravlje građana, klimatske promene i na celokupan eko-sistem zemlje. IBC se može koristiti i za analizu koristi od redukovanja emisije štetnih gasova prouzrokovanih proizvodnjom energije.

4.2.2 Baza podataka TED (*The Technology & Environmental Database*)

Dostupnost i adekvatnost izvora podataka za referenciranje ekonomskih parametara novih tehnologija proizvodnje energije često može biti problem za detaljnu analizu energetskeg sistema. Kontinuiranost promena, uvođenje radikalnih inovacija i stalno sniženje cena instalirane opreme čine samo neke od poteškoća za istraživače u pogledu unosa merodavnih podataka. Neretko je slučaj da se analitičar suočava sa neusklađenošću dostupnih izvora podataka za domaće i međunarodno tržište, pri čemu se dovodi u pitanje koji izvor bi trebalo koristiti. U obzir bi trebalo uzeti i činjenicu da su poslovni ambijent i razvoj upotrebe tehnologija specifični za svako tržište posebno, što svakako ne olakšava prikupljanje verodostojnih podataka.

Jedna od dodatnih prednosti LEAP-a u odnosu na druge navedene modele integrisane procene energetskeg sistema istaknuta je u formi TED (*Technology and Environmental Database*) baze podataka (Stockholm Environment Institute, 2005). Naime, TED je inovativna baza ažuriranih podataka koji su dostupni korisniku u okviru LEAP-a i ti podaci se odnose na potražnju za energijom, konverziju energije, transmisiju, distribuciju, skladištenje energije i kontrolu emisije štetnih gasova.

TED obuhvata obimnu datoteku za više od hiljadu vrsta tehnologija proizvodnje energije, koju povlači iz svetski relevantnih izvora brojnih vladinih i nevladinih organizacija. TED podaci odnose se na tehničke karakteristike, troškove i uticaj na životnu sredinu širokog spektra postojećih tehnologija, zatim na trenutno najbolje prakse proizvodnje energije i na uređaje novije generacije (Heaps, 2022). TED kao izvor koristi izveštaje desetina svetskih institucija, kao što su to Departman za energetiku Sjedinjenih Američkih Država (*US Department of Energy*), Međunarodna agencija za energetiku (*IEA – International Energy Agency*), Intervladin panel za klimatske promene (*IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change*) i druge.

LEAP: Republika Srbija - Energetski sistem

Area Edit View General Tree Advanced Help
New Open Save Settings Effects Units What's This?

Information Data Summary

Technology	Category	Emiss. Data?	Cost? Data?	Capacity? Data?	Efficiency? Data?	Input Fuels	Output Fuels	Reference
100W Electric incandescent	South Africa					Electricity	Electricity	Thorne (1996)
10W Electric compact Fluorescent	South Africa					Electricity	Electricity	Thorne (1996)
130W Electric compact Fluorescent	South Africa					Electricity	Electricity	Thorne (1996)
150L Electric geyser	South Africa					Electricity	Electricity	Thorne (1996)
10W Electric compact Fluorescent	India					Wood	Electricity	IPCC (1996)
3 Stone Fire	Africa wide					Wood	Electricity	Westhoff and German...
60W Electric incandescent	South Africa					Electricity	Electricity	Thorne (1996)
Ambrosia Stove	West Africa					Charcoal	Electricity	Westhoff and German...
Jamba Stove	East Africa					Wood	Electricity	Westhoff and German...
Angeethi Charcoal	India					Charcoal	Electricity	IPCC (1996)
Angeethi Charcoal briquettes	India					Hard Coal Briq...	Electricity	IPCC (1996)
Anthraxite PBC	IPCC Tier 2 Default Emi...					Coal Anthracite	Electricity	IPCC (1996)
Anthraxite Pulverised	IPCC Tier 2 Default Emi...					Coal Anthracite	Electricity	IPCC (1996)
Aerobic Slakers	IPCC Tier 2 Default Emi...					Coal Anthracite	Electricity	IPCC (1996)
Automatic Stove	West Africa					Electricity	Electricity	Westhoff and German...
Average CNG	Argentina					Natural Gas	Electricity	
Average Diesel	Argentina					Diesel	Electricity	
Average Diesel	Argentina					Diesel	Electricity	
Average Diesel	Argentina					Diesel	Electricity	
Average Electricity	Argentina					Electricity	Electricity	
Average Gasoline	Argentina					Gasoline	Electricity	
Average Jet Kerosene	Argentina					Jet Kerosene	Electricity	
Babour Economique Stove	Africa wide					Kerosene	Electricity	ESMAP: Tunisia (1992)
RAND	Africa wide					Kerosene	Electricity	ESMAP: Tunisia (1992)
Regisair Ag. Waste Boilers	IPCC Tier 2 Default Emi...					Wood	Electricity	IPCC (1996)
Ten W Soil Stove	Africa wide					Wood	Electricity	ESMAP (1991)
Best CNG	Argentina					Natural Gas	Electricity	
Best Diesel	Argentina					Diesel	Electricity	
Best Diesel	Argentina					Diesel	Electricity	
Best Gasoline	Argentina					Gasoline	Electricity	
Best Jet Kerosene	Argentina					Jet Kerosene	Electricity	
Biogas Lamp	Lighting					Biogas	Electricity	Louineau et al. (1994)
Biogas stove	India					Biogas	Electricity	Smith et al. (1999)
Biomass	IPCC Tier 1 Default Emi...					Biomass	Electricity	IPCC (1996)
Biomass Commercial	IPCC Tier 1 Default Emi...					Biomass	Electricity	IPCC (1996)
Biomass Residential	IPCC Tier 1 Default Emi...					Biomass	Electricity	IPCC (1996)
Biomass Stationary	IPCC Tier 1 Default Emi...					Biomass	Electricity	IPCC (1996)
Btuh. Pulverized Combustion Dry Bottom	IPCC Tier 2 Default Emi...					Coal Bituminous	Electricity	IPCC (1996)
Bituminous Coal Underfeed Stoker	IPCC Tier 2 Default Emi...					Coal Bituminous	Electricity	IPCC (1996)
Bituminous PBC Bubbling Bed	IPCC Tier 2 Default Emi...					Coal Bituminous	Electricity	IPCC (1996)
Bituminous PBC Circulating Bed	IPCC Tier 2 Default Emi...					Coal Bituminous	Electricity	IPCC (1996)
Bituminous Hand Fed Units	IPCC Tier 2 Default Emi...					Coal Bituminous	Electricity	IPCC (1996)
Bituminous Overfeed Stoker	IPCC Tier 2 Default Emi...					Coal Bituminous	Electricity	IPCC (1996)

Click a title to sort on that field, or double-click a row to jump to a technology.

Izvor: (Heaps, 2022)

1. rezultati,
2. energetski bilans,
3. rezime (sažet izveštaj za scenario, analiza troškova i koristi, izveštaj o hijerarhijskoj kompoziciji sistema, *MACC – Marginal Abatement Cost Curve* izveštaj i specijalni izveštaji kreirani od strane korisnika),
4. pregledi scenarija.

U prilog adekvatnom pristupu modeliranju i optimizaciji energetike od strane instrumenta LEAP govori i podatak da se model može u potpunosti prilagoditi i izmeniti prema potrebama standardnih programskih jezika, kao što su to *Visual Basic*, *C* i *Java*. Štaviše, LEAP može biti kontrolisan od strane određenog programskog jezika, uz pomoć koga bi postojala i opcija izmene celokupne strukture podataka. LEAP putem API (*Application Programming Interface*) interfejsa ima posebno adaptiran alat za skriptovanje, to jest sredstvo za prilagođavanje osnovne funkcionalnosti softvera. Putem API interfejsa mogu se formirati *Visual Basic* komande za kontrolu LEAP obrade podataka.

4.2.3 Softverska rešenja modela LEAP za optimizaciju scenarija razvoja energetike

Model LEAP u okviru instaliranih softverskih rešenja za optimizaciju definisanih scenarija razvoja energetike nudi mogućnost korišćenja dva programa: NEMO (*Next Energy Modeling system for Optimization*) i OSeMOSYS (*the Open Source energy MOdelling SYStem*).

4.2.3.1 Primena programa OSeMOSYS za optimizaciju modela

OSeMOSYS (*the Open Source energy MOdelling SYStem*) je softver otvorenog koda za integrisanu procenu sektora energetike i za energetske planiranje na dugi rok. OSeMOSYS je linearan program kreiranja energetske miksa, koji će iz perspektive korisnika simultano zadovoljiti egzogeno definisanu potražnju za energijom, uz adekvatnu strategiju sniženja troškova sistema, diskontovanih na nivo referentne godine scenarija (Gardumi et al., 2018). Sistemska ograničenja koja se mogu uneti u kod odnose se na limit minimalnog procentualno učešća OIE u ukupnoj proizvodnji električne energije, zatim na efikasnost konverzije energije, troškovnu efikasnost navedenih tehnologija itd. Primera radi, Vilijams i Niet (Williams & Niet, 2020) su u okviru OSeMOSYS softvera uneli kod za ograničenje scenarija sa aspekta limita ugrađenih kapaciteta OIE, za razliku od standardnog definisanog limita učešća ukupne proizvodnje iz OIE. Unos ovih, posebno prilagođenih ograničenja, omogućava evaluaciju uticaja na razvoj sistema i održivost upravljanja elektranama.

OSeMOSYS se sastoji od seta funkcionalnosti koji sadrži skupove jednačina i nejednačina koji se mogu dodati na osnovni kod kako bi se modifikovale specifične osobine određene studije slučaja (Gardumi et al., 2018). Dostupan je u okviru tri programska jezika, *GNU Mathprog*, *Python* i *GAMS*. OSeMOSYS uključuje i niz matematičkih formulacija koje olakšavaju praćenje obima skladištenja energije u realnom vremenskom prikazu. Segmentacija vremenskih perioda zavisi od prethodnog vremenskog ciklusa i aktivnosti unutar njega, tako da su svi periodi skladištenja energije međusobno povezani i nadovezuju se na sledeći način (Niet et al., 2021):

$$\forall t : S(t) = S(t - 1) + [Rin(t - 1) - Rout(t - 1)]\Delta t \quad (4.1)$$

S je početni nivo skladištenja u datom vremenu t , Rin i $Rout$ predstavljaju stepen intenziteta po kome se sistem skladištenja puni ili prazni, respektivno, dok Δt predstavlja dužinu vremenskog segmenta. Maksimalni i minimalni kapaciteti se proveravaju pre početka svakog vremenskog segmenta da bi se potvrdio adekvatan nivo skladištenja energije, što dodatno unapređuje proces optimizacije scenarija.

4.2.3.2 Primena programa NEMO za optimizaciju modela

NEMO (*Next Energy Modeling System for Optimization*) je softver otvorenog koda razvijen u matematičkom programskom jeziku *Julia* sa ciljem optimizacije sistema energetike. Fokus je na kritičkoj analizi savremenih trendova upotrebe obnovljivih izvora energije, kao i na analizi responzivnosti sistema u kontekstu zaštite životne sredine. NEMO se prevashodno koristi za planiranje razvoja energetike, ispitivanje dekarbonizacije energije i za napredne strategije energetske miksa. Osnovne karakteristike odnose se na optimizaciju tražnje i ponude električne energije, simulaciju mrežnih čvorova, modeliranje cilja procentualnog učešća obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji, analizu paralelnih procesa unutar scenarija, zatim na podešavanje opcija performansi sistema i povezana ispitivanja.

NEMO uključuje i podršku softverskim solverima za rešavanje problema linearnog i mešovitog celobrojnog programiranja, kao što su to na primer CBC (*Coin-or branch and cut*) GLPK (*GNU Linear Programming Kit*), *Gurobi*, MOSEK, *XPress* i IBM-ov CPLEX. Otvoreni kod softvera NEMO publikovan je preko hosting servisa *GitHub*. Pored toga, spajanjem sa *SQLite* sistemom za upravljanje bazama podataka ubrzan je proces kalkulacija i time se uticalo na poboljšanje performansi softvera.

Pored navedenog, koristeći jezik za modeliranje i matematičku optimizaciju *JuMP* u okviru *Julia* programskog jezika, NEMO je vremenom povećao funkcionalnost u odnosu na OSeMOSYS (Veysey & Kemp-Benedict, 2019). Trenutno ova dva pomenuta softvera nisu više kompatibilni, tako da korisnik mora odabrati samo jedan od njih za optimizaciju u okviru LEAP modela.

Tabela 4.1: Mogućnost primene programa OSeMOSYS i NEMO prema području delovanja

Područje primene/Funkcionalnost	OSeMOSYS	NEMO
Zemlja/Region	DA	DA
Električna energija	DA	DA
Toplotna energija	DA	NE
Prirodni gas	DA	NE
Sistemi naprednih funkcija	DA	DA
Kompleksne individualne jedinice rada	PARCIJALNO	NE
Softver otvorenog koda	DA	DA
Optimizacija	DA	DA

Prilagođeno prema: (Groissböck, 2019)

Važno je napomenuti da se korišćenjem programa za optimizacijsko modeliranje u LEAP-u mogu odrediti i ciljevi za proizvodnju energije na način koji oponaša implementaciju standarda portfelja obnovljivih izvora energije (na engleskom jeziku RPS – *Renewable Portfolio Standard*). Pored toga, može se sagledati uloga koju skladištenje energije ima u podsticanju veće penetracije upotrebe obnovljivih izvora energije.

4.2.4 Algoritam LEAP modela

LEAP model sadrži metodološki okvir za kalkulaciju potražnje energije, transformacije energije i emisije štetnih gasova, koji se definišu na osnovu baze podataka dostupne korisniku (Emodi et al., 2017).

Ukupna potrošnja energije se računa kao (Feng & Zhang, 2012):

$$EC_n = \sum_i \sum_j AL_{n,j,i} \times EI_{n,j,i} \quad (4.2)$$

pri čemu je EC_n agregatna potrošnja energije za određeni sektor, AL je nivo aktivnosti, EI je energetska intenzitet, n je vrsta goriva, i je sektor, j je korišćena oprema.

Nivo aktivnosti se meri kao skala jedinica po domaćinstvu na godišnjem nivou, ili u iznosu metričkih tona za industriju (u zavisnosti od industrijske proizvodnje) (Emodi et al., 2017).

Neto potrošnja energije za transformaciju dobija se kao (Feng & Zhang, 2012):

$$ET_s = \sum_m \sum_t ETP_{t,m} \times \left(\frac{1}{f_{t,m,s}} - 1 \right) \quad (4.3)$$

gde je ET neto potrošnja energije za transformaciju, ETP je proizvod transformacije energije, f je efikasnost transformacije energije, s je vrsta primarne energije, m je oprema, dok je t vrsta sekundarne energije.

Proračuni u okviru modula za transmisiju i distribuciju električne energije uključuju domaću potražnju za gorivom i modeluju je u skladu sa odnosom inputa i outputa goriva koje zahteva modul. Za svaki proces važi (Lazarus et al., 1995, citirano kod Emodi et al., 2017):

$$INPUT_p = \frac{AUTPUT_p}{EFIKASNOST_p} \quad (4.4)$$

Tako, za modul transmisije i distribucije električne energije dobija se:

$$EFIKASNOST_p = 1 - GUBICI_p \quad (4.5)$$

gde je $INPUT$ gorivo ili sirovina, $AUTPUT$ je proizvedena električna energija ili output proizvodnje energije, $EFIKASNOST$ je efikasnost elektrane ili rafinerije.

Emisija ugljenika proistekla iz ukupne finalne potrošnje energije računa se kao (Feng & Zhang, 2012):

$$CEC = \sum_i \sum_j \sum_n AL_{n,j,i} \times EI_{n,j,i} \times EF_{n,j,i} \quad (4.6)$$

gde je CEC emisija ugljenika, AL je nivo aktivnosti, EI je energetska intenzitet i $EF_{n,j,i}$ je faktor emisije ugljenika od tipa goriva n , opreme j i sektora i .

Isti autori navode da se emisija ugljenika od transformacije energije može izračunati na sledeći način:

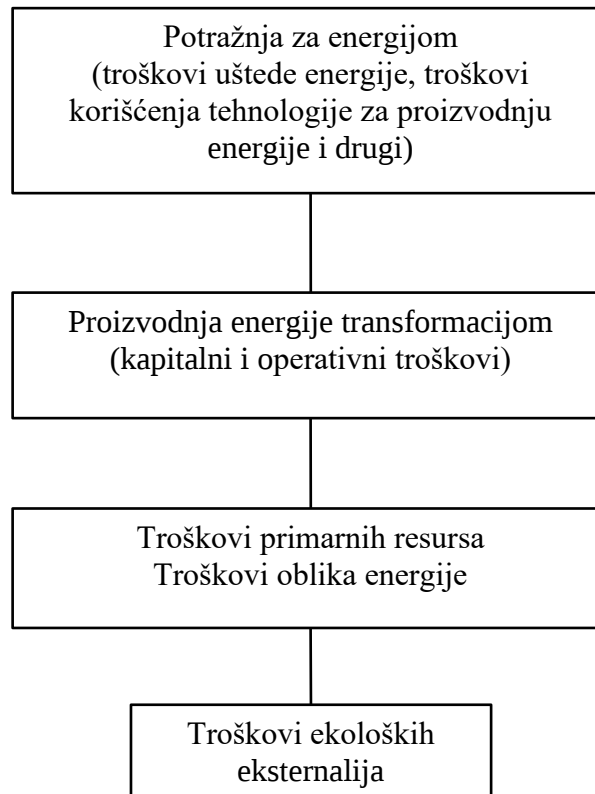
$$CET = \sum_s \sum_m \sum_t ETP_{t,m} \times \frac{1}{f_{t,m,s}} \times EF_{t,m,s} \quad (4.7)$$

gde je CET emisija ugljenika, ETP je proizvod transformacije energije, f je efikasnost transformacije energije i $EF_{t,m,s}$ je faktor emisije jedne jedinice vrste primarnog goriva s , korišćene za proizvodnju tipa sekundarnog goriva t , upotrebom opreme m .

4.2.5 Obračun troškova u okviru LEAP modela

U okviru modela LEAP integrisanog procesa analize energetske scenarija dosta pažnje posvećeno je kalkulaciji ukupnih troškova energetskog sistema i privrednih subjekata koji ga čine. Primetno je da model pruža adekvatan opseg opcija za savremene kalkulacije svih relevantnih troškova sistema. Isto tako, važan je i multidimenzionalni pristup obračunu troškova sa aspekta ekonomike energetike i uticaja troškova na analizu projektovanih ekonomskih koristi u budućim periodima.

Neke od kategorija troškova koje LEAP uključuje u analizu su: fiksni troškovi, varijabilni troškovi, troškovi održavanja, operativni troškovi, očekivani preostali troškovi vezani za investicione projekte, istorijski troškovi i drugi. Važno je napomenuti da „dublja analiza uzročnika troškova pokazuje da on predstavlja bilo koji faktor koji ima efekat promene ukupnih troškova“ (Ilić & Milićević, 2009, str. 22). Shodno tome, značajna je i analiza troškova rada elektrana na bazi aktivnosti.



Slika 4.5: Proces proračuna troškova u modelu LEAP

Izvor: (Heaps, 2022)

Ukupni troškovi industrijskog sektora u LEAP scenariju mogu se računati kao (Kumar et al., 2015):

$$C = \sum_i \sum_j \left\{ \left[\sum_n (e_{n,j,k} ep_n) + \sum_k (m_{k,j,i} mp_k) + fc_{j,i} \right] p_{j,i} \right\} \quad (4.8)$$

gde je C ukupan trošak industrijskog sektora uključujući opremu, fiksne i varijabilne troškove za utrošene sirovine i gorivo, ep_n je jedinična cena goriva n , $m_{k,j,i}$ je potražnja za sirovinom k po jedinici proizvodnje za koju je korišćena oprema j u okviru proizvodnog procesa i ; mp_k je jedinična cena sirovine k ; $fc_{j,i}$ je fiksni trošak po jedinici proizvodnje za koju je korišćena oprema j (u okviru proizvodnog procesa i).

4.2.5.1 Analiza troškova smanjenja negativnih uticaja na životnu sredinu u modelu LEAP (MACC – *Marginal Abatement Cost Curve*)

Marginal Abatement Cost Curve (u nastavku teksta: MACC) predstavlja instrument za stvaranje energetske regulativne politike uz osvrt ka smanjenju ekoloških eksternalija nastalih iz proizvodnje energije i uticaja uzrokovanih troškova na socijalno-ekonomsko okruženje (Kesicki & Strachan, 2011). Brojne zemlje se danas suočavaju sa izazovima ispunjenja pravno zadatih ciljeva smanjenja emisija štetnih gasova iz sektora energetike i usmerenja ka korišćenju obnovljivih izvora energije. Shodno tome, postavlja se pitanje na koji način bi trebalo redukovati emisiju negativnih ekoloških eksternalija, a da ujedno bude i troškovno efikasna za energetske subjekte. Grafički prikazan, MACC instrument pokazuje odnos između smanjenja emisije štetnih materija i nastalih promena u okviru marginalnih troškova proizvodnje različitih oblika energije.

Prema Prini i dr. (Prina et al., 2020) glavni izazovi MACC instrumenta adaptiranog u *bottom-up* energetskom modelu ogledaju se kroz pitanja efikasnosti evaluacije u kontekstu vremena i prostora, kroz analizu tehnološko-ekonomskih detalja modela, kao i kroz razmatranje mogućnosti spajanja energetskih podsektora. Navedeni autori posebno ističu da dostupna literatura iz oblasti ekonomike energetike ukazuje na nedostatak *bottom-up* modela u pogledu simultane rezolucije vremenskog okvira analize i sektorskog grupisanja energetike. Prevazilaženje ovih poteškoća je veoma važno, s obzirom da su sektorsko spajanje i unakrsna analiza međuzavisnosti sektora neizostavni činioci koncepta „pametnog” energetskog sistema (Lund, 2014).

Kesicki je poredio MACC instrumente izvedene iz energetskih modela i MACC instrumente stvorene na bazi mišljenja stručnjaka (Kesicki, 2010). Otkrio je da oba pristupa imaju sebi svojstvena ograničenja. Ipak, *bottom-up* energetsko modeliranje bi trebalo da prevaziđe prepreke nerealnih fizičkih implikacija modela i da uvede konzistentost u kretanju MACC krive. Pomenuti autor je zaključio da s obzirom da MACC inkorporira neophodne tehnološke parametre, realno je da se ta konzistentnost i ostvari prilikom modeliranja. Pored navedenog, *bottom-up* modeli sadrže i analizu dekompozicije indeksa emisije štetnih gasova, koja je korisna sa aspekta istraživanja uticaja smanjenja štetnih materija na promene u sektoru energetike. Time analiza dodatno ukazuje na opravdanost upotrebe LEAP *bottom-up* modela za posmatranje MACC kretanja na nacionalnom nivou.

Relevantan je i primer kako se povezivanjem MACC modela sa metodom linearne regresije, na bazi sektorskog spajanja i poređenja regiona, pokazuje da kriva učenja u toku procesa razvoja tehnologije ne bi bila dovoljna za smanjenje troškova ukidanja ekoloških eksternalija (Das et al., 2020). Štaviše, isti primer ukazuje na to da bi trend opadanja prihoda upotrebom tehnologija za korišćenje vetra i solarne energije mogao brže rasti od intenziteta smanjenja troškova emisije štetnih gasova, a usled *merit-order* pravila otpremanja energije. Dakle, MACC model može dovesti analizu do neočekivanih zaključaka sa aspekta funkcionalnosti i ekonomske isplativosti korišćenja tehnologija za proizvodnju energije.

Prilikom posmatranja ekonomskih kretanja vezanih za razvoj tehnologije proizvodnje energije, ograničenje ispitivanja ogleda se kroz pretpostavku da se cena goriva i sistemi transmisije i distribucije električne energije neće menjati (Das et al., 2020). Sa druge strane, analiza osetljivosti MACC modela tokom promene u ukupnoj ceni goriva ukazuje na veoma kompleksan odnos između cene ugljen-dioksida i smanjenja ekoloških eksternalija. Konzistentnost ovog odnosa gubi se agregacijom posmatranih sati u dane, nedelje, mesece ili godine, tako da je vremenski okvir analize od suštinskog značaja za primenu MACC modela (Delarue et al., 2010).

Upotrebom CGE (*Computable General Equilibrium*) DART (*Dynamic Applied Regional Trade Model*) modela dobijeni su relevantni podaci za kvantificiranje uticaja smanjenja štetnih gasova na

formiranje cena oblika energije i na formiranje nacionalnih MACC modela. Ispostavilo se da postoji nizak stepen uticaja promene nivoa cena oblika energije na MACC, ali da model reaguje u velikoj meri na promenu definisanog cilja emisije štetnih gasova iz proizvodnje energije.

Kako bi se pojasnio izvod modela MACC i njegovog uticaja na ekonomske tokove u zemlji, prvo se polazi od mikroekonomske analize uticaja ograničenja emisije štetnih gasova na poslovanje kompanija, a zatim analiza obuhvata i makroekonomske projekcije.

Problematika maksimizacije profita kompanije prikazana je na sledeći način (Klepper & Peterson, 2006):

$$\max(K, L, F)\pi(X) = G(K, L, F) - rK - wL - p_F F - \lambda(e - \iota F) \quad (4.9)$$

Pretpostavka je da kompanija koristi kapital K , radnu snagu L i fosilna goriva F kao inpute proizvodnje radi stvaranja outputa X . Cene inputa su egzogeno date u vidu r , w i p_F . Cena outputa X je 1. Korišćena tehnologija je opisana kroz proizvodnu funkciju G sa pozitivnom, ali opadajućom marginalnom proizvodnjom za sve inpute. Emisija ugljen-dioksida zavisi od količine upotrebljenog fosilnog goriva u proizvodnji, tako da je $e = \tau F$, gde τ označava koeficijent emisije štetnih gasova za F . Jednačine prvog reda glase:

$$G_K = \frac{\partial G(K, L, F)}{\partial K} = r \quad (4.10)$$

$$G_L = \frac{\partial G(K, L, F)}{\partial L} = w \quad (4.11)$$

$$G_F = \partial G(K, L, F) \partial F = p_F + \lambda \iota \quad (4.12)$$

$$\iota F = e \quad (4.13)$$

Optimalni $K^*(w, r, p_F, e)$ i $L^*(w, r, p_F, e)$ determinisani su jednačinama. λ je cena u senci (*shadow price*) ograničenja emisije štetnih gasova i matematički je prikazana na sledeći način (Klepper & Peterson, 2006):

$$\lambda(w, r, p_F, e) = \frac{1}{\iota} G_F(K^*, L^*, \frac{e}{\iota}) - \frac{p_F}{\iota} = \frac{1}{\iota} [G_F - p_F] \quad (4.14)$$

pri čemu je kriva troškova $\lambda(e)$ konveksna ako i samo ako je $\frac{\partial^3 G(K^*, L^*, \frac{e}{\iota})}{\partial^3 F} > 0$.

Cena „u senci” ograničenja emisije štetnih gasova determinisana je graničnom stopom transformacije između poželjnih i nepoželjnih outputa na granici proizvodnih mogućnosti (Guan et al., 2018).

4.3 Primena LEAP modela u naučnoj i stručnoj literaturi

Multidisciplinarnost softverskog rešenja LEAP za kreiranje i optimizaciju scenarija energetskog sistema ogleda se kroz njegovu široku primenu u okviru velikog broja naučnih i stručnih radova, koji su publikovani u priznatim međunarodnim časopisima sa visokim impakt faktorom, kao i u knjigama objavljenih od strane uglednih izdavačkih kuća. Sposobnost modela LEAP da spoji ekonomsku-finansijsku analizu i analizu društvenih troškova i koristi upotrebe oblika energije učinila ga je vrlo poželjnim instrumentom za sveobuhvatnu analizu sistema energetike.

Iako svaka od sprovedenih analiza koristi LEAP kao primarni instrument za upravljanje definisanim scenarijima, njihov opseg, kontekst istraživanja i metodologija analize podataka se razlikuju (McPherson & Karney, 2014). Rezultati LEAP analiza verifikovani su i objavljeni na nivou gradova (Feng & Zhang, 2012; Hernández & Fajardo, 2021; Liu et al., 2021), regiona (Chen et al., 2019) i država (Correa-Laguna et al., 2021; Emodi et al., 2017; Felver, 2020; Gebremeskel et al., 2021; Masoomi et al., 2020; Perissi et al., 2021; Sessa et al., 2021). Višeslojna i sektorski povezana priroda energetskog sistema prikazana je kroz društvenu, političku, ekonomsku, tehničku i ekološku dimenziju. Određena istraživanja (McPherson & Karney, 2014) pokazala su da je za jedan sektor energetike moguće da realizuje viši stepen održivosti prenosnog sistema energije uz korišćenje postojeće tehnologije, ali ukoliko se istovremeno ispuni i uslov diversifikacije upotrebe izvora energije. Akcenat je na uštedi u korišćenju oblika energije putem uvećanja energetske efikasnosti i na poslovanju usmerenom ka smanjenju emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte.

Potencijal smanjenja finalne potrošnje energije za energetske svrhe i smanjenja ekoloških eksternalija prikazan je kroz tri evaluirana scenarija na primeru grada Peking (Narodna Republika Kina) za period trajanja analize od 2007. do 2030. godine. Dobijeni rezultati ukazuju na značaj optimizacije proizvodne strukture oblika energije i povećanja energetske efikasnosti za ekološki održiv razvoj energetskog sistema (Feng & Zhang, 2012).

Felver je pokazao kompleksnost LEAP instrumenta kroz predviđanje individualnog kretanja različitih direktnih i indirektnih gasova sa efektom staklene bašte (ugljen dioksida, nitrus oksida, F-gasova i metana) u državi Azerbejdžan, pružajući na taj način relevantan uvid o potrebama uvećanja energetske efikasnosti i daljih investicija radi smanjenja emisije ovih gasova (Felver, 2020). Premda većina objavljenih analiza obuhvata sve korišćene oblike energije posmatranog sistema, ovaj autor ističe da direktno, izdvojeno merenje na objektu daje najbolje podatke o emisiji gasova iz elektrana.

Tako, neki autori poput Šina i dr. (Shin et al., 2005) ispituju uticaj proširenja kapaciteta za proizvodnju deponijskog gasa na energetske tržište, kapitalne i operativne troškove elektrana, troškove proizvodnje električne energije i na emisiju štetnih gasova. Analiza ukazuje na to da je ovaj vid energije za konkretan primer iz prakse ekonomski isplativ, ali da postoje određene nesigurnosti vezane za tehničke i regulatorne specifikacije njenog korišćenja. Pregledom rezultata LEAP modela isti autori sugerišu da bi ove poteškoće mogle biti prevaziđene primenom adekvatnog mehanizma podrške za deponijski gas na nacionalnom nivou Republike Koreje.

Merodavan pokazatelj funkcionalnosti LEAP softvera je i njegova primena za istraživanje potencijala elektrifikacije ruralnih područja i ocena ekonomske opravdanosti razvoja prenosne i distributivne mreže na primeru države Mali, uz datu pretpostavku ekonomskih i tehničkih ograničenja (Sessa et al., 2021). Budući da su velike razlike u dostupnosti električne energije između urbanih i ruralnih područja ove zemlje, sprovedena ekonomska analiza ispitala je putem LEAP-a da li je finansijski opravdano proširiti prenosni sistem distribucije električne energije i na ruralna područja, ili pak mehanizmima podrške stimulisati kompanije da u tim područjima izgrade fotonaponske sisteme solarne energije. Analiza zadatih scenarija za period od 2016. do 2050. godine navela je autore na zaključak da nova prenosna i distributivna mreža u trenutnim okolnostima veoma niskog dohotka

potrošača u ruralnim područjima ne bi bila finansijski održiva. Samim tim, koristeći LEAP optimizaciju energetskog sistema autori su konstatovali da je *pay-as-you-go*¹ finansiranje tehnologije fotonaponskih sistema solarne energije najbolje trenutno rešenje za proširenje dostupnosti električne energije u državi Mali (Sessa et al., 2021).

Tehnička izvodljivost i ekonomska opravdanost predloženih projekata obnovljivih izvora energije ispitani su i za ostrvo Krit (Republika Grčka). Dokazano je novi scenario uvećanog korišćenja OIE pokreće investicije privatnog kapitala, zajedno sa adekvatnim državnim mehanizmom podrške koji obezbeđuje visoku stopu povrata ulaganja (Giatrakos et al., 2009). U ovom radu je konstatovano da će kombinacijom implementacije realnog scenarija za razvoj projekata OIE i uspešnim ograničenjem potražnje za energijom biti izvodljivo smanjiti ekološki otisak na ostrvu Krit za posmatrani vremenski period do 2030. godine.

Sistematičan pristup postavki scenarija za ceo energetski sistem pokazan je na primeru Savezne Republike Nigerije za period od 2010. do 2040. godine (Emodi et al., 2017). Opsežna kvantifikacija uticaja troškova proizvodnje električne energije i cena oblika energije daje kritički osvrt ka unapređenju postojeće regulativne politike države. Implikacije pomenutog istraživanja odnose se na podsticaj rasta energetske efikasnosti Nigerije na dugi rok kroz promociju savremenih tehnologija proizvodnje električne energije, potom na smanjenje zavisnosti sistema od određenih energenata, jačanje mehanizma podrške obnovljivih izvora energije *feed-in* tarifom i na druge podsticaje.

O značaju LEAP modela za među-sektorsko povezivanje i ekstrakciju podataka o pojedinačnom energetskom uticaju industrijskih sektora na emisiju štetnih gasova doprinos je dalo istraživanje autora Korea Lagune i dr. (Correa-Laguna et al., 2021). Ovaj rad je pokazao da je LEAP relevantan sa aspekta pripreme izveštaja koji daje neophodne informacije za dokument o utvrđenom nacionalnom doprinosu (*Intended National Determined Contributions* - INDCs) u borbi protiv klimatskih promena. Priprema navedenog dokumenta obaveza je svake zemlje potpisnice Pariskog sporazuma, a šalje se Sekretarijatu Okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o klimatskim promenama za period od pet godina (UNFCCC, 2022). U tom smislu, kreiranje integrisanog modela za sinergiju i međusektorsko povezivanje od prioritetne važnosti je za nacionalni sistem kontrole i redukciju štetnih gasova sa efektom staklene bašte (to jest GHG gasova).

Emisija ugljen-dioksida sastoji se od delova koji se u okviru LEAP modela mogu navesti na sledeći način (Zou et al., 2022):

$$CE_T = CE_f + CE_c \quad (4.15)$$

gde je CE_T ukupna emisija ugljen-dioksida, dok su CE_f i CE_c emisije ugljen-dioksida iz finalne potražnje za energijom i konverzije energije, respektivno.

Isti autori ističu da se emisija ugljen-dioksida finalne potražnje za energijom računa kao:

$$CE_f = \sum_i \sum_j AL_i \times EI_i \times \theta_{ij} \times EF_j \quad (4.16)$$

gde je AL_i nivo aktivnosti sektora i , EI_i je energetski intenzitet sektora i , θ_{ij} je racio potražnje za j energijom u sektoru i u odnosu na ukupnu potražnju za energijom u sektoru i ; EF_j je emisijski faktor vrste goriva j .

¹ Potrošači uglavnom plaćaju pre usluge 10-20% od ukupnog iznosa računa za električnu energiju, a zatim ostatak regulišu kroz odobrenu pozajmicu na 1 do 2 godine.

Također, jednačina 4.17 opisuje postupak izračunavanja emisije ugljen-dioksida konverzije energije:

$$CE_c = \sum_m \sum_t \sum_j \frac{ETO_{tm}}{f_{jmt}} \times EF_j \quad (4.17)$$

pri čemu je ETO proizvodnja konverzije energije, f je efikasnost transformacije energije, EF je emisijski faktor ugljen-dioksida, m predstavlja modul konverzije energije, j i t su vrsta goriva za potrošnju i proizvodnju u okviru kategorije transformacije energije, respektivno.

Da bi prikazali fleksibilan pristup LEAP modela za analizu primera iz prakse, to jest za opcije kao što su opseg istraživanja, mere podrške sektoru energetike i strateške ciljeve do 2030. godine, brojni autori su opisali postupak adaptacije modela specifikacijama posmatranog sistema. Neke od tih opcija navedene su u sledećoj tabeli, sa fokusom na merama smanjenja emisije GHG (*Greenhouse Gases*) štetnih gasova.

Tabela 4.2: Primeri mera smanjenja GHG gasova energetskog sektora uključenih u scenarije

Predmet istraživanja	Mera smanjenja GHG gasova	Objašnjenje	Cilj do 2030. godine	Pretpostavke	Implementacija u LEAP modelu
Svi sektori potražnje za energijom	Upravljanje potražnjom za električnom energijom	Unaprediti responzivnost potražnje za energijom kroz agregatore i državne mehanizme podrške	Smanjiti za 20% razliku između vrha i dna krive opterećenja tražnje za električnom energijom	Upravljanje potražnjom za električnom energijom biće moguće sa agregatorima, pametnim merama potrošnje struje i državnim podsticajima	Promena krive opterećenja elektroenergetskog sistema
Upotreba biomase	Efikasne peći na drva	Obezbediti efikasnije peći za ogrev domaćinstvima koja trenutno koriste ogrevno drvo za kuvanje	700.000 novih peći na drva	Stanovnici će nastaviti da koriste ogrevno drvo za kuvanje; nove peći poboljšaće energetska efikasnost i smanjiti potrošnju drva po glavi stanovnika u ruralnim područjima	Povećati zastupljenost efikasnih peći na drva u finalnoj potrošnji stambenog-ruralnog sektora za energetske svrhe
Ekstrakcija uglja	Energetska efikasnost rudarstva	Poboljšati efikasnost aktivnosti rudarstva bez izmena tehnologije i korišćenog goriva	Smanjenje energetskog intenziteta električne energije i dizela za 1%	Promena proizvodnih tehnika/procesa omogućiće manje korišćenje oblika energije, bez promene upotrebljene tehnologije	Izmene u intenzitetu pomoćnog goriva elektrana

Snabdevanje električnom energijom	Diversifikacija kapaciteta za proizvodnju električne energije	Povećati korišćenje vetro- i solarne energije u okviru proizvodnje električne energije; takođe, uključiti biogas i geotermalnu energiju u proizvodni miks	Kapacitet definisan u okviru kolumbijskog plana za sektor energetike - PEN 2015	Kapacitet za proizvodnju oblika energije predložen od strane kolumbijskog energetskeg plana zadovoljiće buduću potražnju za električnom energijom	Promeniti egzogeni kapacitet u modelu, u skladu sa kolumbijskim planom za sektor energetike - PEN 2015
Saobraćaj, industrija i snabdevanje električnom energijom	Porez na ugljenik	Uvesti porez na fosilna goriva u određenim sektorima i podsektorima kao što su to saobraćaj, rafinerije i industrija; potražnja za energentima će reagovati na povećanje cene u skladu sa elastičnostima sektora	USD \$7/tCO ₂	Linearna i opšta elastičnost potražnje za energijom, u odnosu na rast cene goriva	Korekcija energetskeg intenziteta prema elastičnosti sektora i sadržaja CO ₂ energetskeg vektora

Prilagođeno prema: (Correa-Laguna et al., 2021)

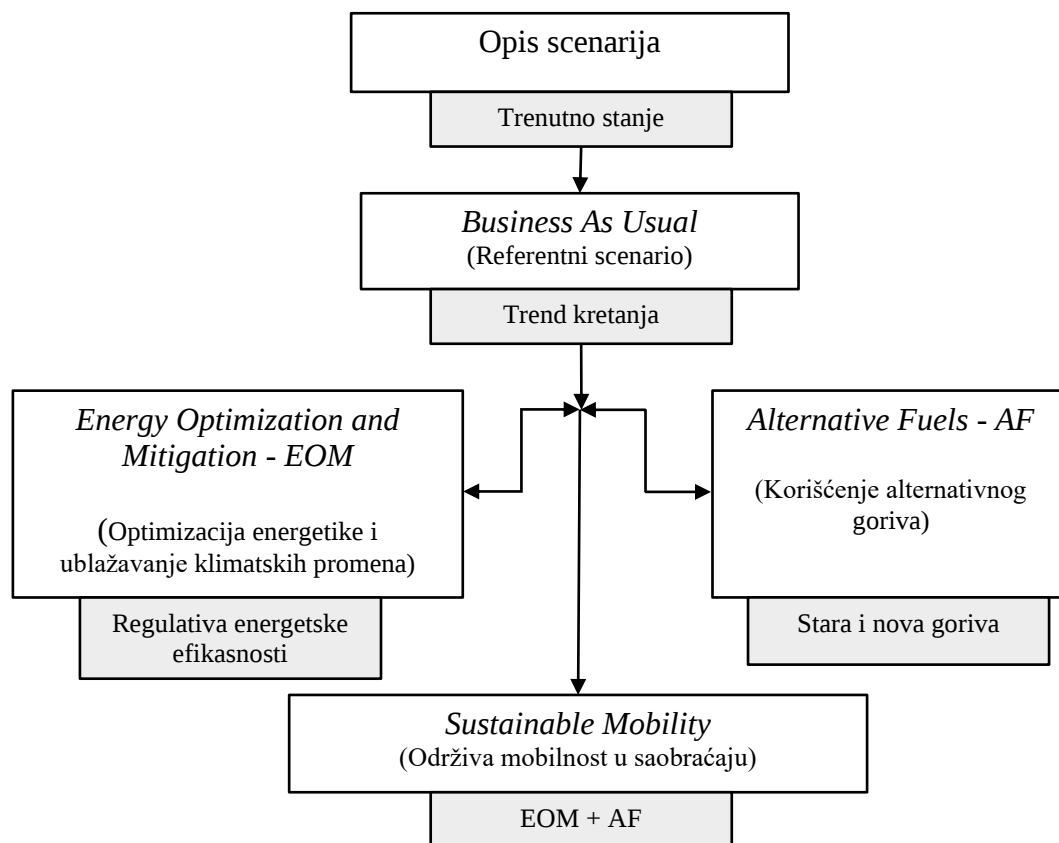
Efekte nove regulative energetske efikasnosti za ekonomski, društveni i ekološki kontekst razvoja zemlje putem LEAP-a opisan je za Saveznu Demokratsku Republiku Etiopiju (Gebremeskel et al., 2021). Pri tome, postojanje uskih grla transmisije i distribucije električne energije kao limitirajućih faktora za sektor energetike uključeni su u postavku scenarija LEAP modela. Istraživanje mogućnosti podrške energetskeg sektora kontinuiranom ekonomskom rastu vođeno je kroz postavku scenarija zasnovanih na mehanizmima podrške energetici, uz pretpostavku značajnih poboljšanja efikasnosti proizvodnje električne energije. Rezultati ovog rada pokazuju da primena mera energetske efikasnosti ima mali uticaj na ukupnu potražnju za ukupnom energijom, ali je zato uticaj na potražnju za električnom energijom veliki. Pomenuti autori zaključuju da je primena razmatranih mera i mehanizama podrške poboljšanju energetske efikasnosti ključna u regulaciji strukturne neusklađenosti ponude i potražnje za energijom, a time je posledično važna i za eliminisanje uzroka nestašice električne energije.

Na temu mogućnosti LEAP integrisanog sistema da služi kao alat za istraživanje ekonomskih i ekoloških performansi rada termoelektrana u Islamskoj Republici Iran bilo je reči u radu autora Masumija i dr. (Masoomi et al., 2020). Naime, opseg istraživanja troškova ekoloških eksternalija termoelektrana i fokus na proizvodnji jednog oblika energije dodatno ukazuje na fleksibilan pristup LEAP-a modeliranju energetskeg sistema. Drugim rečima, LEAP može biti instrument za kreiranje budućih projekcija celokupnog energetskeg sistema, ali se istraživanje isto tako može usredsrediti i na izdvojene privredne subjekte ili podsektore modela. Studija slučaja za grad Teheran integriše dva

modela Međunarodnog panela za klimatske promene sa LEAP modelom, radi prikupljanja informacija o efektima ekoloških eksternalija upotrebe energije i kreiranja scenarija održivog upravljanja otpadom. Razvojem rešenja *Engineer-equation-solver* (EES) autori su pokazali projekcije za budući nivo proizvodnje energije iz deponijskog gasa i troškove proizvodnje energije za scenarije (Nojedei et al., 2016).

Kao što je to slučaj sa pomenutim radom, istraživanja ove vrste mogu doprineti strateškim ciljevima razvoja energetskeg sistema i utvrditi koji oblik energije i u kojoj meri predstavlja prepreku za ekonomski rast, troškovnu efikasnost proizvodnje energije ili za smanjenje emisije štetnih materija, tj. GHG gasova. Konkretno, autori su mišljenja da je za postizanje cilja održivog ekonomskog razvoja jedno od presudnih pitanja vezano za kreiranja mehanizma podrške oblicima energije i efikasno praćenje performansi planiranih aktivnosti razvoja, posebno u pogledu njihove efektivnosti i efikasnosti (Masoomi et al., 2020). Štaviše, u slučaju stabilnog ekonomskog rasta prilagođavanje industrijske i energetske strukture, zajedno sa smanjenjem energetskeg intenziteta i koeficijenta emisije GHG gasova, mogu omogućiti dvosmernu kontrolu vremena, to jest zapremine emisije ugljenika (Tian et al., 2016).

Zahvaljujući LEAP modelu moguće je dati primer optimalnog restrukturiranja određenog sektora sa aspekta ekonomskog i društvenog razvoja. Na primer, uvidom u LEAP rezultate objašnjeno je da se sektor saobraćaja može reformisati kroz nekoliko opcija koje su pred državnim organima: redukcija štetnih gasova, smanjenje potražnje za fosilnim gorivima, zabrana dodatne kupovine vozila za privatnu upotrebu, razvoj javnog prevoza (Wang et al., 2022). Sličan metod reforme sektora saobraćaja primenom LEAP-a upotrebljen je kroz prizmu A-S-I pristupa (*Avoid* – izbeći, *Shift* – preusmeriti, *Improve* – unaprediti) u gradu Lagos, gde je pokazano da, ukoliko se starosna granica vozila značajno ne smanji, grad neće postići cilj smanjenja emisije štetnih gasova za 50% do 2032. godine (Maduekwe et al., 2020). Hijerarhijski odnos između četiri alternativna scenarija sektora saobraćaja (BAU – *Business As Usual* ili referentni scenario; EOM – *Energy Optimization and Mitigation* tj. optimizacija energetike i ublažavanje klimatskih promena; AF – *Alternative Fuels*, korišćenje alternativnog goriva; SM – *Sustainable Mobility*, održiva mobilnost u saobraćaju) koncipiran je na način koji je prikazan u okviru slike broj 4.6.



Slika 4.6: Postavka modela LEAP za održivu mobilnost u saobraćaju

Izvor: (Rivera-González et al., 2019), str. 9

Validacija modela LEAP je izuzetno bitna za dobijanje merodavnih rezultata i za dugoročno predviđanje na bazi kreiranja alternativnih scenarija. Scenariji neretko sadrže više stotina, pa i hiljada različitih varijabli, čija je prognoza kretanja veliki izazov. Tako, validacija modela LEAP za glavni grad Republike Kolumbije, Bogotu, predstavljena je kroz visoku korelaciju emisije GHG gasova između definisanog modela i stacionarnih izvora gradske uprave za životnu sredinu. Na osnovu 1.793 posmatrana poslovna entiteta u toku 2014. godine utvrđeno je odstupanje između rezultata LEAP scenarija i navedene gradske uprave od svega 0,02% (Hernández & Fajardo, 2021). Kretanje emisije gasova sa efektom staklene bašte u drugom slučaju države Azerbejdžan podudara se sa istorijskim podacima u rasponu od 93% do 97% (Felver, 2020).

Izjednačavanje efikasnosti definisanih procesa energetskeg scenarija i efikasnosti stvarno nastalih procesa u istom vremenskom periodu je takođe važno. Kako bi se model što više približio uslovima realnog poslovnog stanja, određeni autori su integrisali ulazne parametre LEAP-WEAP modela (za konkretan slučaj iz prakse: parametri površine i datuma sadnje pirinča) u matematičku formulaciju državne uprave za navodnjavanje u Republici Filipina, a za potrebe kalkulacije navodnjavanja useva (Schneider et al., 2019). Efikasnost navodnjavanja prilagođena je sa podacima pomenute državne uprave na nivou od 54%. Konačno, potrebe za vodom useva upoređene su u radu za obe metode proračuna na primeru sušne sezone iz 2016. godine.

Fokus na ispitivanju uticaja mehanizma podrške obnovljivim izvorima energije na ekonomski rast zemlje i ekološko održivo poslovanje elektrana primetan je u okviru LEAP scenarija za Islamsku Republiku Pakistan (Hayat et al., 2019). Za optimizaciju troškova projekata obnovljivih izvora energije primenjen je model određivanja cena kapitalne imovine (*Capital Asset Pricing Model* – CAPM). Dodatno, ekonomska analiza je potvrdila da BDP i potražnja za energijom imaju pozitivnu korelaciju sa domaćinstvima i uslužnim sektorom, te time potrebe ovih sektora moraju biti

zadovoljene radi održivog ekonomskog rasta. Kritički osvrt ka velikoj neusklađenosti ponude i potražnje energije opisan je putem referentnog scenarija, koji sugerše da 2030. godine u navedenoj zemlji ni planirani uvoz nafte i naftnih derivata neće moći da zadovolji potražnju za energijom. Stoga, pažnja je usmerena ka uvođenju odgovarajućeg mehanizma podrške obnovljivim izvorima energije sa ciljem reforme i restrukturiranja energetskeg sektora.

Mehanizmi podrške obnovljivim izvorima energije bi u određenim slučajevima trebalo da budu usmereni samo ka jednom obliku energije (Amo-Aidoo et al., 2022). Analiza u navedenom radu je obuhvatila tehničku izvodljivost projekata kompanija, model finansiranja, procese zagrevanja i hlađenja sistema, snagu sistema, proizvodnju opreme za elektrane i njeno snabdevanje. Primenom LEAP-a, isti autori tvrde da korišćenje solarne energije mora biti podržano putem poreskih podsticaja, državnih subvencija, promocija proizvodnje lokalnih solarnih elektrana i davanjem prioriteta proizvodnji solarne energije. Utvrđivanjem ciljeva za udeo OIE u ukupnoj proizvodnji električne energije daje se reprezentativna slika šta bi trebalo preduzeti i kako će budućnost izgledati, ukoliko ne bude izmena u strateškoj orijentaciji energetskeg sektora.

Analiza osetljivosti emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte u okviru LEAP instrumenta posmatrana je sa ekonomskog stanovišta za provinciju Šanksi (Narodna Republika Kina) (Zou et al., 2022). Segmenti ove analize odnosili su se na: (1) prilagođavanje stope ekonomskog rasta na osnovu sveobuhvatnog scenarija (*comprehensive scenario* – dalje u tekstu CS scenario), (2) prilagođavanje industrijske strukture CS scenariju, (3) usklađivanje energetskeg intenziteta sa metodološkim pristupom CS scenarija i (4) prilagođavanje strukture snabdevanja energijom CS scenariju. Na osnovu analize, navedeni autori su uočili da sledeće strategije mogu dovesti do smanjenja emisije štetnih GHG gasova CS scenarija: umereno usporavanje privrednog rasta, usmeravanje dela BDP udela industrije na uslužni sektor, smanjenje energetskeg intenziteta sektora sa visokom GHG emisijom i smanjenje udela toplotne energije u celokupnoj energetskej strukturi.

Projekcije stope rasta stanovništva i stope rasta BDP-a uključene su u analizu osetljivosti buduće potražnje za električnom energijom sa ciljem provere robusnosti rezultata LEAP-a za nekoliko regiona Islamske Republike Pakistan (Shahid et al., 2021). Evidentno je da kompleksan pristup LEAP modela može rešiti brojne strukturne neusklađenosti energetskeg sistema pomoću analize osetljivosti i blagovremeno ukazati na ekonomski potencijal korišćenja brojnih oblika energije na održiv način.

Tema pametnih gradova čest je predmet istraživanja u mnogim LEAP modelima. Uspostavljanje održivog urbanog energetskeg planiranja, zajedno sa pratećom ekonomskom analizom, prioritet je za održivi energetske sistem. Takav sistem bi najpre trebalo da bude zasnovan na smanjenju korišćenja oblika energije i ukupnih ekonomskih troškova (Hu et al., 2019). Usled ubrzanog ekonomskog razvoja, rasta ukupnog broja stanovnika i poboljšanja životnog standarda, očekuje se i znatan porast potrošnje svih zastupljenih oblika energije. Posledično, poboljšanje energetske efikasnosti potrošnje energije i sektora snabdevanja energijom od suštinskog su značaja za pametne gradove, kao što je to dokazano na primeru ispitivanja grada Šenžen (provincija Guangdong, Narodna Republika Kina) (Hu et al., 2019).

5 POSTAVKA SCENARIJA ZA PROJEKCIJU RAZVOJA ENERGETIKE REPUBLIKE SRBIJE DO 2050. GODINE

5.1 Kapaciteti za proizvodnju, prenos i distribuciju energije u Republici Srbiji

Kako bi se sprovedla analiza energetske potrebe u Republici Srbiji, važno je proveriti proizvodne kapacitete kojima se trenutno raspolaže, komercijalni kvalitet energenata i konzistentnost isporuke. Realizovano modeliranje kategorija energetskog sektora zasniva se na realističnoj prognozi potreba ukupnog stanovništva, uz osvrt ka ispunjenju zahteva regulativne politike održivog razvoja i dekarbonizaciji proizvodnih procesa energije. Odgovarajuće projekcije nije moguće ostvariti ukoliko se prethodno ne uključe svi limitirajući faktori rasta energetskog sistema, zatim ukaže na konkurentnost javnih preduzeća i na investicione aktivnosti operatora distributivnih sistema. Istraživanje primenom metode scenarija sprovedeno je u skladu sa utvrđenim stanjem energetskog sektora Republike Srbije i potencijalnim šansama za strategijsku rekonfiguraciju sektora, a prema postulatima energetske održivosti. Pošto se radi o relativno kratkom vremenskom periodu za strategijsko planiranje energetskog sektora, četiri alternativna scenarija nisu modelirana sa ciljem kreiranja stanja sektora energetike koje nije moguće dostići u odnosu na posmatrane tržišne uslove do 2050. godine.

Prema izveštaju Agencije za energetiku, ukupna instalisana snaga elektrana u Republici Srbiji za 2021. godinu iznosila je 8.516 MW (Agencija za energetiku Republike Srbije, 2022). Na osnovu pregleda podataka iz pomenutog izveštaja, konstatuje se da je primetna i dalje velika zavisnost sektora od stabilnosti rada termoelektrana na lignit, koje su činile više od 50% od ukupne instalisane snage. Hidroelektrane su po ukupnoj snazi na drugom mestu sa 2.941 MW, koju pretežno čine protočne hidroelektrane visoke nominalne aktivne snage. One predstavljaju dominantan izvor proizvodnje energije od nekonvencionalnih goriva. Što se tiče ostalih obnovljivih izvora energije, male hidroelektrane i vetroelektrane ukupno su činile svega 7,3% strukture proizvodnih kapaciteta u 2021. godini, pri čemu se instalisana snaga vetroelektrana nije menjala u odnosu na 2020. godinu i iznosila je 373 MW. Solarne elektrane nisu imale udeo u predatoj električnoj energiji u prenosnom sistemu, a isto važi i za elektrane na otpad i za geotermalnu energiju. Kod novih kapaciteta za proizvodnju koji su priključeni na distributivni sistem prednjače male hidroelektrane, a zatim slede elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na fosilna goriva, kao i elektrane na biogas.

Najveći proizvođač električne energije na teritoriji Republike Srbije je javno preduzeće „Elektroprivreda Srbije” (JP EPS) sa učešćem od preko 90% u ukupnoj instalisanoj snazi i značajnom snagom kapaciteta za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije. Pored pozicije lidera na elektroenergetskom tržištu Republike Srbije, JP EPS je i garantovani snabdevač domaćinstava i malih kupaca električne energije. Važan proces usklađivanja sa regulatornim okvirom energetske politike Republike Srbije realizovan je 2020. godine kada je konačno razdvojen proces distribucije energije i upravljanja distributivnim sistemom od poslovanja JP EPS. Time su se stekli uslovi za preko potrebnu nezavisnost distributivnog sistema od zavisnih privrednih društava JP EPS, sa ciljem stvaranja transparentnih i fer uslova poslovanja za sve privredne subjekte na ovom tržištu.

Posmatrajući ostvarenu godišnju proizvodnju električne energije, stanje u postojećem sistemu Republike Srbije se nije znatno menjalo od 2012. godine. Izuzetak jeste primer termoelektrana-toplana, koje su ostvarile proizvodnju od ukupno 630 GWh 2021. godine, što je više od ukupne proizvodnje za 2019. i 2020. godinu zajedno (Agencija za energetiku Republike Srbije, 2022). Velike promene zabeležene su i kod nezavisnih licenciranih proizvođača električne energije, koje su imale nezapažen udeo u godišnjoj proizvodnji sve do 2018. godine. Ipak, pomenuti udeo i dalje iznosi manje od 10% proizvodnje električne energije koja potiče iz termoelektrana na ugalj.

Ukoliko izuzmemo vetroelektrane i male hidroelektrane sa procentualnim učešćem od 2,8% i 2,5% u godišnjoj proizvodnji električne energije u Srbiji, respektivno, značajnije strukturne promene do sada su izostale (Agencija za energetiku Republike Srbije, 2022). Godišnja proizvodnja električne energije jeste rasla od 2017. do 2021. godine, ali je rast zavisio od proizvodnje termoelektrana i dobre hidrologije, koja je posebno bila povoljna u toku 2018. i 2021. godine. Potrebno je dodatno angažovanje novih OIE postrojenja, jer shodno stavu 40 člana 3 Zakona o energetskej efikasnosti i racionalnoj upotrebi energije, „merama energetske efikasnosti smatra se i proizvodnja električne odnosno toplotne energije korišćenjem obnovljivih izvora energije, pod uslovom da se proizvedena električna, odnosno toplotna energija koristi na mestu proizvodnje” (Zakon o energetskej efikasnosti i racionalnoj upotrebi energije, 2021).

Revitalizacija i modernizacija elektrana, kao i uvođenje novih tehnologija proizvodnje radi poboljšanja energetske efikasnosti smatraju se najznačajnijim aktivnostima proširenja postojećih energetskih kapaciteta (Fiskalni savet Republike Srbije, 2019). Investicione aktivnosti obuhvataju i spajanje distributivnog sa prenosnim sistemom, a pomaci su ostvareni i kod regionalnog povezivanja puštanja u rad novih dalekovoda. Takođe, nova razvodna postrojenja hidroelektrana bi trebalo da doprinesu sigurnosti snabdevanja električnom energijom u periodu koji predstoji.

5.2 Nacionalne institucije od posebnog značaja za energetski sektor Republike Srbije

S obzirom na multidisciplinarnost istraživanja oblasti energetike brojne nacionalne institucije su od velike važnosti za njen razvoj i imaju direktan i indirektan doprinos za poboljšanje održivosti energetskog sistema. U okviru kratkog pregleda najznačajnijih nacionalnih institucija izostavljene su sve koje imaju uticaj na razvoj energetskog sektora, tako da je pažnja usmerena samo ka ključnim institucijama bez kojih nije moguće formirati zakonodavni okvir za buduće energetske tokove.

Najvažnija nacionalna institucija za razvoj sektora energetike svakako je Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije. Godine 2014. Ministarstvo rudarstva i energetike preuzelo je prava i obaveze za vršenje nadležnosti u oblasti energetike od dotadašnjeg Ministarstva energetike, razvoja i zaštite životne sredine. Ministarstvo rudarstva i energetike je trenutno podeljeno na sedam sektora, sekretarijat, odeljenje za upravljanje projektima, grupu za internu reviziju i na upravu za rezerve energenata.

Nadležnosti sedam sektora Ministarstva su (Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, 2022a):

1. Sektor za elektroenergetiku – zadužen za objavljivanje strateških dokumenata o razvoju energetike, programima realizacije strategije i praćenje svih faza implementacije. Važno je i usklađivanje propisa sa propisima Evropske unije, zatim davanje mišljenja o radu energetskih subjekata, praćenje svih procesa kojima se reguliše sigurno snabdevanje energijom u okviru elektroenergetskog sistema. Sektor je nadležan i za davanje energetskih dozvola za objekte instalisane snage od preko 10 MW, izradu raznih podzakonskih akata i drugo.
2. Sektor za zelenu energiju – delokrug rada sektora odnosi se na pripremanje svih opštih akata i propisa kojima Vlada definiše politiku u oblasti korišćenja obnovljivih izvora energije, usklađivanje sa EU propisima, praćenje aktuelnog stanja razvoja upotrebe OIE radi preduzimanja neophodnih korektivnih radnji, promocija međunarodne saradnje u oblasti OIE i vršenje mnogih drugih stručnih poslova u cilju razvoja korišćenja OIE.

3. Sektor za energetske efikasnost i toplane – donosi propise koji se tiču usklađivanja razvoja energetskih sektora na nacionalnom i lokalnom nivou, poslove koji imaju cilj da podstaknu racionalnu upotrebu energije i poboljšanje energetske efikasnosti, ispitivanje klimatskih promena iz oblasti energetike, koordinaciju aktivnosti učesnika na lokalnom nivou i druge aktivnosti koje spadaju u delokrug rada sektora.
4. Sektor za naftu i gas – obavlja stručne poslove za naftnu i gasnu privredu, priprema energetski bilans Republike Srbije za ovu oblast, izdavanje energetskih dozvola i dozvola za skladištenje i snabdevanje, praćenje kvaliteta i operativnih rezervi nafte, kao i koordinaciju ostalih poslova.
5. Sektor za geologiju i rudarstvo – sprovodi politiku razvoja rudarstva i prirodnih resursa kroz geološka istraživanja i analizu oblasti rudarstva, eksploataciju mineralnih sirovina i geoloških resursa, vrši izradu bilansa mineralnih sirovina, standarda za geološke karte i sve druge relevantne poslove za datu oblast.
6. Sektor za međunarodnu saradnju i evropske integracije – razvija okvire za prioritete, modalitete i okvire međudržavne saradnje u oblasti rudarstva i energetike, identifikuje potrebe za međunarodnim programima podrške energetskom sektoru i rudarstvu, analizira međunarodno pravne instrumente energetske politike, prati pravne tekovine Evropske unije, realizuje predpristupne projekte EU i mnoge druge stručne poslove koji spadaju pod oblast saradnje sa međunarodnim institucijama.
7. Sektor za inspekcijski nadzor – sprovodi inspekcijski nadzor prema regulativnom okviru energetske politike, nadzor nad primenom propisa u oblasti korišćenja obnovljivih izvora energije, nadzor o primeni propisa operativnih rezervi energije, adekvatnog kvaliteta korišćene energije i svih drugih aktivnosti koje se tiču nadzora propisnog sprovođenja aktivnosti drugih sektora Ministarstva.

Pored navedenih sektora, u osnovne unutrašnje jedinice Ministarstva spadaju i grupa za internu reviziju i posebno formirano Odeljenje za upravljanje projektima i strateško planiranje u energetici. U okviru pomenutog odeljenja se obavljaju poslovi planiranja, pripreme, sprovođenja i praćenja sprovođenja energetskih projekata. Takođe, ispunjavaju se i odgovorni zadaci izrade planskih dokumenata poput Energetskog bilansa, Strategije razvoja energetike, Programa ostvarivanja strategije i drugih strateških dokumenata sektora energetike. Drugi zakonski predlagači dostavljaju predstavnicima odeljenja na mišljenje predloge zakona, podzakonskih akata, planske i druge dokumente.

U sklopu Ministarstva rudarstva i energetike je i Uprava za rezerve energenata, koja pušta na tržište nivo obaveznih rezervi prirodnog gasa i obaveznih rezervi nafte i derivata nafte. Uprava vodi registar o obaveznim rezervama, prati program realizacije rezervi za godišnji, srednjoročni i dugoročni vremenski period (Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, 2022a). Shodno Zakonu o energetici, ovlašćenja najznačajnijih nacionalnih institucija i obaveze garantovanog snabdevača u oblasti korišćenja obnovljivih izvora energije su navedene u tabeli 5.1.

Tabela 5.1: Nadležnosti i obaveze energetske subjekata u Republici Srbiji

Nacionalna institucija/Energetski subjekt	Nadležnosti/Obaveze
Agencija za energetiku Republike Srbije	• izdavanje i oduzimanje licence za proizvodnju električne energije i kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije iz obnovljivih izvora energije za objekte snage od preko 1 MW, • davanje saglasnosti na akt operatora prenosnog sistema o određivanju visine naknade za iskorišćenje garancije porekla, • nadzor nad operatorima sistema i snabdevačima.
Ministarstvo rudarstva i energetike	• donošenje Nacionalnog akcionog plana radi postavke ciljeva za korišćenje obnovljivih izvora energije, • definisanje uslova za sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne ili toplotne energije, • utvrđivanje iznosa podsticajnih mera za korišćenje obnovljivih izvora energije za proizvodnju električne energije, • raspodela sredstava po osnovu podsticajnih mera, • izdavanje energetske dozvola za izgradnju objekata.
Javno preduzeće „Elektroprivreda Srbije”	• obavezu otkupljivanja električne energije od povlašćenih proizvođača i preuzimanje balansne odgovornosti, • zaključivanje ugovora o otkupu električne energije u propisanom roku sa povlašćenim i privremeno povlašćenim proizvođačem električne energije, • da obezbedi garancije plaćanja povlašćenim proizvođačima energije, • da vodi javno evidenciju o prestanku važenja ugovora o otkupu električne energije, • da redovno obaveštava Ministarstvo rudarstva i energetike o prestanku važenja ugovora o otkupu električne energije, • da obavesti Ministarstvo u slučaju neispunjenja obaveza od strane povlašćenih i privremeno povlašćenih proizvođača energije, • po potrebi izmeni ugovor o otkupu električne energije na zahtev povlašćenog ili privremeno povlašćenog proizvođača energije, • objavljivanje korigovanih podsticajnih otkupnih cena za nove ugovore o otkupu električne energije.

Izvor: (JP EPS, 2022)

5.3 Raspoloživi tehnički potencijal obnovljivih izvora energije Republike Srbije

Za potrebe modeliranja održivog razvoja energetike Republike Srbije važno je utvrditi raspoloživi tehnički potencijal korišćenja izvora energija. U toku izrade okvira za alternativne scenarija modela uzeti su u obzir svi relevantni pokazatelji postojećeg korišćenja izvora energije i potencijala na osnovu raspoloživih prirodnih resursa. Podjednako važni za preciznost kreiranja modela su svi oblici energije. Međutim, imajući u vidu da je fokus modeliranja upotreba OIE, u odeljku će ukratko biti prikazan samo tehnički potencijal ovih izvora energije.

Potencijal izvora energije se može definisati u okviru tri formirana skupa (Kragić, 2011):

1. teoretski potencijal – potencijal izvora energije zasnovan na prirodnim uslovima koji bi se teoretski mogli iskoristiti a da prethodno nije ispitana mogućnost njihove upotrebljivosti, tako da se može reći da je ovaj potencijal suštinski nepromenljiv,
2. tehnički potencijal – može se nazvati i iskoristivim potencijalom koji je moguće pretvoriti u koristan oblik energije sa pozitivnim energetske bilansom, dok njegovo ostvarenje najviše zavisi od upotrebljene tehnologije za proizvodnju energije,
3. ekonomski potencijal – potencijal koji može biti finansijski isplativo koristiti u datim ekonomskim uslovima.

Imajući u vidu da se kreiranje modela zasniva na dugoročnoj projekciji razvoja energetike primenom metode scenarija, smatra se da je primereno sprovesti istraživanje na osnovu dostupnih podataka o tehničkom potencijalu raspoložive obnovljive energije. Teoretski potencijal mogao bi dovesti do pogrešnih zaključaka o prekomernoj, nerealnoj upotrebi OIE, dok je ekonomski potencijal veoma promenljiv jer zavisi od trenutnih okolnosti na globalnom energetske tržištu.

Republika Srbija raspolaže značajnim potencijalom obnovljivih izvora energije, tako da se ukupan raspoloživi tehnički potencijal obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji procenjuje na oko 5,65 miliona tona ekvivalentne nafte godišnje. U budućnosti se može očekivati promena trenutno postavljenih granica iskoristivog potencijala obnovljivih izvora energije, koja će biti usklađena sa razvojem novih metoda i tehnologija istraživanja, oplemenjivanja, prerade i transformacije vrednosnih kategorija ili oblika energije (Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, 2015).

Najveći udeo u potencijalu obnovljivih izvora energije čine oblici biomase, koja se može pronaći u svim područjima Republike Srbije. Kategorija potencijala biomase nije precizno određena, s obzirom da njeno korišćenje dosta zavisi od načina na koji se obrađuje zemljište i od toga kako se preduzimaju aktivnosti po pitanju upotrebe biomase za energetske svrhe. Ogrevno drvo predstavlja oblik koji se najviše koristi, posebno za energetske potrebe domaćinstava. Sa druge strane, primetan je veoma nizak stepen korišćenja poljoprivredne biomase, te upotreba ovog izvora može biti šansa za stabilan rast proizvodnje primarne energije. Biorazgradivi komunalni otpad se skoro uopšte i ne koristi na teritoriji Republike Srbije, a sa udelom od otprilike 6% u ukupnom potencijalu biomase i vrednošću tretmana za proizvodnju toplotne energije trebalo bi da ima važnu ulogu u energetske sistemu. Nažalost, prilike pokazuju da se do sada ovaj izvor energije na nacionalnom nivou uglavnom deponuje, dok odgovarajuća strategija upravljanja komunalnim otpadom i dalje izostaje.

U okviru naredne tabele dat je pregled podataka o tehničkom potencijalu obnovljivih izvora energije koji je unet u model, na način tako da LEAP može povezati raspoloživi tehnički potencijal sa novim dodatim kapacitetima elektrana i redukovati ukupan potencijal unutar scenarija. Već iskorišćeni kapacitet je unet u skladu sa informacijama o energetske subjektima i podacima iz energetske bilansa.

Podaci iz tabele ne predstavljaju konačne podatke za sva četiri alternativna scenarija, već su prošireni prema pretpostavkama scenarija o količini upotrebljene energije, a u skladu sa potencijalom izvora energije koji su dinamičkog, promenljivog karaktera.

Tabela 5.2: Ukupni raspoloživi tehnički potencijal obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji

Vrsta obnovljivog izvora energije	Ukupni raspoloživi tehnički potencijal (miliona ten/godišnje)
BIOMASA	3,448
Poljoprivredna biomasa	1,67
Ostaci od poljoprivrednih kultura	1,023
Ostaci u voćarstvu, vinogradarstvu i preradi voća	0,605
Tečni stajnjak	0,042
Drvena biomasa	1,53
Biorazgradivi otpad	0,248
Biorazgradivi komunalni otpad	0,205
Biorazgradivi otpad (osim komunalnog)	0,043
HIDRO ENERGIJA	1,679
Za instalisane kapacitet do 10MW	0,155
Za instalisane kapacitete od 10MW do 30MW	0,122
Za instalisane kapacitete preko 30MW	1,402
ENERGIJA VETRA	0,103
ENERGIJA SUNCA	0,240
Za proizvodnju električne energije	0,046
Za proizvodnju toplotne energije	0,194
GEOTERMALNA ENERGIJA	0,180
Za proizvodnju električne energije	≈0
Za proizvodnju toplotne energije	0,180
Ukupno iz svih obnovljivih izvora energije	5,65

Izvor: (Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, 2015)

Važno je istaći da je hidroenergetski potencijal prevashodno koncentrisan na vodotocima reka Dunava, Drine, Velike Morave, Lima i Ibra i taj potencijal iznosi iznad 1.000 GWh/godišnje. U Republici Srbiji zabeležen je veoma visok tehnički iskoristiv potencijal hidroenergije, od oko 19,5 TWh/ godišnje (Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, 2015).

5.4 Prikupljanje podataka za potrebe empirijskog istraživanja

Za kreirani LEAP model prikupljeni su brojni podaci za sva četiri definisana, alternativna scenarija razvoja sektora energetike Republike Srbije. S obzirom da se četiri scenarija odnose na period od 2011. do 2050. godine (2011. je bazna godina a 2012. je prva godina u okviru koje se analiziraju elementi scenarija) model je zahtevao veliki obim podataka kako bi se realno prikazao trend kretanja u okviru energetskog sistema.

Godina 2011. je definisana kao bazna godina modela, s obzirom da je u oktobru mesecu te godine sproveden popis stanovništva, domaćinstava i stanova u Republici Srbiji. Uopšteno posmatrano, prikupljanje podataka za potrebe empirijskog istraživanja je podrazumevalo korišćenje niza značajnih domaćih izvora podataka, ali i međunarodnih izvora, posebno u slučaju izostanka svih relevantnih lokalnih socijalno-ekonomskih pokazatelja.

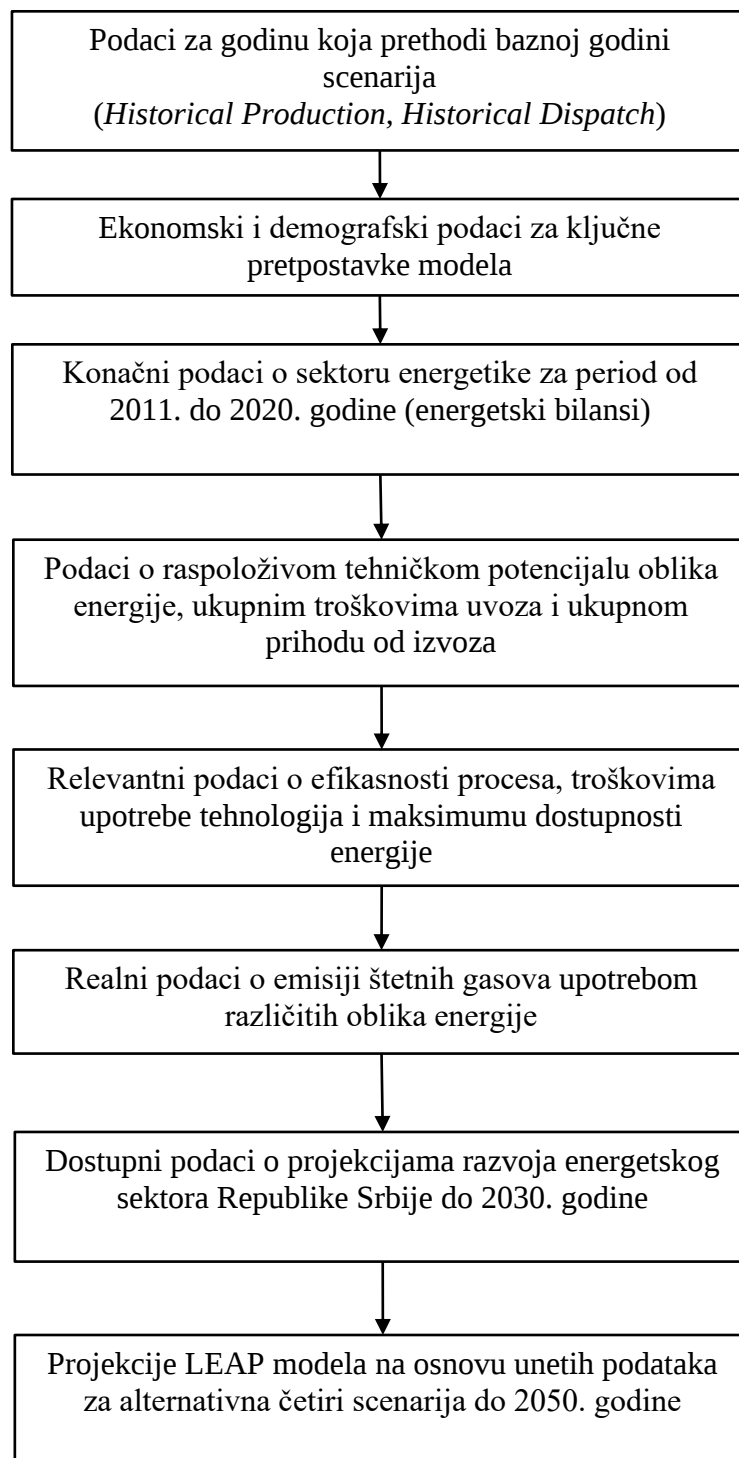
5.4.1 Pregled postupka prikupljanja podataka za LEAP model

Autori Feninger i dr. (Pfenninger et al., 2017) navode da bi podaci za energetski sektor trebalo da budu transparentni, kako bi: poboljšali kvalitet naučnih istraživanja, stvorili efikasniju saradnju između nauke i kreatora regulativne politike, izbegli nepotrebno dupliranje stečenog znanja kroz uspostavljanje relevantnog sistema učenja, a zarad budućih društvenih debata o razvoju energetike.

Temeljno i opširno prikupljanje podataka za kreiranje scenarija celokupnog sektora energetike Republike Srbije prevashodno se zasnivalo na zvaničnim podacima relevantnih domaćih institucija, kao što su to: Republički zavod za statistiku Republike Srbije, Ministarstvo rudarstva i energetike Vlade Republike Srbije, Agencija za energetiku Republike Srbije, Javno preduzeće Elektroprivreda Srbije, Agencija za zaštitu životne sredine Republike Srbije, Javno preduzeće Elektroprivreda Srbije – Ogranak EPS Snabdevanje i druge institucije.

U slučaju nedostatka značajnih podataka iz domaćih izvora za kreiranje alternativnih scenarija i sprovođenje detaljne analize svih kategorija i podkategorija energetskog sektora, korišćeni su izvori međunarodnih institucija, kao što su to: Međunarodna agencija za energetiku (IEA - *International Energy Agency*), Međunarodni panel za klimatske promene (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*), Međunarodna agencija za obnovljivu energiju (IRENA – *International Renewable Energy Agency*), Departman za energetiku Sjedinjenih Američkih Država (*U.S. Department of Energy*), Administracija za informacije o energetici Sjedinjenih Američkih Država (*U.S. Energy Information Administration*) i ostale institucije.

Određene egzogene pretpostavke poput emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte, procesne efikasnosti korišćene opreme, prognoze finalne potrošnje energije, teoretskog potencijala obnovljivih izvora energije, potencijala energetske efikasnosti i troškova elektrana iz oblasti obnovljivih izvora energije dobijene su na osnovu zvaničnih podataka navedenih institucija, ili na osnovu pretpostavki usklađenih prema trenutnom stanju energetskog sektora Republike Srbije. Kratak prikaz faza postupka obrade i analize podataka objašnjen je u okviru naredne ilustracije.



Slika 5.1: Pregled postupka prikupljanja podataka za LEAP model

Izvor: Prikaz autora

Prema Hajatu i dr. (Hayat et al., 2019) energetski scenariji su opisani kao alternativne putanje razvoja za budućnost, sa ciljem smanjenja nejasnoća u identifikaciji optimizovanih rešenja. U tom kontekstu, prilikom stvaranja LEAP modela za Republiku Srbiju fokus je bio na realnim privrednim kretanjima i formiranju alternativnih scenarija koji bi sa visokim stepenom uspešnosti predvideli mogućnosti energetskog razvoja. Budući da se radi o projekcijama sektora energetike do 2050. godine, model na dugi rok endogeno modelira celu energetsku tranziciju, za razliku od kratkoročnih modela koji posmatraju konfiguraciju sistema samo u ciljnoj godini.

Dugoročne projekcije obuhvataju dodatne varijable, poput podataka o preostalim kapacitetima za proizvodnju energije, životni ciklus proizvoda, montažu i demontažu proizvodnih postrojenja, budući rast efikasnosti tehnologija i drugo (Prina et al., 2020). *Bottom-up* model koristi sistem razvrstanih podataka (na engleskom jeziku *disaggregated data*) za praćenje promena tehnologija unutar energetskeg sektora (Ledesma et al., 2021). Posledično, za projekcije na dugi rok potrebne su potpune informacije o dotadašnjem toku razvoja energetike.

Kako bi se navedeno realizovalo kroz modeliranje energetskeg procesa, pored uspešne validacije modela ispunjeni su i preduslovi implementacije svih elemenata za adekvatnu i opširnu ekonomsku analizu sektora energetike Republike Srbije. Pod time se misli na makroekonomske podatke koji čine osnovu ključnih pretpostavki i preduslov za posebno kreirane izveštaje modela, kao i na mikroekonomsku analizu troškova i koristi privrednih subjekata. Pristup se odnosi na ispitivanje kauzalnog odnosa projektovanih scenarija energetskeg sektora sa makroekonomskim indikatorima, primera radi sa bruto domaćim proizvodom. Projekcije su definisane na osnovu podataka o ukupnom broju privrednih subjekata sa odobrenom dozvolom za obavljanje energetske delatnosti, tehnički potencijal kompanija i potencijalna ograničenja u radu sistema.

Model podataka je konceptualni model svih elemenata podataka, njihovih atributa i svojstava, dok format podataka predstavlja implementaciju modela podataka za određeni softverski program (Malhotra et al., 2022). Najbitnije karakteristike za model energetskeg planiranja jesu standardizacija podataka prema datom formatu, prostorna skalabilnost, fleksibilnost i mogućnost rekonfiguracije kroz faze životnog ciklusa modela (Manfren et al., 2020). Povoljnost kod modeliranja energetskeg sistema u LEAP-u jeste već prilagođen format podataka globalnim energetskeg datotekama. Jedinice mere za energiju, površinu, obim, snagu, fizičku udaljenost i vrednost globalnih valuta su već inkorporirane u model, pri čemu se mogu kreirati nove jedinice, kao i prilagoditi postojeće.

Tako, standardizacija energetskeg bilansa u LEAP modelu prema zvaničnom formatu Međunarodne agencije za energetiku (IEA, 2017) dodatno olakšava postupak unosa podataka i njihovog povezivanja. Sve stavke energetskeg bilansa Republike Srbije iz Biltena Republičkog zavoda za statistiku uspešno su unete u model, kao baza za dalju analizu scenarija. Dakle, LEAP ne samo da pokriva sve aspekte kreiranja energetskeg bilansa i formata za sektor energetike, već fleksibilno primenjuje inovativne pristupe proračuna generisanja vrednosti od integracije novih tehnologija, adaptaciju sistema novoj količini transmisije i distribucije električne energije, a omogućava i spajanje sa drugim energetskeg tržištima. Standardizovani i ažurirani podaci će obezbediti dosledno modeliranje energetskeg procesa na svim nivoima sistema, uz razvoj tehnologija sledeće generacije i inovativnih modela usluga privrednih subjekata (Manfren et al., 2020).

LEAP model za Republiku Srbiju se sastoji od sledećih osnovnih kategorija (modula): (1) ključne pretpostavke, (2) troškovi ekoloških eksternalija, (3) potražnja za energijom, (4) statistička razlika, (5) proizvodnja energije transformacijom, (6) saldo zaliha, (7) resursi – primarni i sekundarni, (8) emisija štetnih gasova sa efektom staklene bašte iz energetskeg i neenergetskeg sektora.

5.4.2 Opis uzorka kompanija – povlašćenih proizvođača energije

Za potrebe istraživanja energetskeg sistema i za projektovanje razvoja energetike na bazi četiri alternativna scenarija uzeti su u obzir podaci iz registra povlašćenih proizvođača električne energije, privremenih povlašćenih proizvođača električne energije i proizvođača iz obnovljivih izvora energije, prema stanju na dan 17.06.2022. godine. Sticanje statusa dobija se po osnovu ispunjenja zahteva navedenih u uredbi Vlade Republike Srbije, donete 2016. godine (Vlada Republike Srbije, 2016).

Razlog zbog koga su unete samo kompanije iz oblasti povlašćene proizvodnje energije jeste činjenica da je tema ispitivanja rast energetske efikasnosti i značaj mehanizama podrške za kompanije iz oblasti obnovljivih izvora energije.

Shodno navedenom, ekonomsko-finansijska analiza sprovedena je u skladu sa postavkom modela prema: (1) broju proizvođača, (2) statusu proizvođača, (3) vrsti proizvodnje, (4) kapacitetu proizvodnje, (5) podsticajnoj otkupnoj ceni za povlašćenu proizvodnju. Uneti su i podaci o ukupnim troškovima elektrana, na osnovu čega je razmatrano njihovo rangiranje po prioritetu otpremanja energije (u modelu na engleskom jeziku: *Dispatch Rule – Running Cost*). Identifikacija ključnih faktora konkurentnosti navedenih kompanija sprovedena je u modelu, uz posebnu pažnju usmerenu ka ispitivanju njihovih doprinosa razvoju SCOIE1 i SCOIE2 scenarija. Sledi i tabela pregleda broja povlašćenih proizvođača energije i ukupne instalisane snage, prema kojoj je definisan dalji razvojni potencijal OIE do 2050. godine.

Tabela 5.3: Uzorak registrovanih povlašćenih proizvođača energije po vrsti i instalisanoj snazi

Vrsta elektrane	Broj povlašćenih proizvođača	Broj privremenih povlašćenih proizvođača	Broj proizvođača iz OIE	Ukupna instalisana snaga povlašćeni (u kW)	Ukupna instalisana snaga privremeni (u kW)
Hidroelektrane	138	62	12	96228.5	16919.0
Solarne elektrane na zemlji	8	8	3	5340.0	0.0
Solarne elektrane na objektu	97	92	3	3475.7	0.0
Elektrane na vetar	8	15	-	398000	168000
Elektrane na biogas	34	101	-	33287.0	77480.0
Elektrane na biomasu	1	1	-	2380.0	0.0
Visokoefikasne kogeneracije	12	3	-	25939.0	9984.0
Elektrane na deponijski gas i gas iz postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda	-	1	-	0.0	3090.0
Elektrane na otpad	-	1	-	0.0	30240.0

Izvor: (Ministarstvo rudarstva i energetike, 2022b)

5.4.3 Mehanizmi podrške za obnovljive izvore energije

Važan faktor za postavku modela, definisanje ograničenja i utvrđivanje pretpostavki efektivnog procesa rada elektrana jesu mehanizmi podrške za obnovljive izvore energije, to jest u slučaju Republike Srbije podsticajne otkupne cene. Za potrebe kreiranja navedena četiri alternativna scenarija uneti su podaci o visini svih podsticajnih otkupnih cena počev od 2011. pa do 2022. godine, za koju su dostupni poslednji zvanični podaci (Vlada Republike Srbije, 2021).

Verodostojna prognoza kretanja nivoa podsticajnih otkupnih cena zahteva više javno dostupnih informacija o budućim kretanjima, stoga je model njihov nivo koristio kao kontrolnu varijablu za procenu mogućnosti realizacije novih projekata korišćenja OIE. Predložen je i njihov porast za SCOIE2 scenario, usklađen prema potrebama povlašćenih proizvođača, a na osnovu kretanja u posmatranim zemljama sa sličnom stopom ekonomskog rasta i zastupljenosti OIE. Iako fokus LEAP modela nije na ekstenzivnoj projekciji podsticajnih otkupnih cena, one su neizostavan faktor modela za predviđanje maksimalne iskorišćenosti raspoloživog tehničkog potencijala ovih izvora energije. Primeri otkupnih cena za povlašćene proizvođače energije tokom 2013. godine dati su u narednoj tabeli. U modelu su uneti i svi dostupni podaci o otkupnim cenama za prethodne godine.

Tabela 5.4: Pregled iznosa otkupnih cena za povlašćene proizvođače energije za 2013. godinu

Redni broj	Vrsta elektrane	Instalisana snaga (MW)	Mera podsticaja – otkupna cena (c€/kWh)
1.	Hidroelektrane		
1.1		do 0,5 MW	9,7
1.2		od 0,5 MW do 2 MW	10,316-1,233*P
1.3		od 2 MW do 10 MW	7,85
1.4	na postojećoj infrastrukturi	do 2 MW	7,35
1.5	na postojećoj infrastrukturi	od 2 MW do 10 MW	5,9
2.	Elektrane na biomasu		
2.1		do 0,5 MW	13,6
2.2		od 0,5 MW do 5 MW	13,845 – 0,489*P
2.3		od 5 MW do 10 MW	11,4
3.	Elektrane na biogas		
3.1		do 0,2 MW	16,0
3.2		od 0,2 MW do 2 MW	16,444 – 2,222*P
3.3		preko 2 MW	12,0
4.	Elektrane na deponijski gas i gas iz postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda		6,7
5.	Elektrane na vetar		9,5
6.	Elektrane na solarnu energiju		23
7.	Elektrane na geotermalnu energiju		7,5
8.	Elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na fosilna goriva		
8.1		do 0,2 MW	$C_0 = 10,4$
8.2		od 0,2 MW do 2 MW	$C_0 = 10,667 - 1,333*P$
8.3		od 2 MW do 10 MW	$C_0 = 8,2$
8.4	na postojećoj infrastrukturi	do 10 MW	$C_0 = 7,6$
9.	Elektrane na otpad		
9.1		do 1 MW	9,2
9.2		od 1 MW do 10 MW	8,5
C_0 – referentna otkupna cena, korekcija cene za elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na prirodni gas			

Izvor: (Agencija za energetiku Republike Srbije, 2022, str. 42)

Modeliranje otkupnih cena za povlašćene proizvođače energije sprovedeno je unosom u kategoriji koja je povezana sa cenom vrsta goriva u okviru LEAP-a. Model navedene cene posmatra iz ugla obaveza države prema povlašćenim proizvođačima, te one stoga spadaju u ukupan trošak prilikom

proračuna modela. Što se tiče koristi za privredne subjekte, očekuje se da će model podstaći višu proizvodnju iz obnovljivih izvora energije zbog projekcije sniženja ukupnih troškova rada elektrana iz oblasti OIE.

Još jedan način da se modeliraju podsticajne otkupne cene, tj. mehanizmi podrške obnovljivim izvorima energije u LEAP-u bila bi implementacija negativne cene goriva za OIE procese koji proizvode električnu energiju (koji uglavnom imaju nultu cenu goriva). Ovo bi dovelo do toga da NEMO optimizacijski proračuni favorizuju takve procese i na taj način bi se više električne energije generisalo od njih. Nažalost, LEAP i NEMO trenutno ne podržavaju negativne cene goriva. Potencijalno bi negativna cena goriva mogla izazvati neočekivano ponašanje sistema prilikom NEMO optimizacijskih proračuna.

Prilikom modeliranja mehanizma podrške OIE, takođe je vredno napomenuti da neki podsticaji mogu doći od proizvodnje na nivou komunalnih preduzeća, a neki od domaćinstava/biznisa koji prodaju višak solarne energije nazad u elektroenergetsku mrežu. U poslednjem slučaju, deo proizvedene električne energije ide direktno za zadovoljavanje potreba domaćinstava (tako se može pretpostaviti da će se izbeći gubici u transmisiji i distribuciji energije), dok se za ostatak može pretpostaviti da se isporučuje u mrežu. U ovim situacijama bi bilo najbolje uzeti u obzir različite nivoe gubitaka tokom transmisije i distribucije električne energije. To je verovatno najbolje uraditi pomoću niza različitih transformacionih modula: jedan za lokalnu proizvodnju i jedan za centralizovanu proizvodnju energije. Trenutno, LEAP podržava samo optimizacijske proračune u jednom modulu.

5.5 Opis scenarija

Prilikom kreiranja modela za energetiku Republike Srbije fokus je bio na realnim privrednim kretanjima i formiranju alternativnih scenarija koji bi sa visokim stepenom uspešnosti predvideli mogućnosti energetskeg razvoja. Budući da se radi o projekcijama sektora energetike do 2050. godine, model na dugi rok endogeno modelira celu energetsku tranziciju, za razliku od kratkoročnih modela koji posmatraju konfiguraciju sistema samo u ciljnoj godini. Posledično, za projekcije na dugi rok potrebne su potpune informacije o dotadašnjem toku razvoja energetike.

Za potrebe istraživanja evolucije energetskeg sistema Republike Srbije za period do 2050. godine definisana su sledeća četiri, alternativna scenarija: referentni scenario, državni scenario sa merama energetske efikasnosti, scenario umerenog korišćenja obnovljivih izvora energije i scenario intenzivnog korišćenja obnovljivih izvora energije.

1. Referentni scenario (skraćeno: REF scenario) ili na engleskom jeziku „*Business as usual*“ scenario razvijen je u okviru LEAP modela za potrebe istraživanja i prilagođena je verzija državnog referentnog scenarija Republike Srbije, definisanog u okviru „Strategije razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine, sa projekcijama do 2030. godine“ (Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, 2015). Referentni scenario opisuje ispitivanje opcije daljeg razvoja energetskeg sistema države uz odsustvo primene novih mera energetske politike, dodatne racionalizacije potrošnje energije i mera za poboljšanje energetske efikasnosti. Referentni scenario obuhvata aktivnosti koje mogu pospešiti koordiniran pristup stvaranja regulisanih uslova za energetske tržište, ali suštinski ne uključuje inovirane pakete mera regulativne politike, pri čemu se ne menja trasa energetskeg razvoja na kojoj je država bila do sada. Iz ugla buduće potrošnje energije, bitno je istaći da je referentni scenario projekcija koja isključuje uvođenje novih regulativnih politika ili mera koje bi za cilj imale smanjenje potražnje i emisije ugljenika, to jest svih štetnih gasova iz sektora energetike (Feng & Zhang, 2012). Za modelovanje referentnog scenarija podaci su preuzeti iz zvaničnih izvora institucija Republike Srbije za period do 2030. godine, do kada postoje dostupni podaci o predloženoj projekciji.

Dopuna pretpostavki scenarija za period nakon poslednjeg dostupnog energetskeg bilansa za 2020. godinu urađena je u skladu sa relativnom promenom finalne potrošnje energije, uvoznom zavisnošću sektora energetike, potrošnjom primarne energije po jedinici BDP-a i tekućim energetskeim tokovima. Obzirom da je strategija publikovana 2015. godine, došlo je do velikih izmena na globalnom i nacionalnom nivou prema kojima je bilo potrebno uskladiti ovaj scenario. U međuvremenu je dosta učinjeno po pitanju promocije čiste energije, rasta investicija u efikasnije tehnologije i rada na opštoj stabilizaciji energetskeg sistema zemlje. Otvoren je put ka jednostavnijem osnivanju privrednih društava iz oblasti energetike i uočen je daleko veći broj aktivnosti energetskeih subjekata na polju primene novih tehnologija za korišćenje obnovljivih izvora energije. Ipak, Republika Srbija se suočila i sa brojnim izazovima uzrokovanih zakasnelim reakcijama na opasnosti po energetskeu bezbednost, kao što su upotreba zastarele tehnologije, otkopavanje uglja relativno niskog kvaliteta i visoka zavisnost od uvoza energenata. Usporen ekonomski rast u toku svetske pandemije COVID-19 virusa samo je dodatno otežao situaciju u kojoj se sektor energetike nalazio. Istraživanje je pokazalo da je „pandemija COVID-19, izazivajući šok i na strani agregatne ponude i agregatne tražnje, poremetila i balans ponude i tražnje za energentima, generišući fluktuacije u njihovim cenama” (Praščević & Ješić, 2022, str. 140). U skladu sa navedenim, važna polazna tačka za dalje projekcije jeste poređenje referentnog scenarija iz pomenute strategije i podataka energetskeg bilansa za 2020. godinu. Utvrđena su odstupanja koja su takođe uzeta u obzir i na osnovu kojih se prilagodio scenario za period do 2050. godine.

2. Državni scenario sa primenom mera energetske efikasnosti (skraćeno: SCEE scenario) definisan je na osnovu pretpostavki u vezi predviđenog privrednog rasta i projekcija kretanja ukupnog stanovništva. Sagledavanje državnih mera značajno je i iz ugla validacije modela, s obzirom da dostupni podaci ukazuju na uštedu u finalnoj potrošnji energije koja je ostvarena u odnosu na referentni scenario od 2018. godine (Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, 2015). Unos svih mera energetske efikasnosti koje su strategijom razvoja energetike definisane od strane države daje snažnu osnovu za dalje istraživanje i prilagođavanje mera potrebama modernog energetskeg sistema. Fokus prilikom modelovanja navedenog scenarija najpre je na projekciji mogućnosti uticaja državnih mera energetske efikasnosti na strateške ciljeve i strateške pravce delovanja elektroenergetskeg sistema Republike Srbije. Scenario uključuje sve podatke o investicijama u sisteme za proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije, modernizaciju postojećih elektrana i izgradnju novih kapaciteta. Prioritetne aktivnosti za promociju obnovljivih izvora energije takođe su integrisane, kao i projekcija korišćenja energije iz OIE i sredstava njene stimulacije. Iako SCEE scenario obuhvata opsežan obim podataka o aktuelnim strategijama za uvećanje energetske efikasnosti, u okviru istraživanja ovaj scenario je samo korigovan prema postojećim energetskeim tokovima, dok za unapređeno korišćenje OIE i povezanih mehanizama podrške su razvijena dodatna dva alternativna scenarija. U scenario su unete nove, relevantne informacije o državnim merama energetske efikasnosti zaključno sa 2021. godinom, nakon koje slede buduće projekcije u skladu sa postojećom energetskeim politikom države.

3. Scenario umerenog korišćenja obnovljivih izvora energije (skraćeno: SCOIE1 scenario) je scenario koji je u potpunosti samostalno razvijen za potrebe projekcije razvoja energetskeg sistema Republike Srbije do 2050. godine, uz unos podataka do 2020., poslednje godine za koju su dostupni konačni podaci za sektor energetike. LEAP model omogućio je napredno modelovanje sveobuhvatnog scenarija sa aspekta makroekonomske i mikroekonomske analize budućih kretanja. Cilj kreiranja SCOIE1 scenarija jeste ispitivanje dodatnog uvođenja tehnologija OIE u energetskeim sistemu Republike Srbije, a ujedno i razmatranje potencijala, prepreka i izazova pomenutog procesa. SCOIE1 scenario može se posmatrati i kao poboljšana verzija, to jest ekstenzija SCEE scenarija, prilagođena savremenim potrebama sektora potrošnje energije. Poseban akcenat je na smanjenju emisije ugljenika iz sektora energetike i na opcijama minimizacije upotrebe štetnih vrsta goriva. Bitno je napomenuti da su REF i SCEE scenariji povezani u LEAP modelu, dok podatke SCOIE1 preuzima i prilagođava alternativan scenario SCOIE2.

4. Scenario intenzivnog korišćenja obnovljivih izvora energije (skraćeno: SCOIE2 scenario)

poslednji je od četiri alternativna scenarija modelovana u okviru LEAP-a za potrebe sprovedenog istraživanja. SCOIE2 scenario nasleđuje podatke od SCOIE1 scenarija koji se potom modifikuju prema zahtevima istraživanja. SCOIE2 scenario je projekcija razvoja sektora energetike sa analizom integracije najvišeg stepena moguće upotrebe obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji za period do 2050. godine, uz osvrt ka svim ograničenjima postojećeg energetskeg sistema. Generalno posmatrano, pretpostavlja se da obnovljivi izvori energije neće moći u potpunosti da zamene konvencionalne izvore za potrebe primarne proizvodnje energije do 2050. godine. Cilj kreiranja SCOIE2 scenarija je projekcija korišćenja obnovljivih izvora energije u najvećoj mogućoj meri za posmatrani vremenski period. Kako bi se dokazala realnija pretpostavka postepene integracije OIE i delimične zamene upotrebe neobnovljivih izvora energije, razmatraju se dve različite opcije korišćenja OIE. Perspektiva energetskeg razvoja definisana je u granicama mogućih ostvarivih vrednosti za odabrane energetske indikatore. S tim u vezi, postavka scenarija inkorporira adekvatne mere povećanja energetske efikasnosti i podrške razvoju upotrebe OIE.

Za razliku od prethodna tri alternativna scenarija, SCOIE2 ispituje i ekonomske troškove i koristi od izmene aktuelnog mehanizma za podršku OIE, to jest podsticajnih otkupnih cena za povlašćene i privremeno povlašćene proizvođače električne energije. Prilagođavanje predloženih podsticajnih otkupnih cena sagledano je u kontekstu finansijske opravdanosti i adaptibilnosti sistema nivou rasta podsticajnih otkupnih cena, sa ciljem povećanja investicija i smanjenja finalne potrošnje primarne energije po jedinici BDP-a. Promocija korišćenja OIE posmatrana je i kroz efekte smanjenja emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte, redukcije troškova svih ekoloških eksternalija i efekte ukupnog smanjenja društvenih troškova koji mogu nastati upotrebom konvencionalnih oblika energije. Kreiranjem SCOIE2 scenarija ukazano je na realne mogućnosti adaptacije energetskeg sistema Republike Srbije savremenim uslovima upotrebe OIE, uz ekonomsku opravdanost za tržišne učesnike i očuvanje makroekonomske stabilnosti države.

Prva opcija SCOIE2 scenarija jeste korišćenje punog raspoloživog kapaciteta elektrana iz oblasti obnovljivih izvora energije. To znači da će se proizvodni pogoni tih elektrana angažovati do punog raspoloživog kapaciteta, bez obzira na nivo zahteva modula transformacije energije ili zahteva sa strane finalne potrošnje energije. Time bi fokus bio na izvozno orijentisanom energetskeg sistemu. Zadovoljenje domaće potražnje za energijom ostalo je definisano kao prioritet u modelu, ali sam *bottom-up* pristup modeliranju dovodi do veliki razlika prilikom testiranja ove u odnosu na drugu alternativnu opciju scenarija. Razmatranje dobijenih rezultata opcije broj 1 korisno je iz ugla analize troškova i koristi ugradnje novih sistema OIE, načina njihove upotrebe i procentualnog potencijala zamene stare tehnologije.

Sa druge strane, uvođenjem opcije broj 2 ovog scenarija model postaje još fleksibilniji i prikazuje detaljnu projekciju mogućih tokova energetskeg razvoja. Opcija broj 2 odnosi se na korišćenje kapaciteta OIE proporcionalno potrebama finalne potrošnje energije i zadatom parametru neispunjenja zahteva za energijom (na engleskom jeziku *Unmet Requirements*). Kapacitet će raditi do nivoa raspoloživosti (umnožak kapaciteta i maksimalne dostupnosti proizvodnog pogona). Očekuje se da će ova opcija obezbediti niži nivo proizvodnje sekundarne energije, uz sporiji proces transformacije energije, ali da će zato zahtevati i niži nivo ukupnih investicija. Važno je detaljno ispitati obe opcije implementacije strategija razvoja energetike, kako bi se blagovremeno dao odgovor da li je sektor energetike Republike Srbije spreman za intenzivno korišćenje obnovljivih izvora energije i u kojoj meri.

5.6 Ključne pretpostavke modela

Ključne ekonomske i demografske pretpostavke kreiranog energetskog modela su:

- Bruto domaći proizvod – BDP
- Godišnji rast BDP-a
- Ukupno stanovništvo Republike Srbije
- Koeficijent rasta ukupnog stanovništva Republike Srbije

Ključne pretpostavke na osnovu kojih će se izvršiti simulacija modela zasnivaju se na prognozama ekonomskih i demografskih kretanja na primeru Republike Srbije za vremenski period do 2050. godine. Definisanje stopa rasta i razlika između pretpostavki po alternativnim scenarijama objašnjeni su u nastavku. Industrijska struktura u Republici Srbiji, energetski intenzitet svakog sektora i struktura finalne potrošnje energije prema sektoru potrošnje određeni su interpolacijom trenda iz istorijskih podataka.

Tabela 5.5: Osnovni indikatori LEAP modela

Vrsta podataka	Specifični indikatori
Ekonomski podaci	bruto domaći proizvod, realna stopa rasta bruto domaćeg proizvoda
Demografski podaci	ukupno stanovništvo, koeficijent rasta ukupnog stanovništva, veličina domaćinstva
Podaci iz oblasti energetike	energetska politika, finalna potrošnja energije, finalna potrošnja energije po jedinici BDP-a, emisija štetnih gasova sa efektom staklene bašte, primarna proizvodnja energije

Izvor: Analiza autora

5.6.1 Bruto domaći proizvod

Za dugoročnu prognozu ekonomskih kretanja u Republici Srbiji merenih realnom stopom rasta bruto domaćeg proizvoda korišćeni su godišnji nacionalni računi, kao i sažeta kompleksna saopštenja „Ekonomska kretanja – Procena” Republičkog zavoda za statistiku Republike Srbije. Na osnovu dostupnih podataka iz administrativnih izvora, redovnih statističkih istraživanja i raspoloživih podataka iz statističkog sistema sačinjen je „Model makroekonomskih projekcija za testiranje dugoročne održivosti duga i performansi rasta, 2019-2030.“ (Republički zavod za statistiku, 2019) koji je takođe bio od velikog značaja za projekcije realnog rasta BDP-a.

Za sva četiri alternativna scenarija određena je realna stopa rasta BDP-a od 3,2% za 2022. godinu, 2,7% za 2023. i 2,8% za 2024. godinu, u skladu sa revidiranim izveštajem Svetske Banke za Zapadni Balkan (World Bank, 2022). Počev od 2025. godine pa do poslednje godine obračuna, određena je realna stopa rasta BDP-a od 3% za REF scenario i SCEE scenario. U okviru navedena dva scenarija ne očekuje se dodatna potencijalna kontrakcija inostrane tražnje, eventualna prekompozicija izvora finansiranja i povećanje multiplikativnog efekta sektora u kontekstu izmene sektorske strukture investicija. Izazovi niske eksterne likvidnosti i stvaranja pritiska na platno-bilansnu ravnotežu mogu uticati na pad pokrića uvoza robe i usluga deviznim rezervama.

Pad kreditnog rejtinga, drastični pad priliva stranih direktnih investicija iz zemalja Evropske Unije, porast cena zaduživanja države na svetskom finansijskom tržištu i pad obima finansijskih sredstava koje EU izdvaja za pretpristupnu pomoć samo su neki od efekata koji mogu imati uticaj na eksternu

ravnotežu (Fiskalni savet Republike Srbije, 2022). Posledično, pomenuti scenariji ne uzimaju u obzir potencijal obezbeđivanja većeg priliva inostranog kapitala.

Sa druge strane, SCOIE1 i SCOIE2 scenariji uključuju projekciju realne stope rasta BDP-a prema optimističkom scenariju razvojne dinamike i makroekonomske pozicije Republike Srbije. Shodno tome, od 2025. do 2050. godine za ova dva scenarija je predviđena realna stopa rasta BDP-a od 4%.

5.6.2 Ukupno stanovništvo Republike Srbije

Podaci o projekciji ukupnog broja stanovnika dobijeni su na osnovu zvaničnih podataka Republičkog zavoda za statistiku Republike Srbije i Fiskalnog saveta Republike Srbije.

Projekcije stanovništva za period od 2011. do 2041. godine objavljene su nakon utvrđenog stanja o stanovništvu – strukturi prema starosti i polu od dana 30.11.2011. godine. Pošto se procene odnose na sredinu godine i s obzirom da postoje potpuni podaci o prirodnom i mehaničkom kretanju stanovništva, 2011. godina je definisana kao bazna godina za četiri predložena scenarija LEAP energetskog modela. Projekcije stanovništva date su u pet različitih varijanti: niska, srednja, visoka, varijanta konstantnog fertiliteta i varijanta nultog migracionog salda. Pošto je u publikaciji o projekcijama stanovništva Republike Srbije istaknuto da će se broj stanovnika najverovatnije menjati u skladu sa pretpostavkama projekcije varijante srednjeg fertiliteta (Republički zavod za statistiku, 2011), a imajući u vidu da je Strategija razvoja energetike Republike Srbije zasnovana na pomenutoj varijanti projekcije, ona je usvojena za kreiranje REF i SCEE scenarija za period do 2041. godine. Neophodnost usvajanja navedene varijante obrazlaže se i činjenicom da su u pitanju korekcije postojećih državnih scenarija i njihova dalja razrada za potrebe prognoze razvoja energetike do 2050. godine.

S tim u vezi, projekcija stanovništva za period od 2041. godine do 2050. godine korigovana je tako da koeficijent rasta stanovništva prati stopu rasta koja je definisana za srednju varijantu fertiliteta kod preostala dva alternativna scenarija. To je učinjeno pod pretpostavkom rasta trenda depopulacije Republike Srbije, s obzirom da je studija iz koje su korišćeni podaci za SCOIE1 i SCOIE2 novijeg datuma i obzirom da se prema najnovijim podacima očekuje nastavak negativnog rasta koeficijenta stanovništva. U apsolutnom iznosu projekcije stanovništva za REF i SCEE scenarije razlikovaće se u odnosu na SCOIE1 i SCOIE2 scenario za 2050. godinu, što može dovesti do drugačijih energetske potreba domaćinstava i različite potražnje za energijom na nivou sektora potrošnje.

Studija Fiskalnog saveta Republike Srbije, objavljena u junu 2013. godine pod nazivom „Projekcije stanovništva Srbije od 2010. do 2060. godine”, korišćena je za unos projekcionih varijanti kretanja ukupnog stanovništva za SCOIE1 i SCOIE2 scenarije. Studija deli projekcije u osam varijanti: varijante niskog, srednjeg, visokog, konstantnog fertiliteta, zatim varijanta konstantnog mortaliteta, nultog migracionog salda, konstantna varijanta i poslednja prognostička varijanta. Za potrebe kreiranja ova dva scenarija usvojena je varijanta srednjeg fertiliteta, koja ne prati projekciju srednjeg fertiliteta iz prethodno navedene studije Republičkog zavoda za statistiku. Dakle, postavkom modela postoji razlika u intenzitetu stope demografskog smanjenja po predstavljenim varijantama za navedene dve grupe scenarija, tako da bi na primer 2040. godine populaciona veličina demografske projekcije za SCOIE1 i SCOIE2 bila manja za 12,36% od populacione veličine projekcije za REF i SCEE scenarije.

Tabela 5.6: Ključne ekonomske i demografske pretpostavke alternativnih scenarija

Ključna ekonomska pretpostavka	REF		SCEE		SCOIE1		SCOIE2	
	Stopa rasta 2025-2050.	Stanje 2050.	Stopa rasta 2025-2050.	Stanje 2050.	Stopa rasta 2025-2050.	Stanje 2050.	Stopa rasta 2025-2050.	Stanje 2050.
BDP (miliona dinara)	3%	20385758	3%	20385758	4%	24731426	4%	24731426
Ključna demografska pretpostavka	Stopa rasta 2041-2050.	Stanje 2050.	Stopa rasta 2041-2050.	Stanje 2050.	Stopa rasta 2041-2050.	Stanje 2050.	Stopa rasta 2041-2050.	Stanje 2050.
Ukupno stanovništvo	-3,6%	6581621	-3,6%	6581621	-3,6%	5761378	-3,6%	5761378

Izvor: Analiza autora, na osnovu dostupnih podataka

5.7 Podešavanje parametara za četiri alternativna scenarija

LEAP pruža mogućnost definisanja i podešavanja brojnih parametara scenarija koji oblikuju projekciju energetskeg sistema na dugi rok. U nameri da se adekvatno realizuju strategije podsticaja rasta energetske efikasnosti, važno je precizno stukturirati parametre prema trenutnim i očekivanim potrebama sektora energetike države. Simulacija različitih nivoa potražnje za energijom, racionalizacija finalne potrošnje energije po stanovniku i evaluacija funkcionisanja projektovane strukture energetskeg sistema presudni su za modeliranje različitih parametara scenarija (Rivera-González et al., 2019). Kompleksnost scenarija može se unaprediti dodatnom podelom sektora potrošnje energije po karakteristikama pojedinačnih tržišnih učesnika (Misila et al., 2020), njihovim specifikacijama upotrebe oblika energije i budućem razvojnom potencijalu. Pretežno je zastupljen unos različitih parametara po stepenu iskorišćenosti kapaciteta, životnom ciklusu rada elektrana i tehnološkom potencijalu uštede energije (Hu et al., 2019).

Za potrebe kreiranja četiri alternativna scenarija, obavljena su brojna testiranja alternativnih mogućnosti kreiranja miksa parametara zarad optimizacije celoga sistema. U obzir su uzete opcije kao što je dosadašnji trend kretanja upotrebe tehnologija, ekonomski potencijal države za integracijom novih tehnologija i pretpostavke makroekonomskih kretanja za period do 2050. godine. Posebno izazovno za modeliranje jeste kreiranje realne integracije obnovljivih izvora energije u skladu sa postojećim ograničenjima energetskeg sistema. Model je izuzeo mogućnost stvaranja scenarija koji bi projektovao potpunu zamenu konvencionalnih izvora energije obnovljivim, uz procenu nemogućnosti realizacije pomenutog procesa za relativno kratak vremenski period do 2050. godine.

Pažnja je posvećena i analizi fiskalnih rizika i problema javnih preduzeća iz sektora energetike Republike Srbije, zakašnjenja sa izgradnjom novih energetskeg kapaciteta, nedostataka distributivne mreže EPS-a i drugo (Fiskalni savet, 2022). Plan otplate kredita i razvoja EPS-a uključeni su u model sa ciljem predviđanja daljeg fiskalnog rizika i održivog upravljanja poslovanjem. Kvantifikacija uticaja društvenih troškova na formiranje podsticajnih otkupnih cena za povlašćene proizvođače električne energije takođe predstavlja značajan deo za procenu održivosti sistema i smanjenja emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte.

Pravilo otpremanja oblika energije (na engleskom jeziku *Dispatch Rule*) izuzetno je važan aspekt modeliranja energetskeg procesa u LEAP-u. Primera radi, za upotrebu tehnologija OIE može se koristiti princip *Merit-Order* otpremanja oblika energije, to jest rangiranje dostupnih izvora energije

na osnovu rastućeg redosleda cene i kratkoročnih marginalnih troškova. Ispitivanja su pokazala da bi rastuće cene električne energije i promocija planiranja energetske efikasnosti trebalo da budu ključni pokretači smanjenja potražnje za energijom i posledično smanjenja ukupnih troškova energije kojom se trguje (Roldan-Fernandez et al., 2016). Pored proizvodnje električne energije iz OIE, rast efekta *merit-order* može biti podstaknut i naglim rastom cena drugih izvora energije, kao što su to gas i vrste uglja. Navedeni porast cena bi povećao nagib krive ponude i time prouzrokovao još veći intenzitet privređivanja od strane *merit-order* efekta (Sensfuß et al., 2008).

Merit order efekat može opisivati i smanjenje prosečne cene električne energije usled povećanja kapaciteta obnovljivih izvora energije i time odgovoriti na pitanje o ekonomskoj opravdanosti dalje upotrebe zastarele tehnologije. S obzirom da se samo nekolicina naučnih radova bavi tematikom dostizanja ravnotežnog stanja energetskog sistema instaliranjem novih tehnologija OIE sa aspekta uticaja na *merit order* i reagovanja konvencionalnih elektrana na ove promene, poželjno je uspostaviti model sa stohastičkom potražnjom koja ima visoku cenovnu elastičnost. Pri tome, trebalo bi modelirati latentnu potražnju q koja prati kumulativnu funkciju distribucije tehnologija (Antweiler & Muesgens, 2021):

$$\omega(q) = 0 \quad q \leq q_r \frac{(q - q_r)^2}{q_{sr}} \quad q_r < q \leq q_s \quad 1 - \frac{(q_B - q)^2}{q_{Bs}} \quad (5.1)$$

$$q_s < q < q_B \quad 1 \quad q \geq q_B \quad (5.2)$$

gde su $q_{sr} \equiv (q_B - q_r)(q_s - q_r)$ i $q_{Bs} \equiv (q_B - q_r)(q_B - q_s)$. Triangularnom funkcijom obuhvataju se veoma visoke i veoma niske vrednosti za tražnju, pružajući adekvatnu aproksimaciju potražnje za energijom. S tim u vezi, model je zasnovan na fleksibilnom pristupu kreiranju scenarija SCOIE2, za koji se razmatraju dve opcije razvoja upotrebe obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji. Sa jedne strane, opcija proporcionalnog kapaciteta ukazuje na korišćenje tehnologija OIE prema graničnoj vrednosti proizvodnje i marginalnim troškovima elektrana ostvarenim po MWh proizvodnje. Sama reč proporcionalan kapacitet govori o tome da se dostupne tehnologije koriste do nivoa zahteva određenog modula (recimo modula proizvodnja električne energije), nakon čega se proizvodnja premešta ka drugim vrstama elektrana (opisano i terminom na engleskom jeziku *upstream modules*).

S druge strane, modelirana je i opcija punog kapaciteta proizvodnje, pri čemu se koristi maksimalna dostupnost elektrane i zanemaruju zahtevi modula. Svakako je tačno da i jedan i drugi pristup imaju svojih prednosti i mana koje najpre zavise od potreba elektroenergetskog sistema, stabilnosti prenosa i distribucije električne energije i mogućnosti balansiranja energije. Ukoliko država nastoji da primeni strategiju izvozne orijentisanosti praćene brzim rastom ekonomije, pogodnija je opcija punog kapaciteta otpremanja energije za OIE. Međutim, ako državni mehanizam podrške nastoji da postepeno integriše OIE u sistem vodeći računa o balansnoj odgovornosti i o riziku naglih prekida snabdevanja energijom (na engleskom jeziku *blackouts*), pretpostavlja se da će proporcionalan kapacitet otpremanja obnovljivih izvora biti odgovarajući na kratak rok.

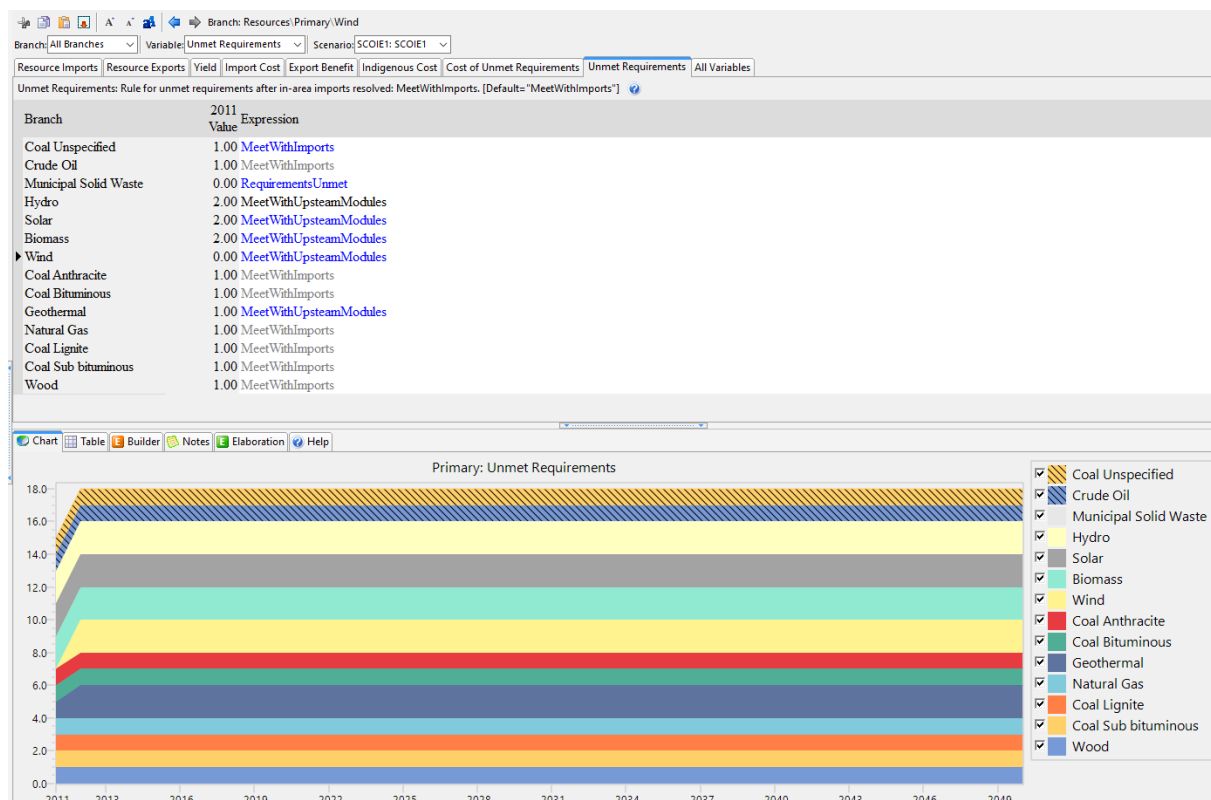
U narednoj tabeli opisane su zadate funkcije parametara otpremanja energije u modelu. U okviru tabelarnog prikaza navedene su opcija 1, za prioritarno otpremanje energije prema *merit-order* efektu, i 2, za otpremanje oblika energije koje je od sekundarne važnosti. *Merit-order* pravilo je iskazano brojevima 1 ili 2 pošto se tako definiše u LEAP modelu. U zagradama je naveden i akronim CUF za stepen iskorišćenosti kapaciteta (na engleskom jeziku *Capacity Utilization Factor*), u slučajevima kada je *merit-order* opisan kroz godišnja kretanja dostupnosti izvora energije (na primer, za vetroelektrane postavljen je detaljan CUF po vremenskim sezonama, zbirno je 35%, dok je za solarnu energiju prosečan CUF 30%).

Tabela 5.7: Podešavanje parametara – pravila otpremanja energije za proizvodnju energije transformacijom

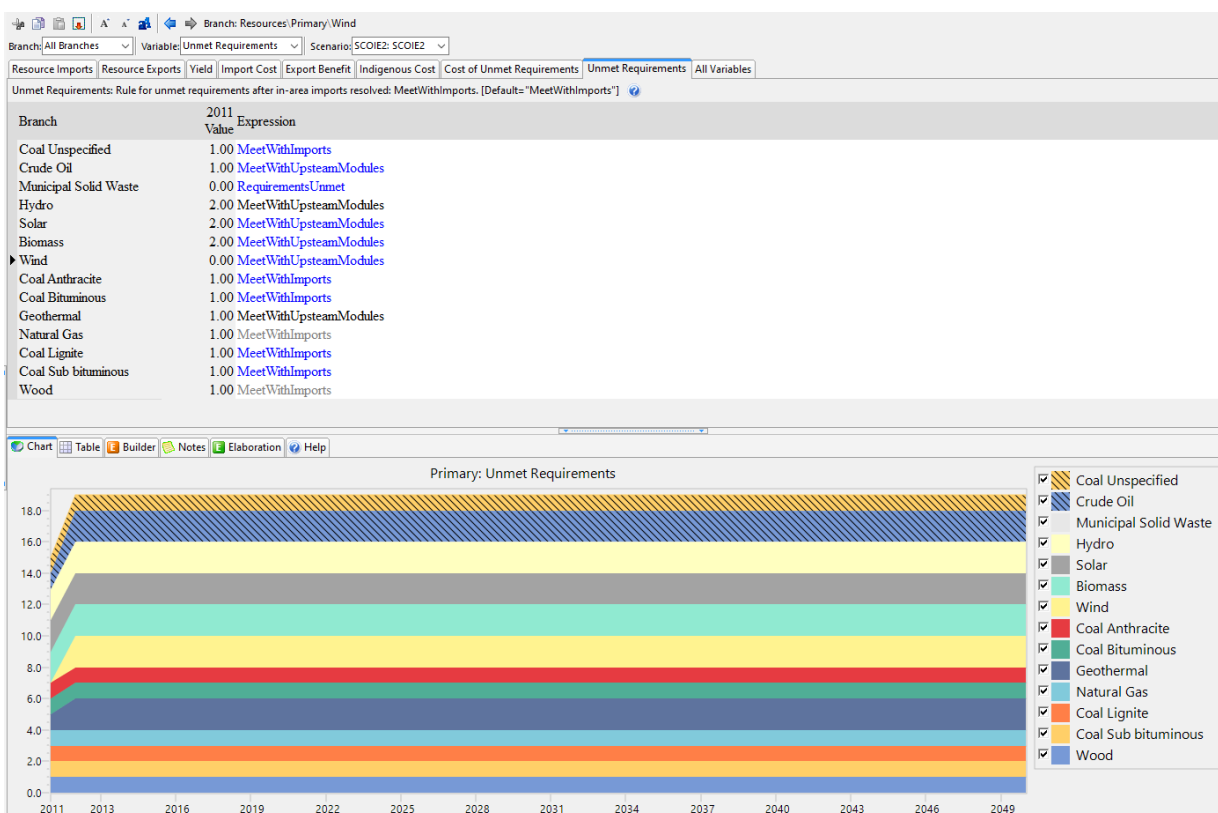
Pravilo otpremanja energije (u zagradi komanda za <i>Merit Order</i>)					
Vrsta elektrana	REF scenario	SCEE scenario	SCOIE1 scenario	SCOIE2 scenario (opcija 1)	SCOIE2 scenario (opcija 2)
Visoke peći	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (2)	Proporcionalan kapacitet (2)
Prerada uglja	Proporcionalan kapacitet	Proporcionalan kapacitet	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (2)	Proporcionalan kapacitet (2)
Termoelektrane	Pun kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Procentualni udeo (2)	Procentualni udeo (2)
Termoelektrane-toplane	Pun kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (2)	Procentualni udeo (2)	Procentualni udeo (2)
Vetroelektrane	Procentualni udeo (2)	Proporcionalan kapacitet (2)	Proporcionalan kapacitet (CUF)	Proporcionalan kapacitet (CUF)	Pun kapacitet (CUF)
Solarne elektrane	Proporcionalan kapacitet (2)	Proporcionalan kapacitet (2)	Proporcionalan kapacitet (CUF)	Proporcionalan kapacitet (CUF)	Pun kapacitet (CUF)
Geotermalne elektrane	Procentualni udeo (2)	Procentualni udeo (2)	Proporcionalan kapacitet (2)	Proporcionalan kapacitet (1)	Pun kapacitet (1)
Energane	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)
Hidroelektrane do 10MW	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Pun kapacitet (1)
Hidroelektrane od 10MW do 30 MW	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Pun kapacitet (1)
Hidroelektrane preko 30MW	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Pun kapacitet (1)	Pun kapacitet (1)
Elektrane na biogas	Proporcionalan kapacitet (2)	Proporcionalan kapacitet (2)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Pun kapacitet (1)
Elektrane na otpad	Procentualni udeo (2)	Procentualni udeo (2)	Proporcionalan kapacitet (2)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)
Elektrane na biomasu	Proporcionalan kapacitet (2)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Pun kapacitet (1)
Elektrane na deponijski gas	Procentualni udeo (2)	Procentualni udeo (2)	Procentualni udeo (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)
Elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na prirodni gas	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (1)	Proporcionalan kapacitet (2)	Proporcionalan kapacitet (2)

Izvor: Analiza autora

Na osnovu navedenih parametara u nastavku sledi prikaz ekrana LEAP modela kako bi se napravila jasnija distinkcija između dve opcije SCOIE2 scenarija. Prikazano je samo podešavanje modula u slučaju da nije moguće zadovoljiti potražnju za energijom, kao i kako će model postupiti u slučaju eventualnog neispunjenja zahteva za energijom. Kao što se može videti, opcija dva punog kapaciteta korišćenja OIE za modul transformacije energije ima za cilj da u potpunosti obustavi uvoz sirove nafte i da se time započne proces isključenja ovog vrsta goriva u formi utroška za proizvodnju energije transformacijom.



Slika 5.2: Sažet prikaz funkcija za ispunjenje energetskega zahteva u LEAP modelu SCOIE2 scenario (opcija „proporcionalan kapacitet OIE“)
Izvor: Analiza autora, u okviru (Heaps, 2022)



Slika 5.3: Sažet prikaz funkcija za ispunjenje energetskega zahteva SCOIE2 scenario (opcija „pun kapacitet OIE“)
Izvor: Analiza autora, u okviru (Heaps, 2022)

5.8 Validacija modela

Za potrebe kreiranja modela razvoja energetike Republike Srbije za vremenski period od 2011. do 2050. godine prikupljeni su brojni podaci iz zvaničnih izvora nacionalnih i međunarodnih institucija. 2011. je bazna godina, dok je 2012. prva godina za koju se izračunavaju rezultati za alternativne scenarije. Kako bi se adekvatno izvršila validacija modela, definisan je vremenski rok od 2012. do 2019. godine za upoređivanje istorijskih podataka na godišnjem nivou. S obzirom da LEAP, suštinski posmatrano, ne predstavlja klasičan model već alat za samostalno stvaranje modela, veoma je važno proveriti validnost za izdvojene kategorije. U tom smislu, u nastavku je sprovedena komparativna analiza za proizvodnju energije transformacijom po vrstama elektrana.

Razlog za nastanak razlika između zvaničnih istorijskih podataka i podataka u okviru razvijenog modela može se pronaći u činjenici da se koristi *bottom-up* pristup modeliranju. Ukoliko se model ne postavi na adekvatan način, vrlo verovatno bi se poremetila raspodela unetih podataka i konkretnih iznosa za proizvedenu energiju prema posmatranim godinama. „Uzvodnim“ (na engleskom jeziku *upstream*) premeštanjem ili alociranjem proizvedene energije na druge podkategorije, to jest na elektrane koje nisu ispunile energetske zahteve, mogu se dobiti rezultati koji vode analitičara ka pogrešnim zaključcima o pravcu razvoja energetskog sistema. Zbog navedenog, ispituje se da li je došlo do određenih poremećaja u okviru modela koji bi se posledično reflektovali i na godine koje slede. Takođe, do greške može doći imajući u vidu različite merne jedinice koje se mogu koristiti prilikom unosa podataka. Sledi detaljan pregled validacije modela sa aspekta provere podataka o proizvodnji energije transformacijom za različite vrste elektrana.

Tabela 5.8: Validacija modela – poređenje istorijskih podataka sa podacima modela

Godina	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.
Vrsta elektrane								
Termoelektrane zvanično	94.590	103.032	79.463	97.678	98.392	96.140	89.911	91.966
Termoelektrane LEAP	94.579,8	103.005,2	79.465,5	97.678	98.389,8	96.128,9	89.890,6	91.942,1
Odstupanje	-0,0001%	-0,00026%	0,00003%	0%	-0,00002%	-0,00011%	-0,00022%	-0,00025%
Energane zvanično	616	727	1.040	1.145	1.630	1.895	1.954	1.692
Energane LEAP	628	711,5	1.046,7	1.130,4	1.632,9	1.884,1	1.967,8	1.695,7
Odstupanje	0,0191%	-0,0217%	0,0064%	-0,0129%	0,0017%	-0,00578%	0,00701%	0,00218%
Visoke peći zvanično	3.033	3.183	4.821	7.253	9.549	10.609	/	/
Visoke peći LEAP	3.035,4	3.182	4.814,8	7.243,2	9.545,9	10.592,6	/	/
Odstupanje	0,0008%	0,0003%	-0,0012%	-0,0013%	-0,0003%	-0,0015%	/	/
Prerada uglja zvanično	9.134	9.134	4.801	5.852	7.708	9.035	7.508	6.439
Prerada uglja LEAP	9.127,2	9.127,2	4.814,8	5.861,5	7.703,7	9.043,5	7.494,4	6.447,7
Odstupanje	-0,0007%	-0,0007%	0,0028%	0,0016%	-0,0005%	0,0009%	-0,0018%	0,0013%
Rafinerije zvanično	96.917	131.242	134.837	145.700	150.925	159.153	168.902	154.319
Rafinerije LEAP	96.924,4	131.256,2	134.835,9	145.700,6	150.934,1	159.140,3	168.895,5	154.325,4
Odstupanje	0,00007%	0,00010%	-0,000008%	0,000004%	0,00006%	-0,00007%	-0,00003%	0,00004%
Petrohemija zvanično	703	2.586	1.583	1.545	2.168	2.201	7.473	6.624
Petrohemija LEAP	711,8	2.595,8	1.591	1.549,1	2.177,1	2.198,1	7.473,4	6.615,1
Odstupanje	0,0123%	0,0037%	0,0050%	0,0026%	0,0041%	-0,0013%	0,00005%	-0,0013%
Ostali zvanično	518	4.233	3.537	3.559	598	635	666	396
Ostali LEAP	502,4	4.228,7	3.537,8	3.642,5	586,2	628	669,9	397,7
Odstupanje	-0,0310%	-0,0010%	0,0002%	0,0229%	-0,0201%	-0,0111%	0,0058%	0,0042%

Ćumurane i retorte zvanično	288	326	373	369	461	595	425	353
Ćumurane i retorte LEAP	293,1	334,9	376,8	376,8	461	586,2	418,7	355,9
Odstupanje	0,0175%	0,0266%	0,0101%	0,0208%	0%	-0,0147%	-0,0148%	0,0081%
Proizvođači drvnih peleta zvanično	1.448	2.011	2.814	1.809	2.224	4.294	4.267	4.427
Proizvođači drvnih peleta LEAP	1.444,4	2.009,7	2.805,2	1.800,3	2.223,6	4.291,5	4.270,5	4.438
Odstupanje	-0,0024%	-0,0006%	-0,0031%	-0,0048%	-0,0001%	-0,0005%	0,0008%	0,0024%
Proizvođači drvnih briketa zvanično	238	311	329	152	371	326	302	254
Proizvođači drvnih briketa LEAP	251,2	314	334,9	150,7	371	334,9	293,1	251,2
Odstupanje	0,0525%	0,0095%	0,0176%	-0,0085%	0%	0,0265%	-0,0294%	-0,0110%

Izvor: Analiza autora (poređenje podataka iz LEAP-a i energetske bilansa Republike Srbije)

Testiranjem modela za segment proizvodnje energije uočeno je odstupanje u odnosu na zvanične podatke iz energetske bilansa Republike Srbije za period od 2012. do 2019. godine u rasponu od -0,0310% do 0,0229%. Time se može konstatovati da je model validan i da ispunjava uslove za verodostojno kreiranje alternativnih scenarija sektora energetike na dug rok. Za dalju potvrdu tačnosti prilikom unosa podataka sledi prikaz snimka modela za finalnu potrošnju energije u toku 2011. godine.

Scenario	Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	Ostali potrošači	Poljoprivreda	Domaćinstva	Građevinarstvo	Saobraćaj	Industrija
REF	34,888.0	24,204.0	49,230.0	4,911.0	106,553.0	2,381.0	86,236.0	113,769.0
SCEE	34,888.0	24,204.0	49,230.0	4,911.0	106,553.0	2,381.0	86,236.0	113,769.0
SCOIE1	34,888.0	24,204.0	49,230.0	4,911.0	106,553.0	2,381.0	86,236.0	113,769.0
SCOIE2	34,888.0	24,204.0	49,230.0	4,911.0	106,553.0	2,381.0	86,236.0	113,769.0
Total	139,552.0	96,816.0	196,920.0	19,644.0	426,212.0	9,524.0	344,944.0	455,076.0

Slika 5.4: Snimak LEAP modela – finalna potrošnja energije u 2011. godini (u TJ)

Izvor: Analiza autora, na osnovu Energetskog bilansa Republike Srbije za 2011. godinu

Imajući u vidu da se radi o obimnom istraživanju čiji opseg obuhvata raznovrsne aspekte funkcionisanja energetske sistema značajne za ekonomsku analizu, uključena je i validacija modela na bazi emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte. Podaci o ovim emisijama prikupljeni su najpre u skladu sa TED bazom podataka LEAP-a, a na osnovu zvaničnih podataka Okvirne konvencije UN o klimatskim promenama – UNFCCC.

Za potrebe validacije pogodno je bilo pronaći zvaničan izvor za Republiku Srbiju koji bi se bazirao na UNFCCC pristupu, te je validacija sprovedena poređenjem sa projekcijama iz Drugog izveštaja Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji UN o klimatskim promenama, koji je objavljen 2017. godine (Ministarstvo zaštite životne sredine, 2017). Validacija je sprovedena komparacijom projekcija osnovnog scenarija izveštaja i referentnog scenarija modela. Tako je urađeno jer su oba scenarija zasnovana na pretpostavkama sprovođenja istovetnih energetske politika i nepromenjenih državnih mera za energetske efikasnost.

Tabela 5.9: Validacija poređenjem rezultata modela i podataka iz UNFCCC izveštaja za projekciju emisije GHG gasova za 2025. i 2030. godinu (u milionima metričkih tona ekvivalentne CO₂)

Scenario/Godina	2025.	2030.
Osnovni scenario	63.76	69.029
Drugi UNFCCC izveštaj za RS		
Referentni scenario	67.7	72.8
LEAP model		

Izvor: Analiza autora, na osnovu (Ministarstvo zaštite životne sredine, 2017)

Povoljna okolnost za upoređivanje podataka i validaciju modela jeste činjenica da je u okviru izveštaja sa kojim se porede dobijeni rezultati takođe korišćen LEAP kao metodologija istraživanja. Važno je napomenuti da su kreirani modeli nezavisno definisani i da se model u okviru disertacije nije bazirao na podacima iz izveštaja, već da su oni poslužili za validaciju modela za izdvojene godine. Pokazuje se da su dobijeni adekvatni rezultati za validaciju projektovane emisije svih GHG gasova na primeru 2025. i 2030. godine, uz odstupanje LEAP modela disertacije od projekcija izveštaja za 5,81% i 5,17%, respektivno. Razlog nastanka odstupanja može biti upotrebljena različita baza podataka, neuključivanje svih kategorija emisije štetnih gasova koje su obuhvaćene u LEAP-u, kao i opšte razlike u projekciji proizvodnje i potrošnje energije za posmatrane scenarije. Te navedene razlike bi svakako uzrokovale i formiranje različitih ukupnih količina emitovanih GHG gasova.

Pristup dizajniranju tokova emisije gasova u okviru LEAP-a je krajnje fleksibilan, tako da postoje uslovi za izostavljanje elektrana ili kategorije/sektora potrošnje iz istraživanja. Za model doktorske disertacije vodilo se računa o projekciji emitovanih gasova prema realnom stanju u sektoru energetike Republike Srbije i na osnovu potencijala emisije prema vrsti elektrana. U skladu sa navedenim, procenjene emisije LEAP modela pokazuju dobru korelaciju sa ukupnim projektovanim emisijama Drugog izveštaja Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji UN o klimatskim promenama.

6 EMPIRIJSKI NALAZI ALTERNATIVNIH SCENARIJA MODELA

U okviru šestog poglavlja biće razmotreni dobijeni rezultati na osnovu prikupljenih ulaznih podataka i specifičnih postavki za parametre modela. Metodologija istraživanja, analiza vremenske serije i savremeni pristupi analize troškova rada elektrana biće istaknuti, u zavisnosti od ispitane kategorije energetskeg sistema. Različite prikazane metode korišćene su za potrebe testiranja modela. Sistemska i strukturna analiza odnosa razvoja energetskeg sektora i privrednog rasta prikazana je kroz IPAT/Kaya identitet i kreiranjem izveštaja dekompozicije za ključne pretpostavke modela. Potrebno je napomenuti da je u tabelama i na slikama predstavljenih empirijskih rezultata korišćen decimalni separator prema američkim standardima, s obzirom da je to standardizacija koju koristi LEAP model. Usled kompleksnosti i obimnosti dobijenih rezultata, a kako korekcijom ne bi došlo do neusklađenosti i neočekivanih grešaka, prihvaćen je pomenuti standard za decimalne tačke i zareze. Takođe, određena terminologija je ostala formulisana na engleskom jeziku s obzirom da nije bilo moguće prevesti na srpski jezik neke od kategorija u okviru LEAP modela. Lista terminologije prevedene na srpski jezik istaknuta je nakon sadržaja disertacije. Pored navedenog, za SCOIE2 scenario u tabelarnim prikazima je razmatrana opcija korišćenja punog kapaciteta obnovljivih izvora energije, ukoliko drugačije nije istaknuto u tekstu rada.

6.1 Projekcija finalne potrošnje energije za energetske i neenergetske svrhe u Republici Srbiji

Prilikom projekcije finalne potrošnje energije za energetske i neenergetske svrhe u okviru LEAP modela potrebno je odrediti za koju vrstu energije se očekuje da će biti upotrebljena, u kojoj meri, koja je efikasnost njene upotrebe i, opcionalno, koji je očekivani nivo energetskeg intenziteta. Projektovani obrasci potrošnje umnogome zavise od kvalitativnih i kvantitativnih svojstava podataka. Na osnovu toga, cilj modela jeste obuhvatanje svih tehnološko-ekonomskih specifikacija u vezi potrošnje. Do optimalnog nivoa upravljanja potrošnjom energije može se doći povezivanjem drugog zakona očuvanja energije sa procenama troškova očuvanja energije (na engleskom jeziku ECM – *Energy Conservation Measure*), a u skladu sa troškovima upotrebe određene vrste goriva (Robinson, 1982).

U uslovima političke i ekonomske stabilnosti, za prognozu finalne potrošnje energije za energetske i neenergetske svrhe pogodno je koristiti model logističkog predviđanja (Khan et al., 2011). Navedeni model se koristi za procenu budućih vrednosti na bazi analize vremenske serije istorijskih podataka. Aproksimativnim fitovanjem logističke funkcije linearnom regresijom projektuju se nove očekivane vrednosti. Opšti oblik logističke funkcije glasi (Heaps, 2022):

$$Y = A + \frac{B - A}{1 + e^{(-aX + b)}} \quad (6.1)$$

gde se Y odnosi na varijablu čija se vrednost predviđa, X predstavlja vremenski period, A, B, a, b su konstante i e je osnova prirodnog logaritma (aproksimativne vrednosti 2.718281828459).

Za procenu nedostajućih opservacija u okviru vremenske serije primenjena je linearna interpolacija. Kako bi se dobila odgovarajuća interpolacija, mora se kreirati model koji adekvatno predstavlja vremenske serije, fitovati i proveriti da li model verodostojno prikazuje podatke (Brubacher & Wilson, 1976). S obzirom da se očekuje bolja aproksimacija za kraće vremenske intervale (Zor et al., 2018), metod linearne interpolacije korišćen je u modelu za kratak vremenski raspon. Primer konkretne primene jeste za REF i SCEE scenarije za nedostajuće podatke o vremenskom intervalu od 2020. do 2025. godine, kao i za period od 2025. do 2030. godine. Ukoliko se pretpostavi nulti rast nakon poslednje navedene godine, vrednosti se neće ekstrapolirati.

Svaka međugodišnja vrednost u modelu se računa na sledeći način (Heaps, 2022):

$$V_{iy} = V_{fy} + [V_{ey} - V_{fy}] \times \left[\frac{G_{iy} - G_{fy}}{G_{ey} - G_{fy}} \right] \quad (6.2)$$

gde su *iy* – vremenski period čija vrednost bi trebalo da se interpolira, *ey* – poslednji period koji se koristi kao osnova za interpolaciju, *fy* – početni period koji se koristi za interpolaciju.

U nastavku su dati podaci o projekciji finalne potrošnje energije za energetske i neenergetske svrhe u Republici Srbiji za posmatrani period od 2025. do 2050. godine. Zbog celovitosti prikaza i analize u okviru ukupnih iznosa u tabeli uključeni su podaci o sopstvenoj potrošnji energije u energetske sektoru. Pored toga, 2025. godina je izdvojena kao prva godina analize jer se očekuje da bi do tada trebalo da budu uočeni značajniji efekti upotrebe novih, efikasnih tehnologija proizvodnje energije. Tome se dodaje i efekat uticaja ekspanzije investicija u obnovljive izvore energije za dalje oblikovanje strategije razvoja energetike.

Tabela 6.1: Finalna potrošnja energije za energetske i neenergetske svrhe za period od 2025. do 2050. godine – svi scenariji (u TJ)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	675,225.9	561,082.5	547,638.8	503,142.3
2049	668,565.6	557,194.0	544,305.2	501,369.2
2048	661,905.4	553,305.4	540,973.5	499,605.8
2047	655,245.1	549,416.9	537,643.6	497,851.6
2046	648,584.8	545,528.3	534,315.5	496,106.3
2045	641,924.6	541,639.8	530,989.1	494,369.5
2044	635,573.2	538,425.7	527,773.2	492,949.7
2043	629,221.8	535,211.7	524,559.0	491,537.9
2042	622,870.5	531,997.6	521,346.4	490,133.6
2041	616,519.1	528,783.6	518,135.3	488,736.6
2040	610,167.7	525,569.5	514,925.8	487,346.7
2039	605,025.5	523,175.5	512,588.7	486,935.2
2038	599,883.2	520,781.4	510,253.1	486,530.2
2037	594,740.9	518,387.3	507,918.9	486,131.5
2036	589,598.6	515,993.3	505,586.1	485,738.8
2035	584,456.3	513,599.2	503,254.7	485,351.9
2034	579,758.8	511,830.8	501,515.8	484,765.5
2033	575,061.2	510,062.4	499,778.2	484,184.5
2032	570,363.7	508,293.9	498,041.8	483,608.7
2031	565,666.1	506,525.5	496,306.7	483,037.8
2030	560,968.6	504,757.1	494,572.9	482,471.7
2029	552,565.1	498,690.5	488,785.0	478,388.2
2028	544,161.7	492,623.9	482,998.3	474,309.2
2027	535,758.2	486,557.4	477,212.7	470,234.4
2026	527,354.8	480,490.8	471,428.2	466,163.7
2025	518,951.3	474,424.2	465,644.8	462,096.9

Izvor: Analiza autora

Za referentni scenario dobijeni su očekivani rezultati znatno više finalne potrošnje energije u odnosu na ostala tri alternativna scenarija, sa ukupnim procentualnim rastom od 23,14% za posmatrani vremenski period, daleko više od potencijalnih 8,15% rasta predviđenih za, primera radi, SCOIE2 scenario (opcija – pun kapacitet OIE). Uzroci navedene projekcije kretanja mogu se pronaći u brojnim faktorima koji čine postavku modela, kao što su na primer:

- nepromenjena (eng. *Business as usual*) ekonomska, pravna i institucionalna regulativna energetska politika,
- izostanak smanjenja energetskog intenziteta,
- neusklađenost između ponude i potražnje za energijom,
- usporavanje rasta investicija,
- visoka uvozna zavisnost sektora energetike,
- problemi sa skladištenjem energije,
- zastarelost sistema za prenos električne energije,
- prestanak rada elektrana (završetak životnog veka za određene elektrane prema postavci modela),
- uvećani gubici u distribuciji i prenosu električne energije,
- nedovoljno investiranje u polju poboljšanja energetske efikasnosti,
- problemi javnih preduzeća iz sektora energetike,
- privredni rast prati finalni rast potrošnje energije, uz izostanak adaptacije efikasnijih sistema proizvodnje električne i toplotne energije,
- nepotpune informacije kojima raspolažu krajnji korisnici energije o ukupnim troškovima energenata,
- zastarela tehnologija za primarnu proizvodnju energije.

Primetno je da bi prema referentnom scenariju potencijalan rast finalne potrošnje energije u Republici Srbiji dodatno opteretio platni bilans države, te se za ovaj scenario može očekivati povećanje deficita tekućeg računa platnog bilansa. Takođe, očekuju se novi troškovi iz državnog budžeta za pomoć otplate dugoročnih kredita i pokušaj uspostavljanja stabilnosti proizvodnje kod javnih preduzeća iz sektora energetike, uz relativno nepromenjen ukupan iznos subvencija koje dobijaju. Nestabilnost u potrošnji naftnih derivata, povećanje ukupnog uvoza energenata, kao i rast zavisnosti od uvoza prirodnog gasa zabrinjavajući su sa aspekta održivosti energetskog sistema. Globalni indikatori makroekonomske neizvesnosti nisu uključeni kao kontrolne varijable u modelu. Očekuje se da bi aktuelna svetska energetska kriza mogla imati veoma negativan uticaj na energetske tokove u zemlji, ali nemogućnost sagledavanja svih relevantnih činilaca za testiranje opcija alternativnih scenarija dovela je do zaključka da ove limitirajuće faktore ne bi trebalo uvrstiti u model. Rizik od usporavanja ekonomskih aktivnosti u okviru energetike identifikovan je na primeru referentnog scenarija, uz izraženost neadekvatne podrške intenzivnijem rastu energetske efikasnosti. Detaljan prikaz projekcije finalne potrošnje energije dat je u prilogu broj jedan.

Tabela 6.2: Razlika u finalnoj potrošnji energije po sektorima potrošnje 2050. godine u odnosu na baznu 2011. godinu (u 000 TJ)

Sektor potrošnje	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Industrija	82.0	56.7	50.5	22.6
Saobraćaj	28.4	-7.2	-8.2	-6.5
Građevinarstvo	0.7	0.5	0.2	-0.6
Domaćinstva	48.0	19.3	16.7	11.6
Poljoprivreda	11.3	11.3	10.4	9.8
Ostali potrošači	13.1	2.5	2.8	1.9

Izvor: Analiza autora

Tabela pokazuje ukupnu razliku u finalnoj potrošnji energije po sektorima potrošnje 2050. godine u odnosu na bazu 2011. godinu. Rezultati ukazuju na visok ukupan rast potrošnje energije u okviru industrijskog sektora za referentni scenario, kao i u okviru potrošnje od strane domaćinstava. Prisutna je velika neracionalnost u potrošnji električne energije, tako da su domaćinstva imala za 7% veći procentualni udeo u strukturi finalne potrošnje energije u odnosu na prosek Evropske unije za 2019. godinu (Agencija za energetiku Republike Srbije, 2022). U okviru REF scenarija definisan je nastavak trenda retke kupovine električne energije na slobodnom tržištu od strane domaćinstava, te se njihovo snabdevanje održava po regulisanim cenama. Porast prosečne godišnje potrošnje prirodnog gasa po domaćinstvu izmeren je 2021. godine i iznosio je 15,8% više u odnosu na 2020. godinu (Agencija za energetiku Republike Srbije, 2022).

Posebne napore bi trebalo uložiti kako bi se istražio mehanizam podsticaja za postepeni prelazak domaćinstava sa javnog snabdevanja energijom na slobodno tržište kupovine električne energije. Opasnost od produbljivanja energetske ugroženosti, kojom je trenutno pogođeno više od 250.000 domaćinstava u Republici Srbiji (Agencija za energetiku Republike Srbije, 2020), uzeta je u obzir prilikom modeliranja alternativnih scenarija koji se porede sa referentnim scenarijom. Na osnovu tabele broj 6.2, može se videti da su preko potrebna primena eko-pristupa u građevinarstvu i obiman podsticaj kupovine efikasniji kućnih aparata koji su izostali kod REF scenarija. Pretpostavka je da bi se pri tome nastavilo sa praksom upotrebe konvencionalnih vrsta goriva i oblika energije koji imaju veliki potencijal zagađenja životne sredine.

Sagorevanje eksploabilnog uglja niskog kvaliteta iziskuje veću upotrebu mazuta i nafte, što dodatno otežava proces proizvodnje i realizaciju poslovnih procesa od strane radne snage, koja ima poteškoća i u vezi učestalih promena radnog režima (Radosavljević & Radosavljević, 2011). Tako, na osnovu definisanog referentnog scenarija očekuje se povećanje korišćenja sub-bitumenoznog uglja, mrkog uglja i lignita u industrijskom sektoru za 31,93% u periodu od 2030. do 2050. godine.

Važno je podsetiti da je u navedenom scenariju definisano otpremanje energije iz termoelektrana i termoelektrana-toplana pod punim kapacitetom, bez obzira na potrebe za finalnom potrošnjom energije. Parametar je ovako definisan kako bi se eventualno smanjila uvozna zavisnost države uz pretpostavku nepromenjenog sistema proizvodnje energije. Pored toga, svakako da u slučaju REF scenarija zabrinjava i kontinuirani rast upotrebe prirodnog gasa, gde bi za industrijski sektor 2050. godine potrošnja iznosila 53.978 TJ, daleko više nego kod scenarija sa državnim merama energetske efikasnosti, kod koga bi ta potrošnja bila 46.788 TJ. Veliki teret od dodatnog angažovanja energenata potekao bi iz industrijskog sektora, gde bi ukupan rast potrošnje energije između 2011. i 2050. godine iznosio čak 82.000 TJ u apsolutnom iznosu. Takav nagli porast u finalnoj potrošnji energije može se objasniti definisanom stopom rasta BDP-a koja ne bi bila proporcionalno praćena rastom energetske efikasnosti.

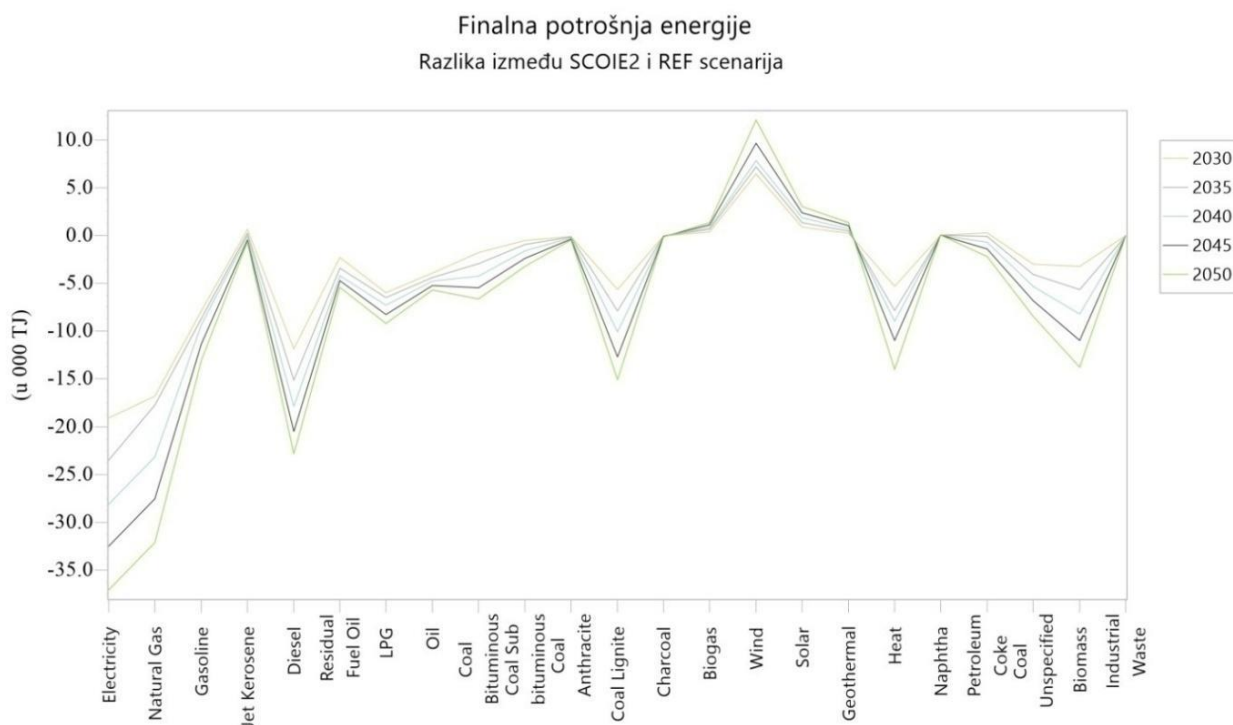
Prema modelu, pad ukupne procesne efikasnosti dotrajalih tehnologija postojećih elektrana opteretio bi sistem i podstakao dodatne gubitke energije u prenosnoj mreži. Industrijski sektor bi iziskivao sve veću količinu energije, koja potencijalno ne bi mogla da zadovolji potrebe sa aspekta kvaliteta, dok bi nagle promene u potražnji za energijom mogle izazvati kolaps elektroenergetskog sistema, takozvani *black-out*. Inovacije na polju razvoja novih oblasti proizvodnje ne bi bile ispraćene kroz proces kogeneracije, dok bi najveći izazov činila nesposobnost adekvatnog skladištenja energije. To je jasno iz postavke modela, jer se upravo kod REF scenarija ne definiše savremeni sistem skladištenja energije, za razliku od SCOIE1 i SCOIE2 scenarija. Na osnovu rezultata, deluje da i predloženi obim investicija ne bi dao značajnije efekte po racionalizaciju potrošnje energije za različite sektore potrošnje.

Značajne razlike u projektovanoj finalnoj potrošnji energije u okviru industrijskog sektora posebno su uočene od 2032. godine, kada bi pomenuta potrošnja prešla nivo od 11% kod REF scenarija u odnosu na SCEE scenario. REF scenario bi u istoj godini zahtevao više od 15% energije za ovaj sektor u poređenju sa SCOIE1 scenarijom, dok bi razlika u odnosu na SCOIE2 iznosila nešto više od 20%. Ako se uzme u obzir da bi industrijski sektor trebalo da ima presudnu ulogu u smanjenju negativnih uticaja korišćenja oblika energije na životnu sredinu, može se videti koliko bi još ekoloških eksternalija proizvela realizacija referentnog scenarija.

Za alternativna tri scenarija SCEE, SCOIE1 i SCOIE2 zapažene su velike promene u sektoru saobraćaja, koje se mogu pripisati činjenici da je u ova tri scenarija uključen predlog legislative broj (EU) 2019/631 Evropskog parlamenta i Saveta Evropske unije za smanjenje emisija štetnih gasova putničkih vozila, za razliku od referentnog scenarija gde ta opcija nije razmatrana (European Commission, 2021a). *Bottom-up* energetska modeliranje je u velikoj meri pomoglo da se ispita i korelacija između smanjenja potrošnje energije i ukupnog smanjenja emisije GHG gasova putničkih vozila. U tom smislu, REF scenario je poslužio kao primer kako bi neispunjenje ovih zahteva moglo uticati na energetska budućnost sektora saobraćaja u odnosu na pozitivne primere kod ostalih scenarija. Iako je dobijena velika razlika između scenarija, ovaj rezultat više ukazuje na pozitivne promene koje bi nastale u slučaju korišćenja novih tehnologija, a manje na neke neočekivane promene do kojih bi došlo usled ostvarenja referentnog scenarija.

Odlučnost u realizaciji procesa sa ciljem smanjenja upotrebe štetnih goriva pokazana je i na primeru svih vrsta benzina, čija bi potrošnja bila više nego dva puta manja kod SCOIE2 scenarija za 2050. godinu. Doduše, mala verovatnoća realizacije REF scenarija potiče od očekivanja da će Republika Srbija biti u obavezi da se prilagodi energetska politici na evropskom nivou. Svakako su navedeni empirijski nalazi veoma korisni u pogledu razmatranja tokova energije i razmere pozitivnog uticaja promena na tok razvoja sektora energetike. Imajući u vidu međuzavisnost pokazatelja kreiranog modela, ekonomska analiza prikazanih nalaza biće elaborirana kroz uticaj rasta ili smanjenja finalne potrošnje energije na ostale elemente energetskog sistema.

Uopšteno posmatrano, deluje da bi u slučaju realizacije referentnog scenarija bilo nedovoljno učinjeno sa aspekta smanjenja finalne potrošnje energije radi približavanja Republike Srbije ostvarenju ciljeva u skladu sa zelenom agendom Zapadnog balkana i zelenim dogovorom Evropske unije (European Commission, 2019). Sledi i detaljnija komparativna analiza dobijenih rezultata za referentni scenario u odnosu na svaki od tri scenarija pojedinačno.



Slika 6.1: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije
(Poređenje SCOIE2 i REF scenarija – od 2030. godine, na svakih pet godina scenarija)

Izvor: Analiza autora

Poredeći SCOIE2 i REF scenarije dobijaju se velike razlike u finalnoj potrošnji energije, prema različitim oblicima energije. Na grafičkom prikazu dat je uvid u strukturne promene u korišćenju energenata, pružajući praktične implikacije za savremene pristupe energetsom planiranju. Potrebno je naglasiti da je u pitanju poređenje dva scenarija koji se prema strategiji razvoja energetike u okviru modela najviše razlikuju, gde je REF referentni scenario projekcija nepromenjenog strateškog opredeljenja sektora energetike. Sa druge strane, u SCOIE2 scenariju intenzivnog korišćenja efikasnih tehnologija proizvodnje energije iz obnovljivih izvora akcenat je na dinamičnijem i kvalitetnijem rastu proizvodnje primarne energije. U ovom scenariju predviđa se smanjenje finalne potrošnje energije za energetske svrhe, proisteklo iz poboljšanja energetske efikasnosti.

Sa aspekta ekonomskog rasta, ekonometrijskom analizom finalne potrošnje obnovljivih izvora energije dobijaju se različiti rezultati na primeru evropskih zemalja, bez dokaza Grejndžerove kauzalnosti od potrošnje OIE ka ekonomskom autputu (Li & Leung, 2021). Primenom *Toda-Yamamoto* testa takođe izostaje doslednost rezultata, pri čemu može postojati jednosmerna ili dvosmerna uzročnost između ispitanih varijabli (Bozkurt & Destek, 2015; Ocal & Aslan, 2013). Predmet analize u okviru scenarija nije provera uzročnosti između rasta potrošnje OIE i ekonomskog rasta, već indirektan pozitivan uticaj potrošnje tih vrsta energije na privredu države kroz poboljšanje ukupne energetske efikasnosti. U skladu sa tim, očekuje se da bi primena predloženih mera za podršku efikasnim tehnologijama značajnije rezultate pokazala već od 2025. godine, sa dostizanjem adekvatne stabilnosti energetskeg sistema do 2040. godine. Važan je i uticaj ekonomskih efekata na elektroenergetski sistem racionalizacijom potrošnje energije elektrana za sopstvene potrebe.

Pouzdanost rada elektrana i kratak rok povraćaja investicionih troškova projektuju se primenom mešovite kompenzacije reaktivne snage, koja je pokazala mogućnost ostvarenja cilja smanjenja potrošnje prekomerne reaktivne energije i smanjenja gubitaka aktivne snage realizacijom na

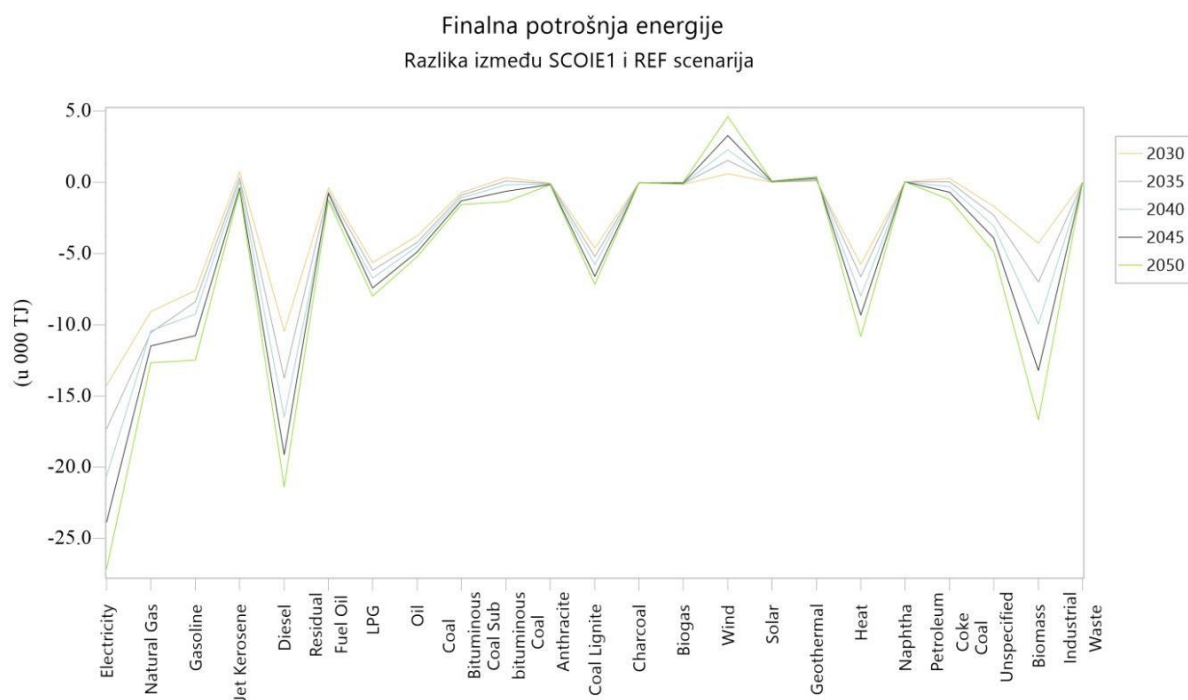
odgovarajućoj napojnoj mreži (Čupić et al., 2017). Fokus je na redukovanju upotrebe fosilnih goriva radi eliminisanja emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte. Tako, projektovana razlika u finalnoj potrošnji dizela 2025. godine za sve sektore potrošnje u okviru navedena dva scenarija iznosila bi 13,51%, dok bi razlika 2050. godine porasla na 30,3% (detaljno prikazano u prilogu broj 1). Dodatno, korišćenje prirodnog gasa smanjilo bi se za 29,12% u okviru SCOIE2 scenarija u poređenju sa REF scenarijom 2050. godine. Prednjači smanjenje korišćenja prirodnog gasa u okviru industrijskog sektora, za celih 24.335 TJ do poslednje godine projekcije. Pomenuta redukcija finalne potrošnje u SCOIE2 scenariju ima za cilj manju uvozu zavisnost sektora energetike Republike Srbije i rast opšte energetske bezbednosti države. To je veoma važno, uzimajući u obzir da se, između ostalog, transportni sistem prirodnog gasa prevashodno bazira na linijskom sistemu jednog ulaza u zemlju (Ministarstvo rudarstva i energetike, 2015).

Kreiranjem SCOIE2 scenarija nije se razmatralo potpuno redukovanje finalne potrošnje konvencionalnih goriva, već su analizirani potencijali maksimalnog korišćenja energetske efikasne tehnologije u skladu sa zadatim, postojećim ograničenjima energetskog sistema. Projekcijom kretanja finalne potrošnje energije razdvojena je potrošnja električne energije proizvedene ostalim vrstama goriva u odnosu na obnovljive izvore energije. Na taj način dobio se precizniji uvid u trend kretanja korišćenja održivih oblika energije, sa projekcijom rasta potrošnje najpre u sektoru industrije, a zatim i od strane domaćinstava i sektora saobraćaja. Najsporije promene u primeni efikasne OIE tehnologije prognoziraju se na kratak rok u sektoru saobraćaja (IEA, 2018), dok se na dugi rok anticipira njihov visok udeo u rastu potrošnje sektora, posebno kao posledica razvoja železničkog saobraćaja u Republici Srbiji.

Prema izveštaju o dekarbonizaciji energetskih sektora u Evropi, zemlje koje će imati najveći rast u proizvodnji i potrošnji obnovljivih izvora energije ujedno će imati i najveći pad upotrebe uglja u energetskom sektoru (Agora Energiewende & Sandbag, 2020). S obzirom da je u modelu preciziran visok nivo emisije štetnih gasova iz potrošnje vrsta uglja, poput ugljen-monoksida, postavkom SCOIE2 scenarija projektuje se usmeravanje potrošnje ka drugim oblicima energije.

Poželjno je i regulisanje energetskog menadžmenta zastupanjem kompanija koje pružaju energetske usluge (ESCO – *Energy Service Companies*), za koje su empirijski dokazane pozitivne implikacije na energetske politiku i doprinos značajnim uštedama energije u javnom i privatnom sektoru (Fang et al., 2012). Zbog tehničkih nemogućnosti one nisu uključene u model, međutim sama postavka alternativnih scenarija održivog razvoja energetike pruža mogućnost njihovog osnivanja. Poseban značaj dat je i investicijama u savremene tehnike sagorevanja gasovitih goriva, koje bi trebalo da redukuju emisiju štetnih gasova. Taj podatak je veoma bitan, jer godišnja stopa efikasnosti upotrebe energenata domaćinstava u poslednje vreme varira, pri čemu zemlje lideri u ovoj oblasti imaju uštede u potrošnji energije od prosečno 4% po kvadratnom metru na godišnjem nivou (IEA, 2022a).

Na osnovu pregleda zadatih parametara u okviru SCOIE2 scenarija, smatra se da bi se energija koristila na ekonomski racionalniji način uvođenjem nove opreme za proizvodnju energije i definisanjem kraćeg životnog veka rada elektrana koje koriste konvencionalna goriva, što je uneto u modelu. Efikasna energetska oprema i prateća ulaganja u prenosni sistem energije redukovala bi i gubitke u prenosu i distribuciji električne energije. Tako, predviđa se da će kod SCOIE2 scenarija ovi gubici 2050. godine biti manji za 12.726 TJ u poređenju sa referentnim scenarijom. Važna je i promena u energetske efikasnosti za korišćenje kvalitetnih materijala za građevinarstvo, gde se posledično u tom sektoru očekuje pad potrošnje od 600 TJ 2050. godine u odnosu na 2011. godinu.



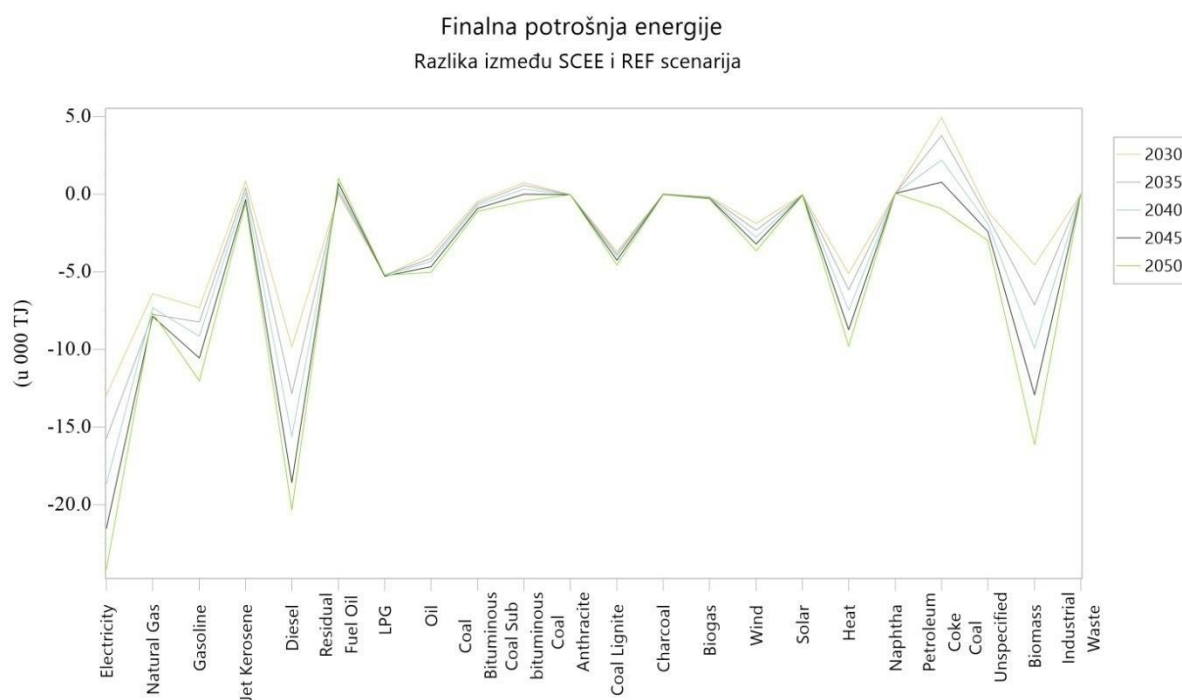
Slika 6.2: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije
(Poređenje SCOIE1 i REF scenarija – od 2030. godine, na svakih pet godina scenarija)

Izvor: Analiza autora

Poređenje projekcije rasta potrošnje između referentnog scenarija i SCOIE1 scenarija sa umerenim korišćenjem obnovljivih izvora energije, relevantno je sa aspekta analize alternativnih potencijalnih pravaca razvoja sektora energetike. Iako je modeliran slučaj nižeg stepena iskorišćenosti raspoloživih tehničkih kapaciteta OIE u odnosu na SCOIE2 scenario, može se očekivati pozitivan uticaj na opšti porast energetske efikasnosti sa aspekta finalne potrošnje energije. Međutim, kompleksnije pitanje za empirijsku analizu jeste da li bi usmerenje ka održivosti sektora energetike bilo dovoljno za očuvanje stabilnosti snabdevanja energentima i za celokupnu stabilnost energetskog sistema. To dosta zavisi od projektovane cene energenata, koja bi trebalo da se posmatra kao zaseban instrument energetske politike. U kreiranom LEAP modelu izostavljena je analiza dugoročne projekcije cena vrsta energije, jer se smatralo da nije mogla biti sprovedena sa adekvatnim stepenom izvesnosti. Konkretno, projekcija i komparacija ukupne finalne potrošnje energije sprovedena je uz pretpostavku nepostojanja energetskih „šokova“ i negativnih uticaja iz eksternog okruženja. Finalna potrošnja energije u SCOIE1 scenariju sagledana je kroz prizmu socijalne prihvatljivosti i racionalizacije potrošnje, a u skladu sa limitirajućim faktorima energetskih sistema.

Kod SCOIE1 scenarija došlo je takođe do značajnih strukturnih promena u okviru rezultata, s tim da je finalna potrošnja prirodnog gasa u svim sektorima potrošnje do 2050. godine smanjena za svega 11,49% u odnosu na REF scenario. S obzirom da nije dostignut nivo upotrebe raspoloživog tehničkog potencijala OIE kao kod SCOIE2 scenarija, finalna potrošnja uglja lignita bila bi redukovana za 7.189,5 TJ u odnosu na REF scenario za pomenutu godinu. Štaviše, SCOIE1 scenario prognozira blagi porast u potrošnji uglja lignita u poslednjih 5 godina scenarija, od 2,69%. Tendencija rasta očekivana bi bila i nakon poslednje projektovane godine, usled nemogućnosti potpune supstitucije konvencionalnih goriva obnovljivim izvorima energije. Sa druge strane, predviđa se da će se 2050. godine u okviru sektora saobraćaja koristiti 21.375 TJ manje dizela u odnosu na REF scenario.

Usledila bi i manja potrošnja bezolovnog, olovnog, avionskog benzina, kao i goriva za mlazne motore kerozinskog tipa.

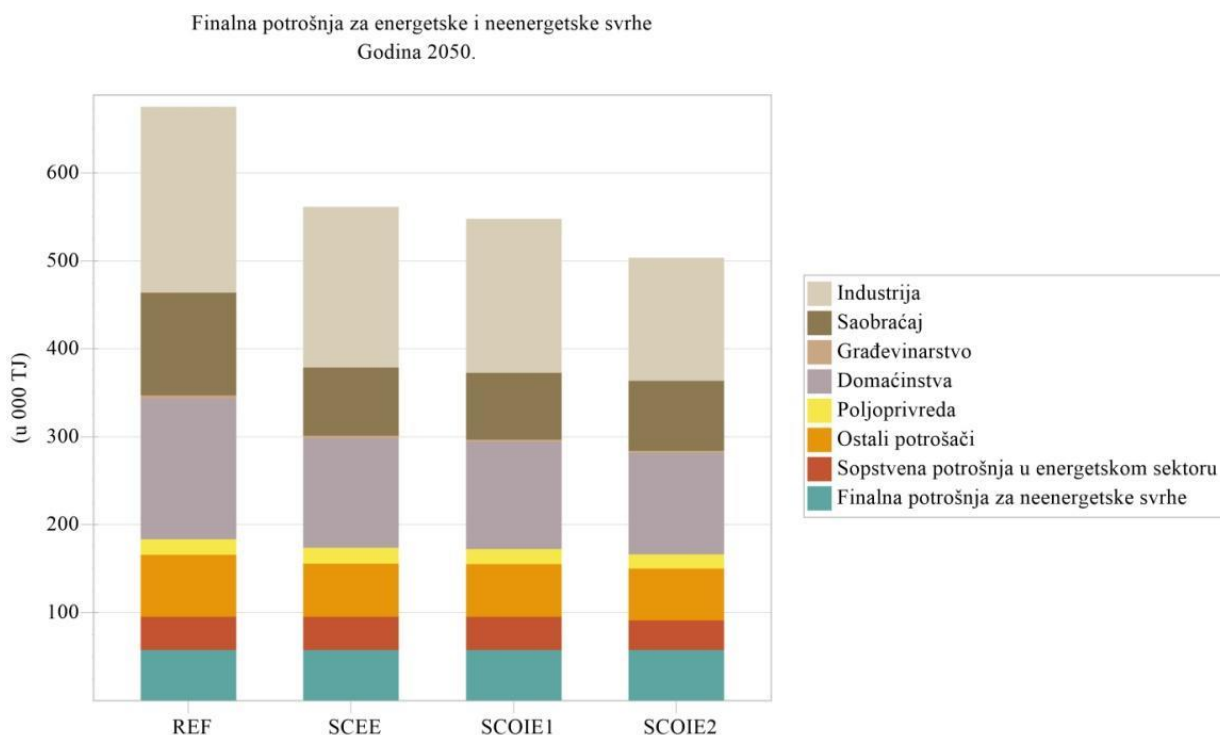


Slika 6.3: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije
(Poređenje SCEE i REF scenarija – od 2030. godine, za svakih pet godina scenarija)

Izvor: Analiza autora

Komparativna analiza finalne potrošnje energije za scenarije koje je država predstavila u poslednjem izveštaju o strategiji razvoja energetike prikazana je na slici broj 6.3. S obzirom da je za promociju korišćenja OIE cilj modela bio da se razviju dva nova SCOIE1 i SCOIE2 alternativna scenarija, logično je pretpostaviti da će najmanja razlika u finalnoj potrošnji energije u odnosu na trenutno stanje postojati kod REF i SCEE scenarija. Ta pretpostavka počiva na stavu da bi dva nova alternativna scenarija trebalo da služe za dodatno uvođenje održivih procesa upravljanja energetskim sistemima. Sa druge strane, važnost REF i SCEE scenarija izražena je i kroz postupak validacije modela. Sa njima se, kao takoreći „kontrolnim” scenarijima, vrši dodatna provera naučne opravdanosti parametara definisanog modela u pogledu finalne potrošnje energije. Shodno tome, dobijeni rezultati ukazuju na pozitivne promene do kojih bi dovelo realizovanje SCEE scenarija u poređenju sa sadašnjim pravcom razvoja energetike Republike Srbije.

Na osnovu projekcija, izraženo odstupanje nastalo bi na primeru potrošnje goriva poput dizela, za koji bi razlika u ukupnoj potrošnji najviše bila povećana u periodu od 2030. do 2035. godine, za celih 23,47%. Odstupanja su dobijena i za druge vrste goriva koje imaju visoku emisiju štetnih GHG gasova, a pritom se najviše koriste za potrebe sektora saobraćaja. To sugerise u kojoj meri bi bilo opasno zadržati nepromenjene tokove energije i ne uvesti mere održive mobilnosti u saobraćaju. Projektuje se i da će potrošnja električne energije kod REF scenarija biti za 15,44% veća u odnosu na SCEE scenario u 2050. godini. Pozitivan trend pada potrošnje dobijen je i za ugalj lignit, za koji bi u navedenoj godini potrošnja bila manja za 4574,5 TJ kod SCEE scenarija.



Slika 6.4: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2050. godinu

Izvor: Analiza autora

U okviru analize finalne potrošnje energije za energetske i neenergetske svrhe prikazano je poređenje sva četiri alternativna scenarija za poslednju godinu projekcije. Detaljan prikaz za ostale godine i vrste goriva nalazi se u prilogu broj jedan. Ilustracija pruža jasan uvid o nivou potrošnje energije po sektorima, gde je moguće izvesti određene zaključke o značaju potencijala upotrebe obnovljivih izvora energije i o značaju supstitucije stare opreme energetski efikasnim proizvodnim postrojenjima. Evidentno je da bi kapitalne investicije u OIE i adekvatni mehanizmi podrške doveli do rasta energetske efikasnosti u kontekstu smanjenja finalne potrošnje energije. To ne znači da bi do smanjenja finalne potrošnje došlo na štetu krajnjih potrošača, već je modelirana pretpostavka SCOIE1 i SCOIE2 scenarija realizacije svih istovetnih aktivnosti, ali na efikasniji način i upotrebom manje količine energije.

Na osnovu prikazane analize može se konstatovati da bi ostvarenjem potpuno nezavisno formiranih SCOIE1 i SCOIE2 scenarija došlo do smanjenja finalne potrošnje energije, uprkos ključnoj pretpostavki privrednog rasta tj. realnog rasta BDP-a od 4% godišnje, koja je viša u odnosu na realan rast BDP-a od 3% godišnje kod REF i SCEE scenarija. Posmatrajući potrošnju energije domaćinstava, portfolio novih opcija koje podstiču i kupovinu električne energije na slobodnom tržištu, zastupanje instalacije solarnih panela na zemlji i objektima, praćenje zelene agende u sektoru saobraćaja, redukovanje veka trajanja opreme postojećih elektrana i mnoge druge unete podatke, može se konstatovati da bi se napori u cilju promocije održivog razvoja energetike reflektovali kroz efekte ekonomske isplativosti smanjenja finalne potrošnje energije. Posmatranjem svih unetih funkcija za alternativne scenarije kod kojih je došlo do većih promena u obrascu potrošnje energije može se zaključiti da je to posledica poboljšanja energetske efikasnosti u svim sektorima potrošnje energije. Drugim rečima, dokazano je da su, sa zadovoljavajućim nivoom pouzdanosti, ispunjeni uslovi za potvrdu prve i druge istraživačke hipoteze kod prvog pokazatelja ispitivanja poboljšanja energetske efikasnosti.

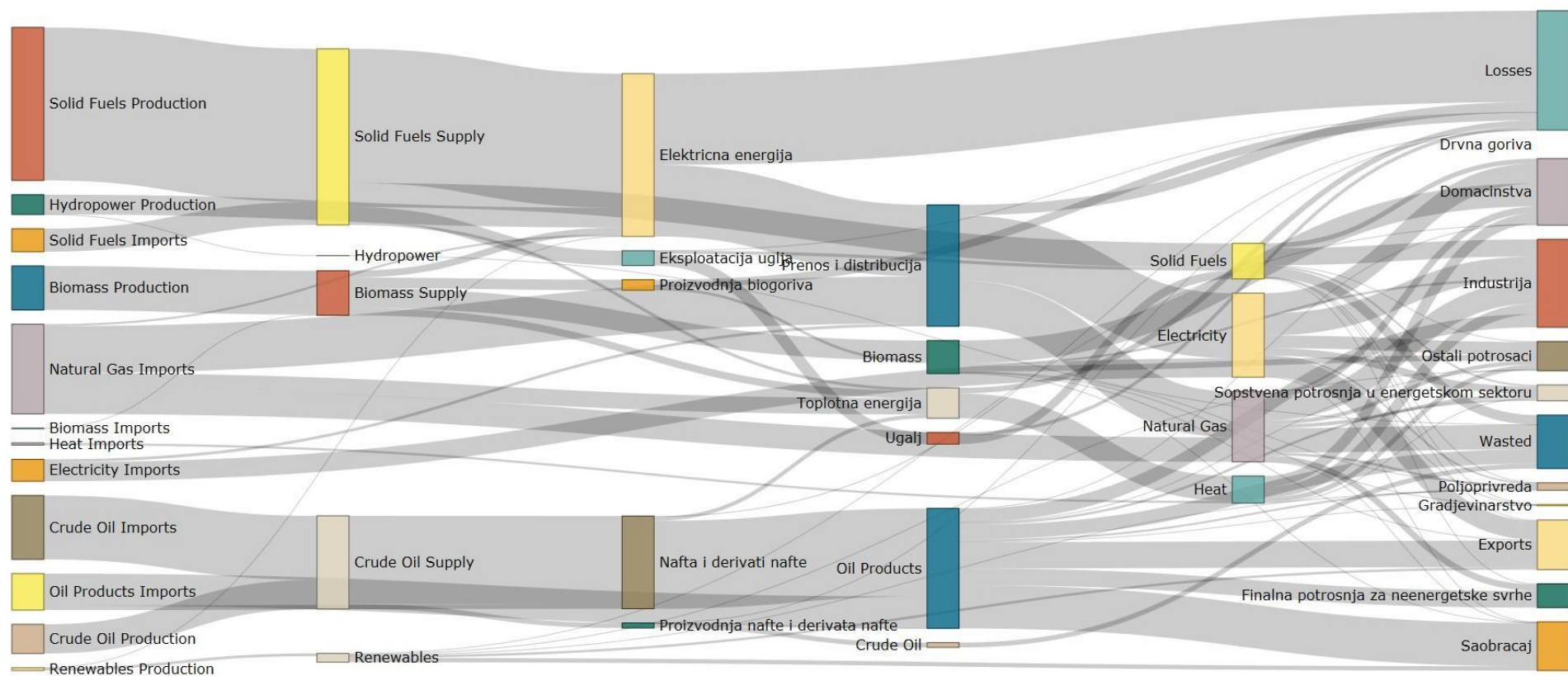
6.2 Simulacija energetskega toka uporabo Sankijevog dijagrama

Kako bi se pratio tok energije sa visokim stepenom efikasnosti i poboljšale očekivane performanse energetskega sistema razvijen je Sankijev dijagram na primeru Republike Srbije za sva četiri alternativna scenarija. Sankijev dijagram se uobičajeno koristi za vizuelan prikaz kvantitativnih informacija o energetskim tokovima i materijalima u okviru sistema, procesa ili mreže različitih energetskih sistema (Riehmman et al., 2005). Na taj način oni mogu ilustrovati složenost sistema, pri čemu su širina i brzina protoka energije proporcionalni. Dok ukupna širina ulaza i izlaza dijagrama mora biti ista, deo koji se odnosi na izlaz ka jednom obliku energije predstavlja njen procentualni udeo u ukupnom protoku. Dakle, tok se širi ili sužava na osnovu količine energije koja se ilustruje. Bitno je istaći da ova vrsta dijagrama predstavlja korisno sredstvo za identifikovanje potencijalne uštede energije na nacionalnom nivou i za ukazivanje na eventualne neefikasne procese koji su nastali ili do kojih može doći (Soundararajan et al., 2014).

Uz pomoć dijagrama se mogu lakše pratiti kompleksni tokovi energije, što je preko potrebno za dugoročnu projekciju razvoja elektroenergetskog sistema. O značaju Sanki dijagrama za energetiku govori i podatak da ih Međunarodna agencija za energetiku zvanično koristi od 2013. godine kako bi prikazala energetske bilanse na globalnom nivou (IEA, 2019). Zbog potreba projekcije, u nastavku su prikazani Sankijevi dijagrami za alternativne scenarije za poslednju posmatranu godinu scenarija.

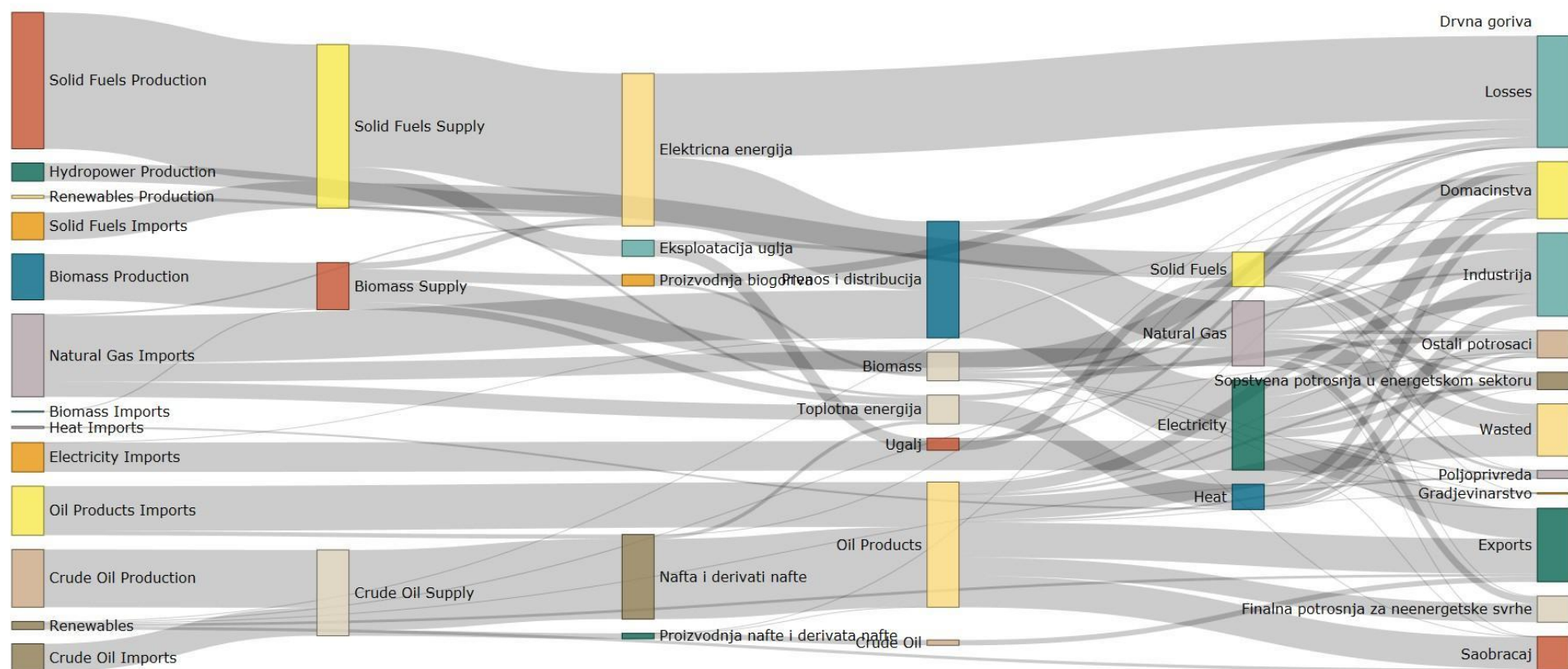
Za REF, SCEE i SCOIE1 scenarije prikazan je Sanki dijagram razvijen po klasifikaciji goriva po grupi i po sektoru potrošnje energije. Sa druge strane, za SCOIE2 scenario Sanki dijagram je formatiran za sve vrste goriva i za protok po sektoru potrošnje energije. Dijagram je na taj način dizajniran iz dva razloga:

1. kako bi se ilustrovala sva kompleksnost dijagrama i pokazale različite mogućnosti koje ovaj pristup pruža,
2. kako bi se detaljno opisao tok energije za sve vrste goriva u okviru scenarija, čime bi se pratile najveće izmene u odnosu na referentni scenario.



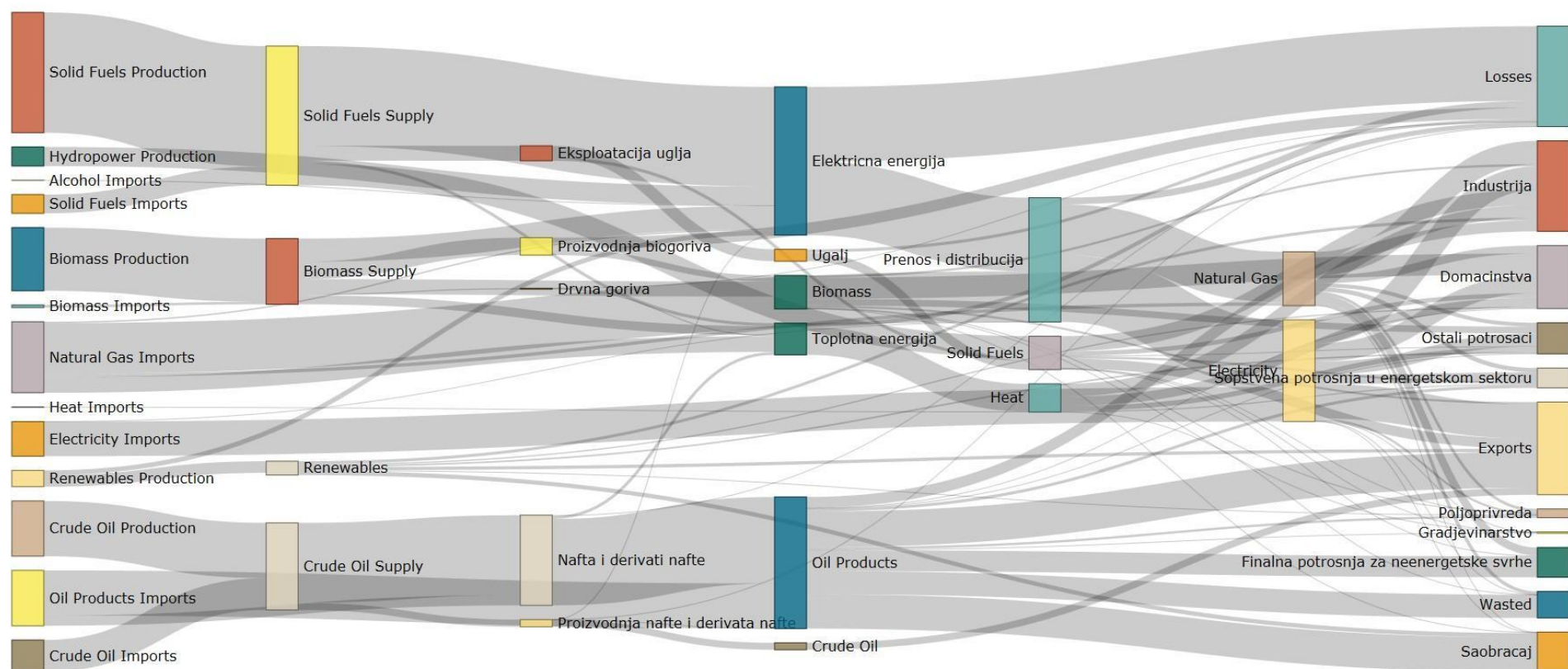
Slika 6.5: Sankijev dijagram za REF scenario energetskog sektora Republike Srbije za 2050. godinu
(opcija razvrstavanja goriva po grupi i po sektoru potrošnje energije)

Izvor: Analiza autora



Slika 6.6: Sankijev dijagram za SCEE scenario energetskog sektora Republike Srbije za 2050. godinu
(opcija razvrstavanja goriva po grupi i po sektoru potrošnje energije)

Izvor: Analiza autora



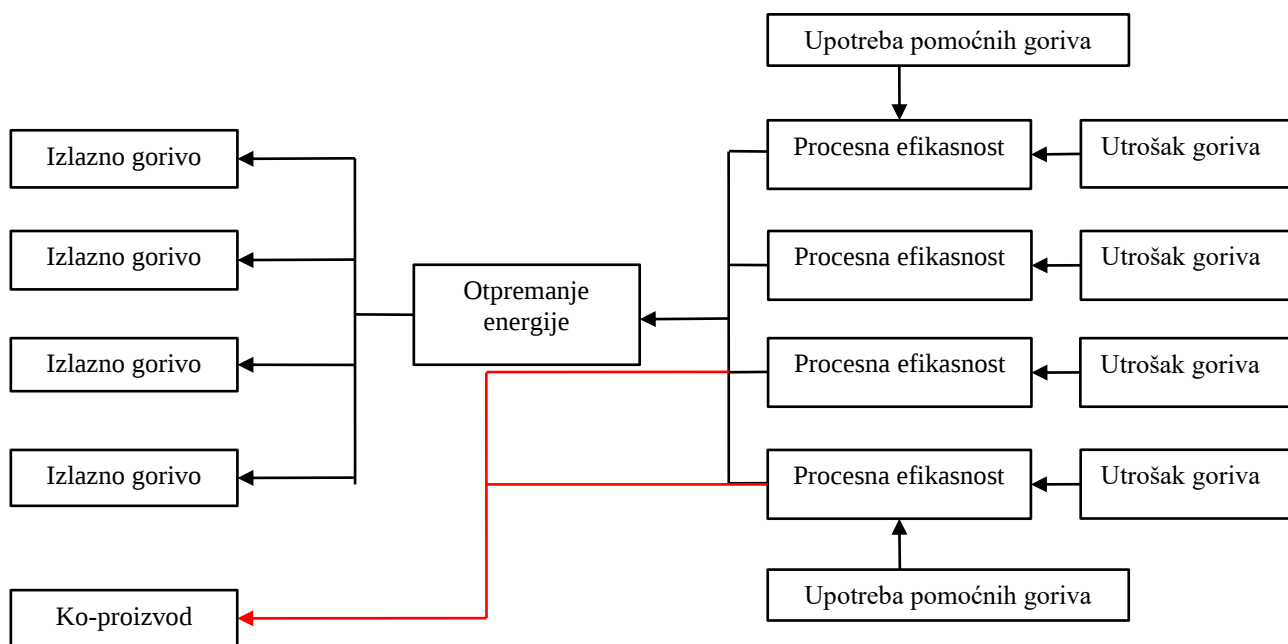
Slika 6.7: Sankijev dijagram za SCOIE1 scenario energetskog sektora Republike Srbije za 2050. godinu
(opcija razvrstavanja goriva po grupi i po sektoru potrošnje energije)

Izvor: Analiza autora

6.3 Proizvodnja energije transformacijom

Projekcija proizvodnje energije transformacijom u okviru LEAP modela kompleksna je sa aspekta ponuđenih rešenja za modeliranje procesnih pretpostavki za brojne parametre. S obzirom da je u pitanju *bottom-up* pristup kreiranju scenarija, poželjno je uneti sve dostupne podatke o egzogenom i endogenom kapacitetu elektrana, zajedno sa pravilima prioriteta otpremanja vrsta energije. Veoma je važno i pozicioniranje kategorija transformacije, jer u suprotnom može doći do potpuno drugačijih, nedoslednih rezultata. Za model kalkulacije prva obračunata podkategorija su potencijalni gubici prilikom transmisije i distribucije energije, nakon čega sledi kategorija proizvodnje električne energije transformacijom. Time se daje mogućnost modelu da ukalkuliše gubitke metodologijom odozdo ka nagore i da se izvrši procena potrebe za korišćenjem unetih kapaciteta elektrana.

Kako bi model precizno prikazao trenutno stanje energetskog sistema, a time i realističnu projekciju daljeg razvoja energetike, proizvodnja energije transformacijom definisana je na osnovu istorijske proizvodnje prema podacima iz godine koja prethodi baznoj godini scenarija, to jest iz 2010. godine (u modelu parametar: *Historical Production*). U cilju adaptacije kompleksnijim energetskim sistemima, modul transformacije u okviru LEAP-a omogućava proračun i na bazi povratnih informacija o protoku energije (Heaps, 2022). Tako, model može ukalkulisati podatak da elektrana koristi deo proizvedene energije za sopstvenu potrošnju. Prilagođavanjem sistema kroz više iteracija odgovara se na potrebe po pitanju neispunjenih zahteva za energijom od uzvodnih – *upstream* energetskih tokova.



Slika 6.9: Šematski prikaz standardnog procesa proizvodnje energije transformacijom u LEAP modelu

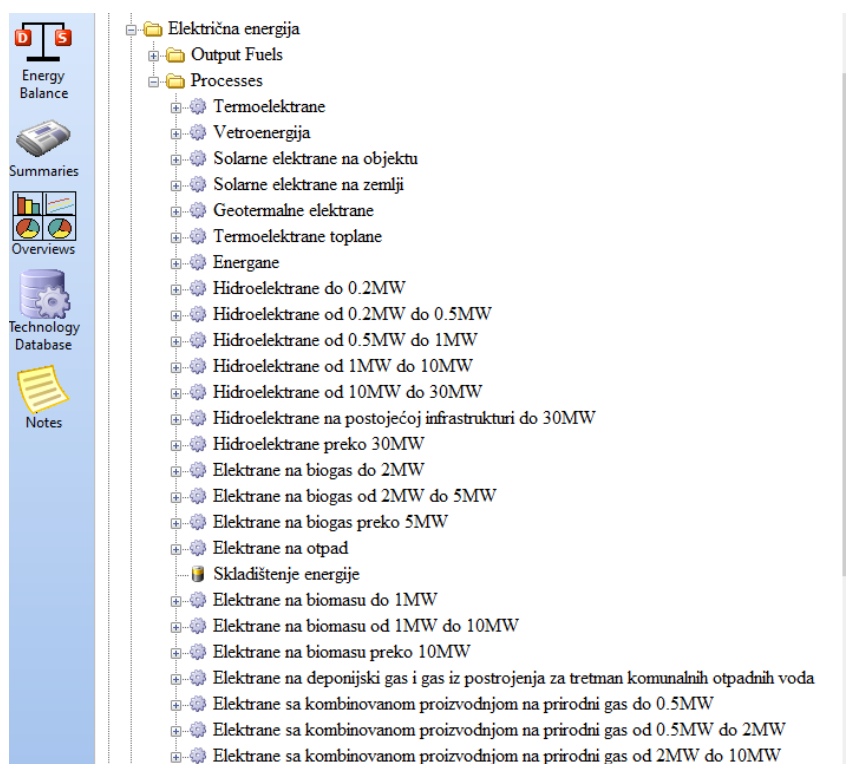
Izvor: (Heaps, 2022)

Za proces simulacije od 2011. godine model koristi pravilo otpremanja energije, stoga je sam značaj postavke tih pravila pojašnjen u posebnom odeljku rada. Opcija unosa procentualnog učešća rada tipa elektrane odabrana je kod SCOIE2 scenarija, u kome se definiše pravilo da termoelektrane ne mogu učestvovati sa više od 60,5%, to jest 58,2% za proizvodnju električne energije transformacijom za 2025. i 2050. godinu, respektivno.

Gornja granica učešća termoelektrana je proračunata u okviru modela na bazi očekivanog životnog veka rada elektrana i na osnovu procesne efikasnosti elektrana. To je učinjeno kako bi se podstakla proizvodnja iz oblika energije koji imaju manju emisiju GHG gasova.

Analiza proizvodnje energije transformacijom zahteva opsežno testiranje modela, kako bi se projektovao realističan tok daljeg razvoja sektora energetike. Kategorija sadrži mogućnost unosa celovitih podataka o projekciji kretanja ukupnih troškova elektrana, zatim kapitalnih, varijabilnih, istorijskih troškova, preostale otplate obaveza po osnovu kredita i mnoge druge, međusobno povezane ekonomske promenljive. Ispitana je i makroekonomska efikasnost proizvodnje energije transformacijom kroz definisanje dodatnih, endogenih kapaciteta koji bi trebalo da uvećaju izvozno usmerenje i da podstaknu opšti zaokret u korist rasta investicija u energetske sektor (Sievers et al., 2019). Očigledan je i uticaj na tehnološki razvoj zemlje kroz revitalizaciju postojećih sistema proizvodnje i kroz uvođenje savremenih energetskih sistema, poput programa kogeneracije (CHP – *Combined Heat and Power*). Time je svakako smanjeno opterećenje sa aspekta uvoza energenata.

Do optimalnog rešenja za kreiranje četiri alternativna scenarija došlo se nakon obavljenih 143 testa različito podešenih parametara u okviru proizvodnje energije transformacijom i to uz osvrt na: (1) pravilu otpremanja energije, (2) procesnim efikasnostima elektrana, (3) procentualnom učešću elektrana, (4) maksimalnoj dostupnosti kapaciteta, (5) *merit-order* efektu. Pošto nije moguće prikazati celu kategoriju padajućeg menija u okviru formata pisanog rada, u nastavku je predstavljen odeljak koji se odnosi samo na procese za električnu energiju dobijenu transformacijom.



Slika 6.10: Prikaz dela kategorije proizvodnje energije transformacijom – LEAP model

Izvor: Model kreiran od strane autora, u okviru (Heaps, 2022)

Na osnovu navedenog modela, dobijeni su rezultati za projekciju proizvodnje energije transformacijom za četiri alternativna scenarija. Radi jasnijeg prikaza rezultata, istaknute su relevantne buduće projekcije modela sa navođenjem perioda počev od 2025. godine i dalje za petogodišnji period u kome se očekuju značajnije strateške promene u sektoru energetike.

Za REF referentni scenario i SCEE scenario sa državnim merama energetske efikasnosti usvojena je pretpostavka da se proizvodnja energije transformacijom vrsta uglja neće menjati u odnosu na 2030., poslednju godinu projekcije iz izveštaja o strategiji energetike Republike Srbije. Data pretpostavka je kroz testiranje modela pokazala najbolje rezultate, s obzirom na okvir metode kalkulacije koju obavlja LEAP. Time se pažnja kod pomenuta dva scenarija usmerila ka korekciji kretanja ostalih kategorija transformacije, kako bi se obezbedila preciznost ukupne projekcije. Dodatne promene u okviru navedene podkategorije opteretile bi kalkulaciju i onemogućile realan prikaz transformacije energije, čime bi se ujedno poremetila projekcija primarne proizvodnje energije od uglja.

Za ostale kategorije transformacije energije predviđa se nešto sporiji rast proizvodnje u odnosu na podatke za vremenski period do 2030. godine, kao što je to primer sa proizvodnjom energije transformacijom nafte i derivata nafte, gde se anticipira sporiji porast za 0,08%, korigovan prema novonastalim kretanjima u sektoru energetike i prema kašnjenju u realizaciji strategija energetike. Pored navedenog, referentni scenario ukazuje i na rast vrednosti raspoložive električne energije transformacijom, s tim da i dalje dominiraju goriva sa velikim potencijalom zagađenja životne sredine. Model pokazuje da bi uneti zvanični podaci o planiranim kapitalnim investicijama iz oblasti energetike mogli pozitivno da utiču na relativno nisku procesnu efikasnost termoelektrana i termoelektrana-toplana, čija maksimalna dostupnost za rad uglavnom prelazi 80%.

Problem za dugoročnu održivost energetskeg sistema u okviru REF scenarija može biti i to što termoelektrane iziskuju veliku potrošnju električne energije za kontinuirani rad, što je u modelu uneto u okviru odeljka sopstvene potrošnje u energetskom sektoru. Ne bi trebalo zaboraviti i da se oko 92% potrošnje uglja odnosi na njegovu upotrebu kao ulaznog goriva za transformaciju energije u okviru termoelektrana (Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, 2015). I ostala goriva koja se koriste za proces transformacije u termoelektranama, poput sub-bitumenoznog uglja, imaju visoku emisiju GHG gasova. Sve emisije štetnih gasova su razmotrene u odeljku koji sledi i unete su u LEAP model. Kod REF scenarija projektovan je i rast proizvodnje toplotne energije transformacijom, s tim da ona može dodatno opteretiti uvozu stranu sektora energetike, jer dominira prirodni gas kao korišćeno gorivo za transformacioni proces. Rizik korišćenja fosilnih goriva ogleda se i u tome što se njihov sadržaj štetnih supstanci kalkuliše u LEAP modelu za dobijanje sveukupne energetske efikasnosti sistema (Kumar & Madlener, 2016).

Tabela 6.3: Proizvodnja energije transformacijom REF scenario (u 1000 ten)

Godina	Nafta i derivati nafte	Toplotna energija	Električna energija	Ugalj
2050	5,270.1	1,428.2	4,111.2	474.0
2049	5,201.2	1,408.0	4,072.9	474.0
2048	5,132.3	1,387.9	4,034.7	474.0
2047	5,063.5	1,366.9	3,996.6	474.0
2046	4,994.6	1,345.7	3,958.5	474.0
2045	4,925.7	1,324.6	3,920.5	474.0
2044	4,861.4	1,303.9	3,886.1	474.0
2043	4,797.1	1,283.2	3,851.8	474.0
2042	4,732.8	1,262.5	3,817.5	474.0
2041	4,668.5	1,241.8	3,783.3	474.0
2040	4,604.1	1,221.1	3,749.1	474.0
2039	4,544.0	1,203.4	3,714.1	474.0
2038	4,483.8	1,185.6	3,679.2	474.0
2037	4,423.7	1,167.2	3,644.3	474.0
2036	4,363.5	1,148.8	3,609.4	474.0
2035	4,303.3	1,130.5	3,573.6	474.0
2034	4,255.6	1,119.9	3,542.0	474.0
2033	4,207.9	1,109.3	3,510.4	474.0
2032	4,160.3	1,098.7	3,478.7	474.0
2031	4,112.6	1,088.1	3,446.9	474.0
2030	4,064.9	1,077.6	3,415.1	474.0
2029	4,010.9	1,057.5	3,373.3	474.0
2028	3,956.9	1,037.5	3,331.2	474.0
2027	3,902.9	1,017.5	3,289.0	474.0
2026	3,848.9	997.6	3,246.5	474.0
2025	3,794.9	977.7	3,203.9	474.0

Izvor: Analiza autora

Posmatrajući projekcije SCEE scenarija sa državnim merama energetske efikasnosti, uočljivo je smanjenje proizvodnje energije transformacijom u odnosu na REF scenario, uz uvođenje strukturnih promena kod izvora korišćene energije i egzogenih kapaciteta elektrana. Shodno tome, smanjenje proizvodnje u ovom slučaju posmatra se iz ugla rasta energetske efikasnosti, ako se uzme u obzir implementacija novih strategija modernizacije energetske mreže i objekata elektrana. Veće oslanjanje na proizvodnju iz zapostavljenih izvora energije u REF scenariju, kao što je to primer sa solarnom energijom, doprineće jačanju energetske bezbednosti i usaglašavanju sa Zakonom o efikasnom korišćenju energije (Zakon o efikasnom korišćenju energije, 2013).

Predviđa se da bi procesna efikasnost u 2050. godini za termoelektrane-toplane bila 77,24% za SCEE scenario, manja u odnosu na efikasnost od 82,23% kod REF scenarija. To se može objasniti preusmeravanjem fokusa na obnovljive izvore energije i na pratećim investicijama u razvoj novih tehnologija tako da obim predloženih investicija ne bi mogao zadovoljiti potrebe i alternativnih i tradicionalnih izvora energije.

Elektrane na biogas bi se takođe više koristile za proizvodnju energije transformacijom u SCEE scenariju, za 4.500 tona ekvivalentne nafte iznad projektovanog nivoa korišćenja kod REF scenarija.

U slučaju SCEE scenarija zapažene su strukturne promene u upotrebi tehnologija obnovljivih izvora energije, ali potencijalno nedovoljne u kontekstu zamene sirove nafte i ostalih korišćenih vrsta uglja za procese transformacije energije.

Tabela 6.4: Proizvodnja energije transformacijom SCEE scenario (u 1000 ten)

Godina	Nafta i derivati nafte	Toplotna energija	Električna energija	Ugalj
2050	4,377.3	1,218.5	3,599.1	443.0
2049	4,357.1	1,202.9	3,578.1	443.0
2048	4,336.9	1,186.5	3,557.0	443.0
2047	4,316.8	1,170.1	3,536.0	443.0
2046	4,296.6	1,153.7	3,515.1	443.0
2045	4,276.4	1,137.3	3,494.2	443.0
2044	4,220.5	1,121.5	3,475.7	443.0
2043	4,164.7	1,105.8	3,457.2	443.0
2042	4,108.9	1,090.0	3,438.8	443.0
2041	4,053.0	1,074.2	3,420.4	443.0
2040	3,997.2	1,057.6	3,402.1	443.0
2039	3,944.9	1,044.5	3,386.0	443.0
2038	3,892.7	1,031.3	3,369.9	443.0
2037	3,840.4	1,018.2	3,353.8	443.0
2036	3,788.1	1,005.1	3,337.8	443.0
2035	3,735.9	992.0	3,320.6	443.0
2034	3,694.5	985.1	3,299.0	443.0
2033	3,653.1	978.1	3,277.5	443.0
2032	3,611.7	971.2	3,256.1	443.0
2031	3,570.4	964.3	3,234.8	443.0
2030	3,529.0	957.3	3,213.5	443.0
2029	3,498.2	941.3	3,184.8	443.0
2028	3,467.3	925.3	3,156.1	443.0
2027	3,436.5	909.3	3,127.3	443.0
2026	3,405.7	893.2	3,098.4	443.0
2025	3,374.9	877.2	3,069.5	443.0

Izvor: Analiza autora

Multidisciplinarnost proizvodnje energije transformacijom čini je izazovnom za analizu i projekciju, posebno u smislu uspostavljanja stabilnog sistema snabdevanja energijom. SCOIE1 scenario predstavlja postepeno redukovanje angažovanja sistema na bazi naftnih derivata, te se ta razlika u odnosu na REF scenario povećava sa 372,3 hiljade tona ekvivalentne nafte 2025. godine na 1,155 miliona tona ekvivalentne nafte 2050. godine.

Napomena je da se procentualne promene odnose na period počev od 2025. godine i na odnosu ukupnih vrednosti u posmatranom vremenskom rasponu. Svakako bi procentualne promene bile znatno veće između ovih scenarija i referentnog scenarija kada bi se posmatrala cela simulacija u odnosu na baznu 2011. godinu.

Tabela 6.5: Proizvodnja energije transformacijom – SCOIE1 scenario (u 1000 ten)

Godina	Drvena goriva	Nafta i derivati nafte	Toplotna energija	Električna energija	Ugalj
2050	51.7	4,115.1	1,278.8	3,394.1	407.7
2049	51.7	4,088.6	1,261.4	3,382.1	406.6
2048	51.7	4,062.0	1,244.0	3,370.1	405.5
2047	51.7	4,035.5	1,226.7	3,358.1	404.4
2046	51.6	4,008.9	1,209.3	3,346.1	403.3
2045	51.6	3,982.4	1,191.3	3,334.0	402.2
2044	51.6	3,931.7	1,171.8	3,322.6	401.1
2043	51.5	3,881.0	1,152.3	3,311.2	400.0
2042	51.5	3,830.3	1,132.8	3,299.8	398.9
2041	51.5	3,779.6	1,113.3	3,288.3	397.8
2040	51.4	3,729.0	1,092.2	3,276.8	396.7
2039	51.4	3,695.7	1,077.1	3,267.8	395.6
2038	51.4	3,662.5	1,061.9	3,258.7	394.6
2037	51.3	3,629.2	1,046.8	3,249.5	393.5
2036	51.3	3,595.9	1,031.6	3,240.4	392.4
2035	51.3	3,562.7	1,016.5	3,231.3	391.3
2034	51.2	3,540.3	1,007.3	3,223.5	390.2
2033	51.2	3,517.8	998.1	3,215.7	389.1
2032	51.2	3,495.4	988.9	3,207.9	388.0
2031	51.2	3,472.9	979.8	3,195.4	386.9
2030	51.1	3,450.5	970.6	3,180.6	385.8
2029	51.1	3,444.9	955.3	3,151.7	391.1
2028	51.1	3,439.4	940.0	3,122.8	396.4
2027	51.0	3,433.8	924.8	3,093.8	401.7
2026	51.0	3,428.2	909.5	3,064.8	407.1
2025	51.0	3,422.6	894.2	224.3	691.0

Izvor: Analiza autora

U nastavku je dat uporedni grafički prikaz kretanja procentualno izražene razlike u proizvodnji energije transformacijom između REF i SCOIE1 scenarija, kao i između REF i SCOIE2 scenarija (pun kapacitet OIE) za period od 2030. do 2050. godine. Projekcije pokazuju daleko veće korišćenje drvnih goriva kod SCOIE2 scenarija u odnosu na SCOIE1 scenario, a posebno za proizvodnju drvnih peleta i drvnih briketa. Fokus je na uspostavljanju tržišta od drvne i poljoprivredne biomase radi veće konkurentnosti proizvođača iz ove oblasti. Ekonomskom analizom ustanovljeno je da bi potencijalni projekti biomase imali visok stepen ekonomičnosti, rentabilnosti i akumulativnosti u Republici Srbiji (UNDP, 2012).

Proizvodnja energije transformacijom drvnih peleta odgovarajuća je i u kontekstu stepena iskorišćenosti kapaciteta, koji može iznositi i više od 90% (Kayo et al., 2014). Promena težišta od upotrebe konvencionalnih goriva ka korišćenju obnovljivih izvora energije i specifičnih bio-goriva dugotrajan je proces. U skladu sa tim, na osnovu rezultata modela je ukazano da će vrlo verovatno izostati potpuna energetska tranzicija ka „čistoj“ energiji u domenu transformacije za posmatrani, relativno kratak vremenski period do 2050. godine.

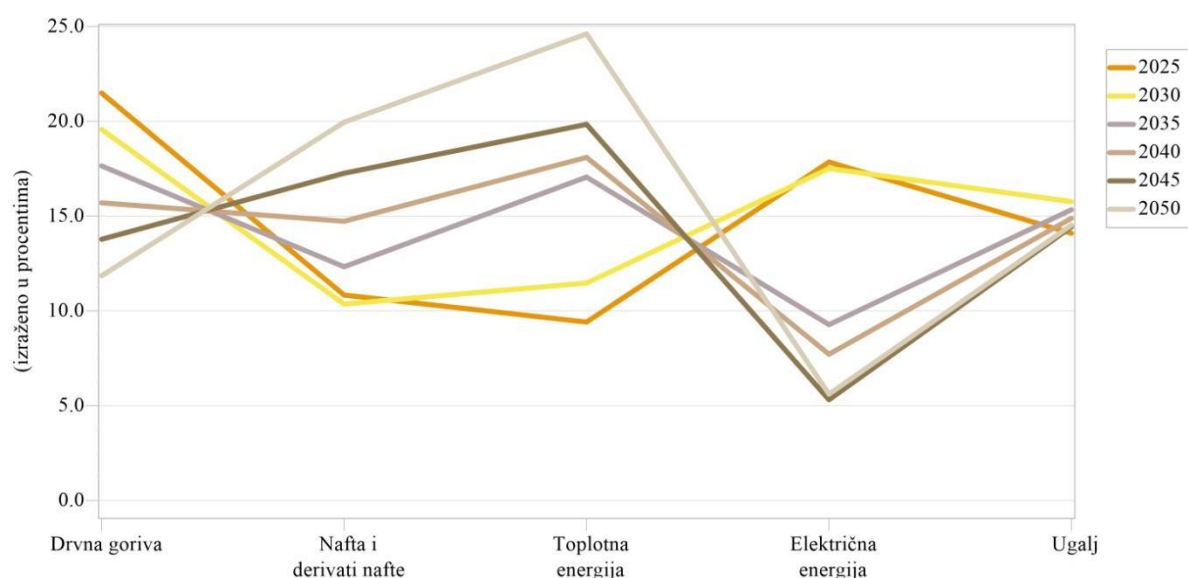
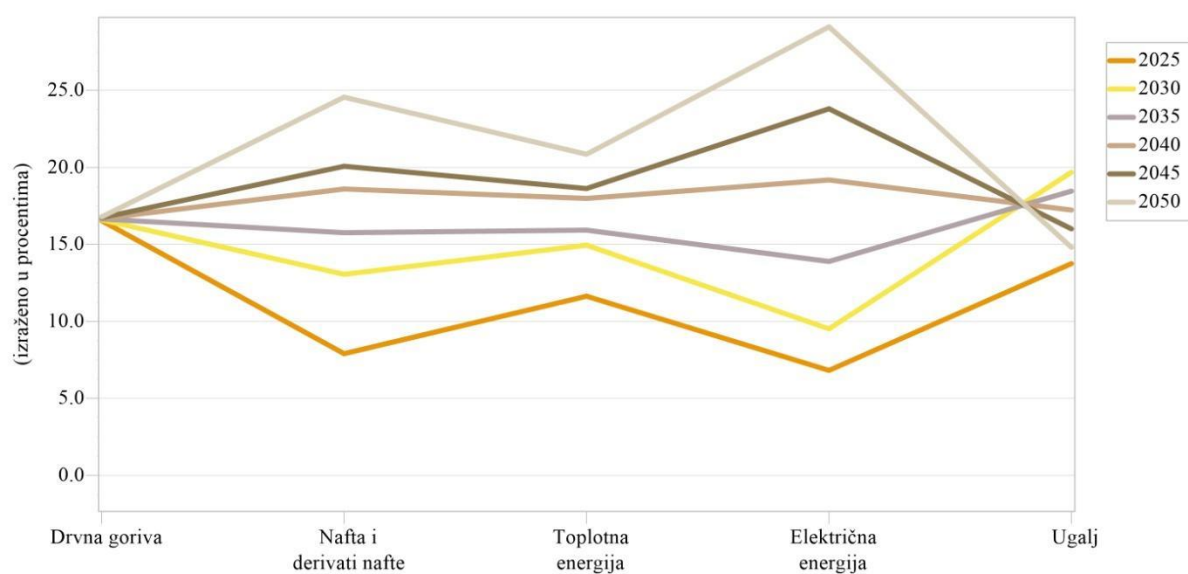
Angažovanje punog kapaciteta nove opreme OIE i povlačenje iz upotrebe velikih neefikasnih sistema zahtevalo bi obimne kapitalne investicije i promenu paradigme trenutnog poslovanja energetske kompanije. Potencijalno smanjenje energetske izvoru može dovesti i do smanjenja ukupnih robnih rezervi države, gde bi se nepreciznom implementacijom strategije obnovljivih izvora energije dodatno produbio problem uvoza električne energije i opteretio budžet države. Prema analizi Fiskalnog saveta, nedostatak procene fiskalnih rizika i kvantifikacije troškova ponovo može doprineti pokrivanju troškova iz kredita, kao što je to trenutni slučaj sa određenim javnim preduzećima energetske sektora (Fiskalni savet Republike Srbije, 2022). Rizik se sastoji i u pojavi komplementarnosti energenata, čime bi se naglim ukidanjem upotrebe jednog izvora mogla indirektno naneti šteta novim proizvodnim postrojenjima.

SCOIE2 scenario prikazuje tendenciju maksimalne redukcije proizvodnje energije transformacijom nafte, te je tako dostignut nivo proizvodnje od svega 2583,6 hiljada tona ekvivalentne nafte iz ovog izvora do poslednje godine simulacije. Scenario projektuje da bi se potencijalni nedostaci transformirane energije od nafte nadomestili novim postrojenjima proizvodnje biogoriva. Važna je i kombinovana proizvodnja toplotne i električne energije u okviru savremenih CHP (na engleskom jeziku *Combined Heat and Power*) postrojenja, koja je takođe uključena u okviru scenarija, zajedno sa povezanim podsticajnim otkupnim cenama. Udeo ko-generacijskih postrojenja trenutno je zanemarljiv u Republici Srbiji (Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, 2015) te stoga modeliranje navedenog scenarija nastoji da koriguje te nedostatke.

Iz priloženog se vidi da bi u okviru SCOIE1 scenarija bila realizovana proizvodnja električne energije usporenog rasta u odnosu na REF i SCOIE2 scenarije. Konkretno, kada se SCOIE1 poredi sa REF scenarijom, do te projekcije bi došlo jer je modelovana pretpostavka poboljšanja energetske efikasnosti, te bi finalna potrošnja energije i potrošnja električne energije u elektranama bile niže. Mada iste pretpostavke postoje i kod SCOIE2 scenarija, modeliranjem se dodaje i faktor izvozne orijentisanosti scenarija (na engleskom jeziku *export-driven*) tako da bi se u tom slučaju prevazišle potrebe domaćeg tržišta za energijom.

Što se tiče proizvodnje toplotne energije transformacijom, grafički prikaz pokazuje razlike koje deluju znatno veće od iskazanih apsolutnih vrednosti, s obzirom da će fokus biti usmeren na novim tehnologijama u kategoriji električne energije. Tako, prema SCOIE2 scenariju za 2050. godinu se projektuje proizvodnja toplotne energije transformacijom u iznosu od 51.140 TJ, što je niže u odnosu na očekivanih 53.541 TJ za SCOIE1 scenario i 59.796 TJ za REF scenario. Značajno je i istraživanje procesne efikasnosti elektrana za posmatranu transformaciju energije. Tako, kod SCOIE2 scenarija je uočena ušteda prirodnog gasa kao inputa elektrana od 14.643 TJ u poređenju sa REF scenarijom. Razliku model pokazuje i na primeru SCOIE1 scenarija, te je pomenuta vrednost manja za 8.806 TJ u odnosu na REF scenario. U SCOIE1 i SCOIE2 scenarijima prve veće uštede u korišćenju prirodnog gasa za proizvodnju toplotne energije transformacijom projektovane su za 2036. godinu i 2041. godinu, respektivno (uštede koje premašuju 5.000 TJ u odnosu na REF scenario).

Pored navedenog, za 2050. godinu model pokazuje smanjenje razlike između utroška za proizvodnju energije i ukupno proizvedene energije transformacijom sa projektovanih 286.803 TJ za REF scenario na 158.999 TJ kod SCOIE2 scenarija. Visok intenzitet promena je posebno primetan kod SCOIE2 scenarija u periodu između 2033. i 2044. godine, što se može videti u prilogu disertacije prema podacima iz energetske bilansa. U narednom prikazu kategorija „Ugalj“ ne odnosi se na korišćenje uglja kao utroška za proizvodnju energije, već na output transformacije energije dobijen od visokih peći i prerade uglja.



Slika 6.11: Usporedni prikaz projekcije proizvodnje energije transformacijom za svakih pet godina simulacije

Scenariji: REF u odnosu na SCOIE1 (gornji prikaz), REF u odnosu na SCOIE2 (donji prikaz)

Izvor: Analiza autora

Na osnovu SCOIE2 scenarija, simulacijom se pretpostavlja da bi povoljan ambijent za ulaganja i dugoročan stabilan odnos povlašćenih proizvođača sa javnim preduzećima rasteretio kategoriju proizvodnje energije transformacijom toplotne energije, koja je veliki zagađivač životne sredine. To je takođe bitno i sa aspekta ekonomskih doprinosa analize, s obzirom da ova kategorija ujedno povlači

i visoke varijabilne troškove proizvodnje energije. Jedan od glavnih ciljeva modeliranja opcije korišćenja punih kapaciteta obnovljivih izvora energije u okviru SCOIE2 scenarija jeste orijentacija ka povećanju transformacije iz električne energije kao pokretaču ekonomskog rasta. Iako uloga električne energije u ekonomskom razvoju i uzročno-posledičan odnos nisu u potpunosti ispitani analizama vremenskih serija, sasvim je jasno da veća upotreba električne energije ima visok stepen korelacije sa pozitivnim trendom kretanja BDP-a (Stern et al., 2019). Na osnovu svih iznetih detalja o rezultatima u vezi projekcije transformacije energije, opravdano je reći da su potvrđene prva i druga istraživačka hipoteza za pomenuti, drugi pokazatelj o energetskej efikasnosti.

Kako bi se postigla optimalna kombinacija goriva i postepenog uvođenja OIE u proces proizvodnje energije transformacijom, potrebni su povoljni ekonomski uslovi za rad elektrana. Informacije koje zabrinjavaju tiču se velikih dugovanja i zaostalih potraživanja javnih preduzeća energetskeg sektora za plaćanje energije povlašćenim proizvođačima električne energije (Vlaović, 2022), s obzirom da je zaštita životne sredine jedna od prioritarnih strategija javnog preduzeća „Elektroprivreda Srbije“.

Planiranje i razvoj JP EPS-a posmatrani su sa aspekta uvođenja realnih ograničenja za elektroenergetski sistem, kao i strateškog razvoja energetskeg sektora koji je u skladu sa održivim poslovanjem javnih preduzeća. Činjenica je da strateški pravci dosta zavise od mogućnosti balansiranja električne energije, o kojoj se vodi oštra polemika među stručnjacima. Naime, nagli porast nivoa integracije OIE mogao bi da ima za posledicu rast donje granice rezervi energije koje je potrebno skladištiti u postojećim kapacitetima, za potrebe balansiranja. Ukupni troškovi rada elektrana neizostavno bi bili povećani u slučaju uvećanja definisane regulacione rezerve energije.

Opasnost od debalansa sistema prilikom nagle i neprecizno isplanirane zamene raspoloživih kapaciteta ogleda se u nastanku iznenadnih prekida snabdevanja električnom energijom, koje mogu potpuno poremetiti elektroenergetski sistem. Tome se dodaje i činjenica da bi novi regulacioni nivo rezervi energije, u odnosu na postojeći nivo rezervi usklađen prema standardu Agencije za energetiku Republike Srbije, iznosio otprilike dva puta više od postojećeg za SCOIE1 scenario, ili čak pet puta više za instalisane snage SCOIE2 scenarija. Postavlja se pitanje izvoza električne energije dobijene iz tih izvora, to jest pitanje preopterećenja prenosnog sistema koje ide na štetu krajnjih korisnika. Shodno tome, u modelu su razmatrane sugestije predstavnika akcionarskog društva „Elektromreža Srbije“ (AD EMS) i javnog preduzeća „Elektroprivreda Srbije“ upućene Ministarstvu rudarstva i energetike da balansiranje sistema ne bi trebalo da opterećuje privredne subjekte u vlasništvu Republike Srbije. Suprotno, oni su stava da bi balansna odgovornost proizvođača energije iz obnovljivih izvora trebalo da se definiše tržišnim pristupom (Elektromreža Srbije AD & JP Elektroprivreda Srbije, 2021).

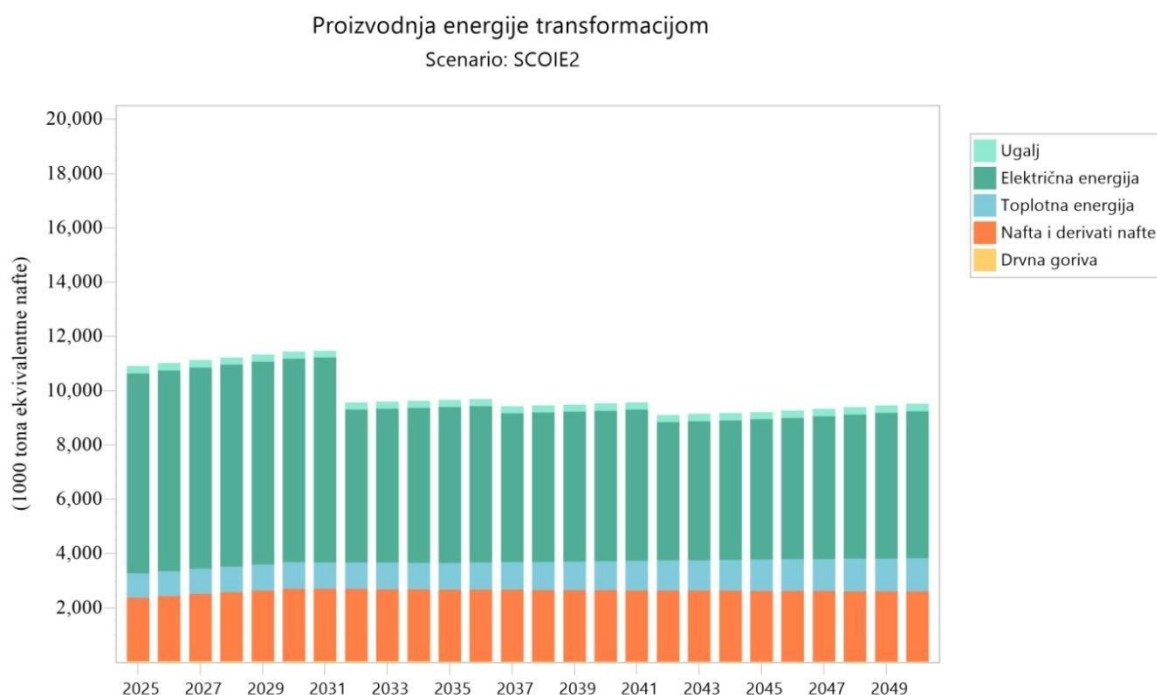
Kriterijum obaveznih rezervi OIE još jedna je relevantna mera strateškog priključenja na prenosni sistem. Drugim rečima, proizvođači iz oblasti OIE preuzeli bi odgovornost u slučaju smanjenja proizvodnje i neočekivanih disrupcija u radu elektrana. S obzirom da se radi o izvorima koji uglavnom imaju nizak stepen iskorišćenosti kapaciteta zbog sezonskog karaktera rada, zahtev za skladištenjem energije se prilikom kreiranja modela smatrao osnovanim. Dodatno, navedene sugestije po pitanju balansne odgovornosti prihvataju se kao relevantne za strateški razvoj energetskeg sektora. Model je koncipiran uz osvrt ka zaključcima predstavnika EMS-a i EPS-a o potencijalnim negativnim implikacijama upotrebe obnovljivih izvora energije.

U skladu sa tim, pomenuti zahtevi uvršteni su u model kroz dve zadate funkcije: margina planiranih rezervi energije (u modelu, *Planning Reserve Margin*) i kreiranje podkategorije skladištenja energije iz novih tehnologija. Za potrebe ispitivanja opcija manje i više intenzivnog korišćenja OIE, podešeni su parametri koji bi najrealnije prikazali trenutno stanje i potencijal razvoja energetike Republike Srbije. Postavljeni uslovi su najpre istraženi u okviru dve opcije SCOIE2 scenarija, kao scenarija sa najvišim stepenom integracije OIE. Sledstveno tome, uključivanje modeliranja balansne

odgovornosti ne znači da se u modelu razmatralo ukidanje podsticajnih otkupnih cena električne energije kao vida mehanizma podrške OIE.

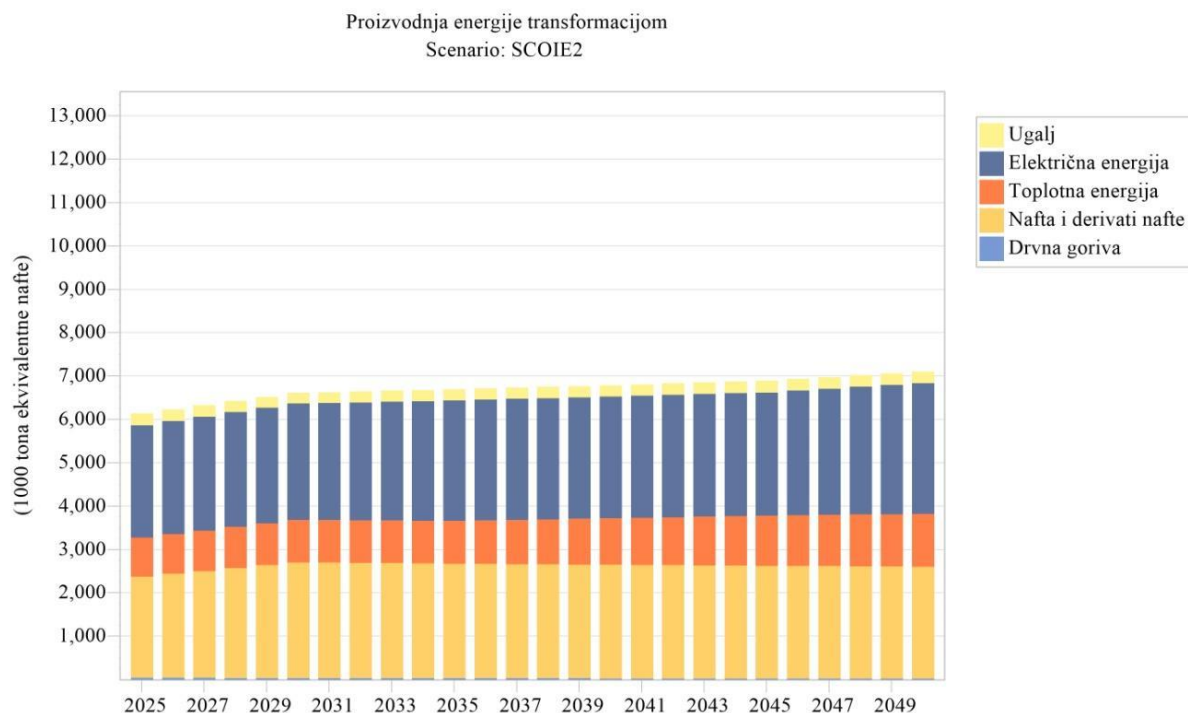
Mogućnosti ispitivanja realnog ispunjenja ciljeva povlašćenih proizvođača energije olakšane su primenom LEAP alata za utvrđivanje prosečne godišnje upotrebljivosti izvora energije. Primera radi, ukoliko se postavi kriterijum da će vetroelektrana moći da radi punim kapacitetom od svega 25% godišnje (prosečno posmatrano, varira u zavisnosti od godišnjeg doba), to znači da bi LEAP obračunao ukupan egzogeni kapacitet elektrane prema unetom kriterijumu o dostupnosti obnovljivog izvora energije. Samim tim, važno je da se u toku integracije novih tehnologija doda i endogeni kapacitet u kategoriji proizvodnje energije transformacijom, kako bi se omogućila proizvodnja energije u uslovima neočekivanog rasta potražnje za energijom. Na taj način, model će automatski koristiti po potrebi endogeni kapacitet elektrana, kako bi se održao zahtevani nivo margine planiranih rezervi energije. Ovaj nivo u modelu iznosi prosečno 30% za proizvedenu električnu energiju transformacijom iz obnovljivih izvora energije (zavisi od oblika energije).

Opterećenje sistema i veća potražnja za električnom energijom iz endogenih kapaciteta može nastati i usled većih gubitaka iz drugih *upstream* modula. Tako bi, recimo, povećani gubici toplotne energije opteretili rezerve iz modula električne energije. Margina planiranih rezervi definisana je samo za SCOIE2 scenario, kako bi se ispitao njen potencijalan uticaj na proizvodnju energije transformacijom u odnosu na ostale scenarije, sa proizvoljnim vrednostima od 100.000 ten/godišnje za vetroenergiju, 10.000 ten/godišnje za solarnu energiju na objektima, 30.000 ten/godišnje za solarnu energiju na zemlji i 5.000 ten/godišnje za geotermalnu energiju. To ne znači da se očekuje dostizanje navedenih iznosa prema realnim projekcijama, niti da će one biti iskorišćene u potpunosti za potrebe energetskog sektora. Sasvim suprotno, endogeni kapaciteti su uneti kako bi se testirala održivost upotrebe egzogenih kapaciteta u okviru transformacije energije, sa ciljem zamene konvencionalnih oblika energije. U nastavku je data ilustracija koja prikazuje projekcije proizvodnje energije transformacijom u okviru SCOIE2 scenarija za dve testirane opcije – opciju korišćenja punog kapaciteta OIE i opciju korišćenja proporcionalnog kapaciteta OIE.



Slika 6.12: Projekcija proizvodnje energije transformacijom od 2025. do 2050. godine
SCOIE2 scenario (pun kapacitet OIE)

Izvor: Analiza autora



Slika 6.13: Projekcija proizvodnje energije transformacijom od 2025. do 2050. godine
SCOIE2 scenario (proporcionalan kapacitet OIE)

Izvor: Analiza autora

U slučaju korišćenja punog kapaciteta OIE za proizvodnju energije transformacijom može se videti da bi nagli porast proizvodnje električne energije usledio sve do 2031. godine, uz pretpostavku nepromenjenosti maksimalne dostupnosti ovih izvora energije. Međutim, počev od 2032. godine model pokazuje da bi došlo do usporene transformacije energije, uzrokovane nemogućnošću sistema da u kratkom vremenskom roku potpuno zameni korišćenje fosilnih goriva. Potrebno je podsetiti da upotreba punog kapaciteta OIE znači da bi ti izvori energije služili kao supstitucija energije za ostale podkategorije u okviru modula proizvodnje energije transformacijom. Drugačije rečeno, ako bi model pretpostavio redukciju uvoza jednog konvencionalnog izvora energije, opcija punog kapaciteta znači da bi obnovljivi izvori energije bili zaduženi da nadomeste razliku u dostupnoj količini energije.

U skladu sa formulisanim parametrima koji su objašnjeni u prethodnom poglavlju, može se ustanoviti da je izbor prekida uvoza sirove nafte doveo do ovako naglih promena kod pomenute opcije SCOIE2 scenarija. Pozitivan pomak ka redukovanju korišćenja sirove nafte za transformaciju energije vidi se kroz poređenje sa REF scenarijom, gde je za 2050. godinu projektovano 211.839 TJ, daleko više od dobijenih 88.120 TJ punog kapaciteta OIE SCOIE2 scenarija. Ipak, u ovom slučaju za SCOIE2 se ne bi prevazišao problem neispunjenja zahteva za sirovom naftom, koje bi za navedenu godinu iznosilo 61.379 TJ. Rezultat sugerise da dostignut kapacitet proizvodnje energije transformacijom iz OIE ne bi mogao u potpunosti da zameni korišćenje fosilnih goriva do 2050. godine na primeru Republike Srbije.

Detaljnim pregledom energetske bilansa u prilogu broj osam može se primetiti da bi za obe opcije korišćenja OIE važilo značajno poboljšanje efikasnosti energetskeg sektora. Međutim, sa aspekta transformacije energije, upotreba proporcionalnog kapaciteta OIE kod SCOIE2 scenarija donela bi bolje rezultate za ukupnu održivost razvoja sistema. Navedena opcija ukazuje da u posmatranom periodu simulacije postoji potreba za uvozom fosilnih goriva za njihov utrošak u procesu transformacije, ali je ovaj utrošak daleko manji usled rasta korišćenja OIE. Kombinacija optimalnih

funkcija značila bi da se navedeni modul može razvijati u skladu sa regulativnom politikom zelene energije, uz postepenu zamenu pogona stare tehnologije.

Bez obzira što je projekcija proizvodnje električne energije transformacijom neznatno viša kod opcije punog kapaciteta OIE SCOIE2 scenarija, ostvareni rezultati ne mogu opravdati brojne neispunjene zahteve za energijom koji bi nastali u slučaju fokusa na transformaciji obnovljivih izvora energije. Sa druge strane, opcija upotrebe propocionalnog kapaciteta OIE u okviru SCOIE2 scenarija razmatra maksimalnu integraciju OIE koja bi mogla biti ostvarena, a da se pri tome proces transformacije energije odvija u kontinuitetu. Time bi se zadovoljio uslov adekvatnog nivoa energetske bezbednosti.

Kao što se može videti iz tabele broj 6.7 izvozna orijentacija sektora energetike posebno je zapažena kod opcije punog kapaciteta OIE u okviru SCOIE2 scenarija. Testiranjem ove opcije dobija se zaista izvanredan rezultat po pitanju projekcija ukupnog izvoza električne energije.

Tabela 6.6: Proizvodnja energije transformacijom SCOIE2 scenario: pun kapacitet OIE (u 1000 ten)

Godina	Drvena goriva	Nafta i derivati nafte	Toplotna energija	Električna energija	Ugalj	Proizvodnja biogoriva
2050	25.7	2,583.6	1,221.5	5,418.2	258.7	369.4
2049	26.6	2,587.6	1,208.8	5,366.6	258.9	363.3
2048	27.4	2,591.6	1,196.0	5,315.0	259.1	357.3
2047	28.2	2,595.6	1,183.3	5,263.3	259.3	351.3
2046	29.1	2,599.6	1,170.6	5,211.5	259.6	345.3
2045	29.9	2,603.6	1,157.9	5,159.7	259.8	339.5
2044	30.7	2,607.6	1,140.1	5,137.1	258.5	333.6
2043	31.6	2,611.6	1,122.3	5,114.5	257.2	327.9
2042	32.4	2,615.6	1,104.6	5,091.9	255.9	322.1
2041	33.2	2,619.6	1,086.8	5,569.3	254.5	316.5
2040	34.1	2,623.6	1,069.0	5,546.6	253.2	310.8
2039	34.9	2,627.6	1,052.6	5,524.8	251.9	305.3
2038	35.8	2,631.6	1,036.3	5,503.0	250.6	299.7
2037	36.6	2,635.6	1,019.9	5,481.2	249.3	294.3
2036	37.4	2,639.6	1,003.6	5,759.3	248.0	288.8
2035	38.3	2,643.6	987.2	5,737.3	246.7	283.5
2034	39.1	2,649.0	986.0	5,703.3	245.3	278.1
2033	39.9	2,654.3	984.8	5,669.2	244.0	272.9
2032	40.8	2,659.7	983.6	5,631.3	242.7	267.6
2031	41.6	2,665.0	982.4	7,541.2	241.4	262.5
2030	42.4	2,670.4	981.3	7,496.6	240.1	257.4
2029	43.3	2,603.4	964.7	7,470.4	245.1	252.3
2028	44.1	2,536.4	948.2	7,444.0	250.1	247.3
2027	45.0	2,469.3	931.7	7,417.4	255.1	242.3
2026	45.8	2,402.3	915.2	7,390.5	260.1	237.4
2025	46.6	2,335.3	898.7	7,363.5	265.1	232.5

Izvor: Analiza autora

Model pokazuje da bi se u 2050. godini opcijom upotrebe proporcionalnog kapaciteta OIE ostvarilo svega 43,28% od ukupnog izvoza dobijenog za opciju punog kapaciteta OIE. Ipak, benefiti od izvoza električne energije opteretili bi sistem nedostatkom ostalih izvora energije za utrošak u procesu proizvodnje kod elektrana koje ne koriste obnovljive izvore energije.

Tabela 6.7: Proizvodnja energije transformacijom SCOIE2 scenario: proporcionalan kapacitet OIE (u 1000 ten)

Godina	Drvena goriva	Nafta i derivati nafte	Toplotna energija	Električna energija	Ugalj	Proizvodnja biogoriva
2050	25.7	2,583.6	1,221.5	3,084.7	258.7	369.4
2049	26.6	2,587.6	1,208.8	3,081.8	258.9	363.3
2048	27.4	2,591.6	1,196.0	3,079.0	259.1	357.3
2047	28.2	2,595.6	1,183.3	3,076.0	259.3	351.3
2046	29.1	2,599.6	1,170.6	3,073.1	259.6	345.3
2045	29.9	2,603.6	1,157.9	3,070.2	259.8	339.5
2044	30.7	2,607.6	1,140.1	3,067.4	258.5	333.6
2043	31.6	2,611.6	1,122.3	3,064.5	257.2	327.9
2042	32.4	2,615.6	1,104.6	3,061.7	255.9	322.1
2041	33.2	2,619.6	1,086.8	3,058.8	254.5	316.5
2040	34.1	2,623.6	1,069.0	3,055.9	253.2	310.8
2039	34.9	2,627.6	1,052.6	3,056.0	251.9	305.3
2038	35.8	2,631.6	1,036.3	3,056.2	250.6	299.7
2037	36.6	2,635.6	1,019.9	3,056.3	249.3	294.3
2036	37.4	2,639.6	1,003.6	3,056.4	248.0	288.8
2035	38.3	2,643.6	987.2	3,056.5	246.7	283.5
2034	39.1	2,649.0	986.0	3,058.0	245.3	278.1
2033	39.9	2,654.3	984.8	3,059.4	244.0	272.9
2032	40.8	2,659.7	983.6	3,060.9	242.7	267.6
2031	41.6	2,665.0	982.4	3,062.4	241.4	262.5
2030	42.4	2,670.4	981.3	3,063.9	240.1	257.4
2029	43.3	2,603.4	964.7	3,043.2	245.1	252.3
2028	44.1	2,536.4	948.2	3,022.6	250.1	247.3
2027	45.0	2,469.3	931.7	3,001.9	255.1	242.3
2026	45.8	2,402.3	915.2	2,981.3	260.1	237.4
2025	46.6	2,335.3	898.7	2,960.6	265.1	232.5

Izvor: Analiza autora

Posmatrajući takav trend, tabela koja sledi daje bliži uvid u prednosti i nedostatke odabira opcije punog kapaciteta OIE u odnosu na intenzivno korišćenje obnovljivih izvora energije, bez potpune obustave rada elektrana koje iziskuju sirovu naftu za proizvodnju energije transformacijom. Za proveru energetske bezbednosti, smatra se posebno relevantnim poređenje ukupne primarne proizvodnje energije i neispunjenih energetskih zahteva na nivou sektora energetike Republike Srbije.

Tabela 6.8: Poređenje primarne proizvodnje energije i neispunjenja zahteva za energijom (u 000 TJ)

Godina	2030.		2040.		2050.	
Opcija SCOIE2 scenarija	Primarna proizvodnja energije	Neispunjeni zahtevi za energijom	Primarna proizvodnja energije	Neispunjeni zahtevi za energijom	Primarna proizvodnja energije	Neispunjeni zahtevi za energijom
Pun kapacitet OIE	459,49	225,90	478,31	115,15	483,24	98,51
Proporcionalan kapacitet OIE	422,55	-35,64	438,12	-44,97	421,28	-52,35

Izvor: Analiza autora

Dosledno navedenom, testiranjem obeju opcija SCOIE2 scenarija primećuje se da bi opcija proporcionalnog korišćenja OIE dala bolje rezultate do 2050. godine sa aspekta održivog razvoja energetike. Negativna vrednost na primeru proporcionalnog korišćenja kapaciteta OIE sugerise višak proizvedene energije za potrebe sektora potrošnje, što će reći da je ova opcija ostvarila daleko bolje rezultate. Primarna proizvodnja energije jeste zaostala u odnosu na punu upotrebu OIE, u rasponu od 8% do približno 13%. Doduše, ta prednost nikako nije mogla da nadomesti izrazitu razliku u ispunjenim zahtevima za energijom na nacionalnom nivou, koja ide u korist proporcionalnom korišćenju OIE. Očekivano, najveće opterećenje u okviru transformacije energije prešlo je na kategoriju OIE, te su tu i najveći nedostaci energije za energetske subjekte. Zaključak je da bi puni kapacitet OIE, to jest testiranje opcije prekida uvoza sirove nafte do 2050. godine uzrokovao neravnotežu na tržištu energenata u Republici Srbiji.

Ekonomski posmatrano, zasigurno bi stabilizacija sistema i upotreba punog kapaciteta OIE po principu ispunjenja energetskih zahteva donele velike prednosti za konkurentnost energetskih subjekata i za privredni rast. Na osnovu unetih pretpostavki o kretanju cena za period od 2012. do 2022. godine, projektovana je kumulativna vrednost ukupnog uvoza i izvoza energije u tabeli broj 6.10 za sledeće oblike energije: vrste uglja, električnu energiju, naftu i naftne derivate.

Tabela 6.9: Projekcija kumulativnih koristi od uvoza i izvoza energije Republike Srbije za vremenski period do 2050. godine (u evrima, po srednjem valutnom kursu za 2020. godinu)

Kategorija	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2 (opcija PUN)	SCOIE2 (opcija PROP)
Uvoz	27,385,482,226	27,199,909,429	26,189,170,246	25,519,658,714	25,522,199,536
Izvoz	-12,821,423,796	-15,859,059,669	-15,896,245,419	-23,391,927,037	-13,699,407,120

Izvor: Analiza autora

Poređenjem opcija kroz upoređivanje ekonomskih koristi od izvoza oblika energije utvrđena je daleko viša korist kod opcije korišćenja punog kapaciteta OIE, sa kumulativnom razlikom od skoro deset milijardi evra za posmatrani vremenski period. Ipak, do ovakvog rezultata došlo bi samo u slučaju da pomenuta opcija ispuni kriterijum zadovoljenja potreba za svim oblicima energije, što nije ustanovljeno na osnovu dobijenih rezultata modela.

6.4 Utrošak za proizvodnju energije

Utrošak za proizvodnju energije važan je kvantitativan pokazatelj realizacije redovnih aktivnosti u okviru elektrana. Praćenjem utrošaka može se saznati više o načinu proizvodnje energije i da li se redovno ispunjavaju potrebe elektrana za izvorima energije. Projekcije mogu služiti i da se utvrdi odnos između potrošnje i proizvodnje energije elektrana, zatim da se otkriju mesta na kojima mogu nastati gubici energije, da se razrade mere koje će dovesti do smanjenja utroška energije i da se razjasni struktura potrošnje radi brzog reagovanja na kretanje cena električne energije. U modelu je rast procesne efikasnosti elektrana uticao na manji utrošak energije u ukupnom zbiru i time je ostvaren pozitivan pomak ka uvećanju energetske bezbednosti. Procesna efikasnost u okviru LEAP-a može se definisati prema: (1) potrebnoj stopi ulaznog goriva ili utroška po jedinici proizvedene energije, (2), procentu gubitka u procesu prenosa i distribucije energije i (3) procentualnom odnosu između izlazne energije i upotrebljenih sirovina.

Metoda procesne efikasnosti elektrana koja je prihvaćena za potrebe kreiranog modela zasniva se na specifikaciji procentualnog odnosa izlazne energije i upotrebljenih sirovina. Za obnovljive izvore energije ova efikasnost uneta je na nivou od 100%, jer se dostupnost ovih vrsta elektrana razmatrala sa aspekta *merit-order* efekta i maksimalne moguće dostupnosti njihovih kapaciteta tokom jedne godine. Tako, na primer, procesna efikasnost termoelektrana definisana je na nivou od 34,06% kod REF i SCEE scenarija, 37% za SCOIE1 i 40% za SCOIE2 scenario.

Dodatno, u okviru modela je utvrđen i rast procesne efikasnosti termoelektrana toplana sa 77,24% kod REF na 82,23% kod SCOIE2 scenarija od 2030. godine. Isto važi i u poređenju efikasnosti energana za ove scenarije, sa 88,21% na 92,33% od 2030. godine, respektivno. Ovi i ostali podaci o procesnoj efikasnosti rezultirali su u ekonomičnijem korišćenju izvora energije i u okretu ka racionalnoj potrošnji energije. Ulazni podaci o investicijama namenjenim za revitalizaciju elektrana u SCOIE1 i SCOIE2 scenarijima imali su efekta i na redukovanje utroška za proizvodnju energije, kao što se može videti u tabeli broj 6.10.

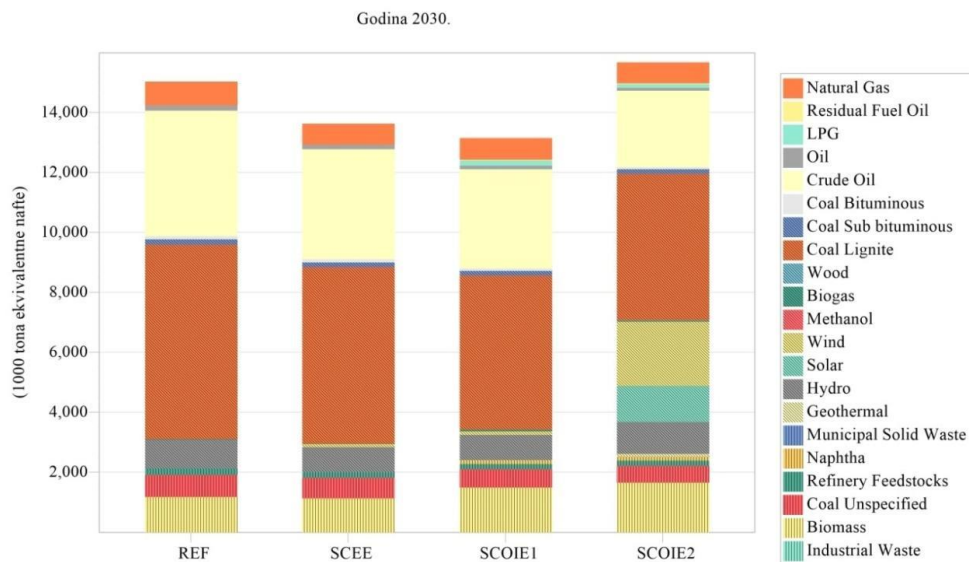
Tabela 6.10: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – svi oblici energije (1000 ten)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	17,963.9	15,300.2	14,246.6	13,750.1
2049	17,802.9	15,230.0	14,199.5	13,726.6
2048	17,641.9	15,158.7	14,152.7	13,703.7
2047	17,479.9	15,087.5	14,106.1	13,681.3
2046	17,317.7	15,016.3	14,059.8	13,659.5
2045	17,177.8	14,972.9	14,012.9	13,638.3
2044	17,022.1	14,870.5	13,936.5	13,628.8
2043	16,866.5	14,768.1	13,860.2	13,619.6
2042	16,710.8	14,665.8	13,783.9	13,610.8
2041	16,555.2	14,563.5	13,707.7	14,502.1
2040	16,432.3	14,491.9	13,629.8	14,493.6
2039	16,278.6	14,391.4	13,572.9	14,483.5
2038	16,124.5	14,290.9	13,515.9	14,473.8
2037	15,969.8	14,190.2	13,458.8	14,464.5
2036	15,815.0	14,089.5	13,401.6	14,755.4
2035	15,685.6	14,009.5	13,344.3	14,746.7
2034	15,557.4	13,933.9	13,312.7	14,752.8

2033	15,429.1	13,858.1	13,281.2	14,759.7
2032	15,299.2	13,782.3	13,249.8	14,767.2
2031	15,169.3	13,706.5	13,218.7	15,725.4
2030	15,034.5	13,620.5	13,144.7	15,675.3
2029	14,836.5	13,484.0	13,053.1	15,516.8
2028	14,636.4	13,348.5	12,962.0	15,359.1
2027	14,436.3	13,213.9	12,871.5	15,202.0
2026	14,237.2	13,080.1	12,781.6	15,045.7
2025	13,902.1	12,807.2	12,629.2	14,826.8
2024	12,549.1	11,738.8	11,755.0	13,612.1
2023	12,803.6	12,182.0	12,152.4	13,738.5

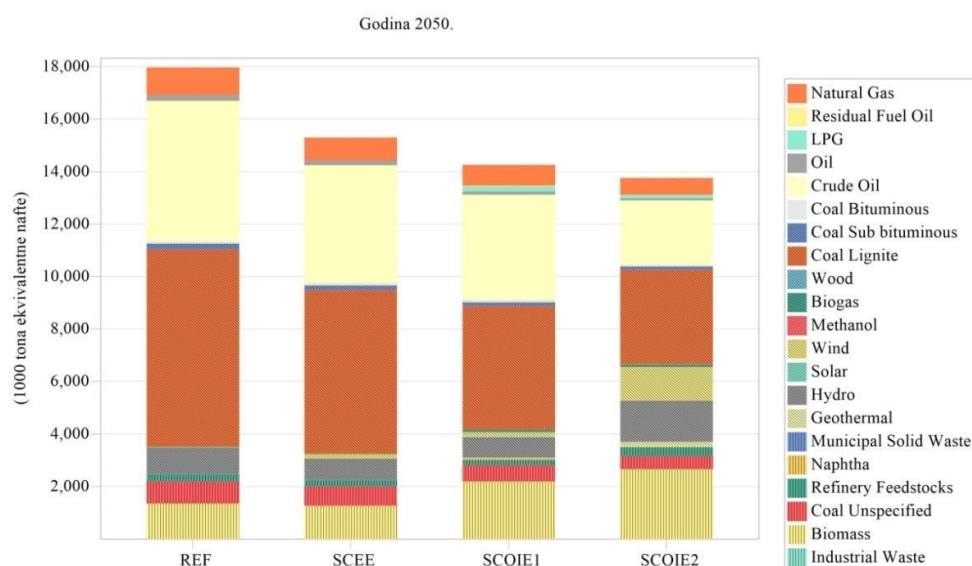
Izvor: Analiza autora

Na osnovu do sada prikazanih rezultata evidentno je da bi poboljšanje energetske efikasnosti kod ostalih kategorija sektora energetike uticalo na konačan utrošak za proizvodnju energije. Shodno primeru proizvodnje energije transformacijom, uočen je neočekivani porast utroška energije kod SCOIE2 scenarija do 2032. godine. Pošto se radi o opciji punog kapaciteta korišćenja OIE opravdano je očekivati da bi se ovakva prognoza ostvarila za postavljene parametre, koji imaju za cilj potpunu supstituciju uvoza određenih fosilnih goriva. Međutim, ponavlja se pitanje da li bi ovakva opcija dovela do opšte nestabilnosti sa strane neispunjenja zahteva za energijom. Prema podacima o autputima energetske sistema može se potvrditi da pokušaj potpune zamene fosilnih goriva u energetske miks Republike Srbije ne bi bio ekonomski opravdan za definisani vremenski period scenarija. Još jednom, rezultati ukazuju na značaj postepene integracije obnovljivih izvora energije za relativno kratak projektovani period do 2050. godine. Detaljniji pregled izvora energije koji su služili za utrošak u okviru modula transformacije energije dat je u okviru slika 6.13 i 6.14.



Slika 6.14: Pregled izvora utroška za proizvodnju energije 2030. godine

Izvor: Analiza autora



Slika 6.15: Pregled izvora utroška za proizvodnju energije 2050. godine

Izvor: Analiza autora

6.5 Procena iznosa neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji do 2050. godine

Iako je faktor iskorišćenosti kapaciteta izvora energije jedna od presudnih tema za oblast ekonomike energetike, u dostupnoj naučnoj literaturi fokus je na neispunjenju zahteva sa strane ponude energije, dok se promenljivost tražnje uglavnom zanemaruje (Verzijlbergh et al., 2017).

U nekim slučajevima može se desiti da zahtevi za izvorom energije ostanu neispunjeni, kao na primer:

1. kada zadata ograničenja za kapacitete modula transformacije energije izazovu neravnotežu potražnje i ponude za energijom,
2. ako je cilj modela restrukturiranje sektora energetike i promena odnosa u korišćenju količina nekog oblika energije i
3. ako dođe do naglih promena cena na elektroenergetskom tržištu.

Analiza se može usmeriti ka optimizaciji redosleda otpremanja oblika energije u zavisnosti od intenziteta promenljivosti tražnje i potreba zaštite životne sredine. Koncept mogućnosti otpremanja energije (na engleskom jeziku *Dispatchability*) trebalo bi definisati kroz logističku povezanost između ponude i potražnje na tržištu električne energije. Shodno tome, *Truong-Hamasaki* metoda (Truong & Hamasaki, 2021) poslužila je kao značajna smernica za definisanje pravila otpremanja energije u okviru modela.

Ukoliko je Q_{ij} iznos ukupnog outputa Q_{uk} koji može biti proizveden kapacitetom i i otpremljen da zadovolji potražnju j i ukoliko je P_i^s cena snabdevanja outputa i , p_j^d je cena potražnje j , njihovim spajanjem može se generisati prihod. Na taj način, ograničenje ukupnog prihoda sistema može se prikazati kao (Truong & Hamasaki, 2021):

$$\begin{aligned}
Y_{uk} = P_{pros} Q_{uk} &= P_{pros} \sum_i \sum_j Q_{ij} = \sum_i P_i^s \sum_j Q_{ij} = \sum_i P_i^s Q_i^s \quad (6.3) \\
&= \sum_j P_j^d \sum_i Q_{ij} = \sum_j P_j^d Q_j^d
\end{aligned}$$

gde je P_{pros} prosečna cena električne energije, Y_{uk} je ukupan prihod, dok su cene ponude i potražnje povezane matematičkom formulacijom na sledeći način: $P_i^s = \sum_j Q_{ij} P_j^d$ ili $P_j^d = \sum_i Q_{ij} P_i^s$.

U okviru jednačine pretpostavka je da su svi oblici energije jednako otpremljeni za ispunjenje potrebe potražnje za energijom. Data pretpostavka bila bi relevantna za merodavne rezultate u slučaju da se koristi samo *top-down* model. Suprotno, integracijom *bottom-up* mehanizama u okviru modela može se ukazati na značaj redosleda otpremanja oblika energije.

Tako, planiranje kapaciteta proizvodnje energije na dugi rok pretpostavlja da je Q_i^s dat egzogeno, dok je potrebno da bude determinisan endogeno u modelu. Na osnovu *Truong-Hamasaki* metode dugoročni problem optimizacije glasi:

$$C_{uk} = \sum_i [r_i Q_i^s + c_i K_i^s] = \sum_i [r_i (\sigma_i U) + c_i] K_i^s \quad (6.4)$$

tako da važi:

$$\sum_i P_i^s Q_i^s \geq \sum_i \beta_i P_i^s (\sigma_i U) K_i^s \geq \underline{Y_{uk}} \quad (6.5)$$

$$\frac{UK_i^s}{Q_i^s} = (1/\sigma_i) \geq 1 \quad (6.6)$$

Predstavljena metoda znači da bi model trebalo da razdvoji proizvodnju energije u okviru sektora na različite tehnologije prema troškovima, a zatim da ih ponovo kombinuje u skladu sa troškovima korišćenja različitih kapaciteta izvora energije.

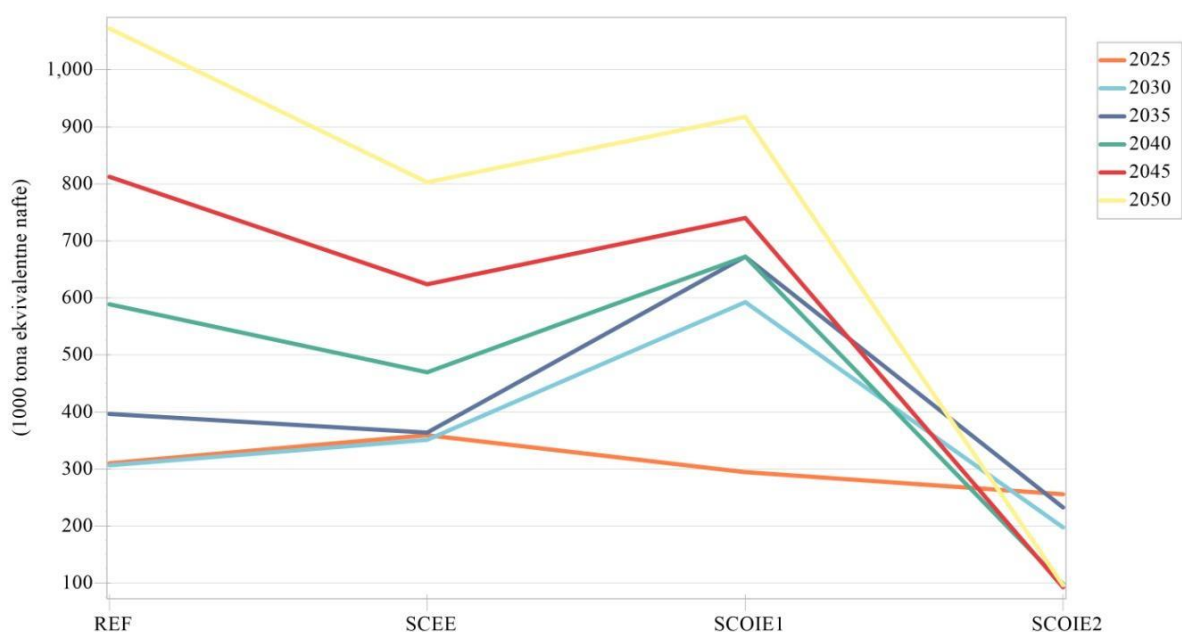
Pomenuti pristup ima hibridni karakter jer se nadovezuje na tradicionalni *top-down* pristup modeliranju, uz fokus na uvođenju ograničenja kapaciteta koja se posmatraju kao homogeni skup skoro savršenih supstituta.

Dakle, *Truong-Hamasaki* metoda uključuje sledeće iteracije: (1) zamenu agregatne proizvodne funkcije na nivou sistema sa detaljnom strukturom troškova za različite tehnologije, (2) uvođenje ograničenja i endogenih kapaciteta koji bi trebalo da predlože optimalan nivo korišćenja kapaciteta, (3) optimizaciju egzogenih kapaciteta koji će uticati na investicione odluke (Truong & Hamasaki, 2021). Vreme upotrebe oblika energije je veoma važno i na osnovu njega će se definisati pravilo otpremanja energije. To znači da se odluke o proizvodnji energije i korišćenju kapaciteta moraju donositi u isto vreme i da moraju biti povezane, za razliku od konvencionalnog pristupa modeliranju koji posmatra ove procese zasebno. Metodološki okvir koji su navedeni autori predložili ispunjava uslove za definisanje pravilnog otpremanja energije, sa ciljem postepene integracije OIE u model. Posledično, ovaj pristup je razmatran prilikom definisanja alternativnih scenarija modela.

6.5.1 Testiranje SCOIE2 scenarija – opcije proporcionalan kapacitet OIE

U nastavku su dati grafički i tabelarni prikazi projekcije kretanja neispunjenih zahteva za energijom i poređenje sva četiri alternativna scenarija. Pri tome, provereno je odstupanje za slučaj testirane opcije upotrebe proporcionalnog kapaciteta OIE kod SCOIE2 scenarija. Razlike u odnosu na projektovane energetske bilanse postoje, s obzirom da su izdvojeni zahtevi za energijom koji nisu ispunjeni. Oni su izraženi pozitivnim vrednostima u generisanim energetskim bilansima u prilogu broj osam.

Razlike u zbirnom iznosu ove kategorije postoje jer su energetske bilansi kreirani grupisanjem po vrsti goriva, tako da model obračunava drugačije iznose po grupi goriva u odnosu na prikaz koji sleduje. Radi se samo o drugačijem pristupu prikaza projekcija, dok su dobijeni rezultati energetskog modela istovetni sa detaljnim prikazima datim u prilogu disertacije.



Slika 6.16: Procena kretanja neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji do 2050. godine

Izvor: Analiza autora

Tabela 6.11: Projekcija neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji
svi oblici energije (1000 ten)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	1,072.2	803.1	917.6	96.7
2049	1,020.4	767.5	849.5	96.0
2048	968.6	731.7	835.5	95.2
2047	916.6	695.8	767.4	94.5
2046	864.5	659.8	753.7	93.8
2045	812.5	623.9	740.1	93.1
2044	767.7	593.2	676.6	92.4
2043	722.9	562.4	668.7	91.6
2042	678.1	531.6	669.9	90.9

2041	633.4	500.7	671.2	90.3
2040	588.6	469.5	672.2	98.5
2039	550.4	446.8	626.4	112.8
2038	512.1	424.1	635.7	127.2
2037	473.7	401.3	647.4	141.6
2036	435.3	378.5	659.9	217.8
2035	396.8	364.0	672.4	232.9
2034	374.0	361.5	635.3	248.3
2033	351.2	359.0	597.9	263.9
2032	328.3	356.5	560.2	280.8
2031	309.4	353.9	576.8	181.8
2030	306.5	351.3	592.8	197.5
2029	307.3	353.0	466.9	209.1
2028	308.1	354.6	364.4	220.8
2027	308.9	356.2	272.4	232.5
2026	309.8	357.8	282.4	244.2
2025	310.6	359.5	294.9	256.0
2024	318.1	320.2	265.9	273.3
2023	274.2	280.6	239.1	300.3

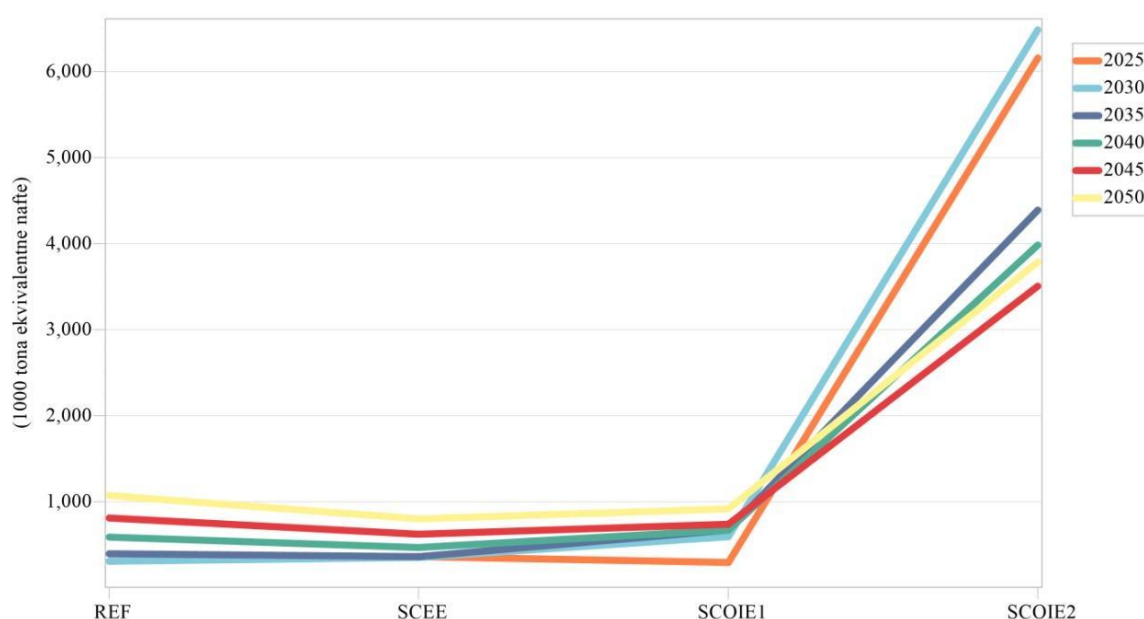
Izvor: Analiza autora

Iz priloženog se može primetiti koliko bi razvoj opcije propocionalnog kapaciteta OIE za SCOIE2 scenario doprineo opštoj stabilnosti energetskeg sistema i proizvodnje energije. Pri tome, godine 2023. i 2024. se jedine izdvajaju kao godine u kojima ova opcija ne bi imala prednost po pitanju ispunjenja zahteva za energijom u odnosu na ostale alternativne scenarije. Na osnovu pretpostavke intenzivnijeg korišćenja alternativnih izvora energije taj porast bi poticao od zamena tehnologija i usklađivanja sa strane proizvodnje energije. Višestruko dejstvo na bezbedno snabdevanje energijom ogleda se kroz brojne prednosti njenog korišćenja, koje su u skladu sa principima održivog razvoja. Realizacijom ovog alternativnog pravca razvoja energetike Republika Srbija bi imala više od deset puta nižu stopu neispunjenja zahteva za oblicima energije u odnosu na nepromenjeni, referentni scenario. Dalja ekonomska analiza ovog scenarija prikazaće i koristi od aktivnosti energetskeg subjekata za opšte društveno blagostanje građana.

6.5.2 Testiranje SCOIE2 scenarija – opcije pun kapacitet OIE

Kako bi se dodatno ispitala mogućnost smanjenja upotrebe konvencionalnih izvora energije, proveren je nivo ispunjenja zahteva za energijom kod opcije korišćenja punog kapaciteta OIE za SCOIE2 scenario. Kao i u odeljku gde je istražen uticaj ove opcije na proizvodnju energije transformacijom, dobijeni su podaci o izrazito velikoj neravnoteži u odnosu između ponude i potražnje za energijom. Promatranje različitih uticaja na neispunjenje zahteva za energijom korisno je i sa aspekta provere održivosti sistema. U tom smislu, ovaj parametar se posmatra i kao osnova stabilnosti kod *bottom-up* modeliranja sektora energetike.

Potrebno je podsetiti da u okviru navedene opcije SCOIE2 scenarija cilj nije zamena svih fosilnih goriva, već je akcenat na izostanku uvoza sirove nafte. Čak i pod tim uslovima ukazano je da bi došlo do pojave neodrživog stanja na elektroenergetskom tržištu, pri čemu energetske subjekti ne bi mogli da ispunje minimum energetskeg zahteva. Posledično, trošak po građane bi bio daleko veći od uštede koja bi bila ostvarena uvođenjem izvora zelene energije.



Slika 6.17: Projekcija kretanja neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji do 2050. godine – SCOIE2 pun kapacitet

Izvor: Analiza autora

Za razliku od prethodne opcije SCOIE2 scenarija, opcija punog kapaciteta OIE utiče na nagli porast u iznosu zahteva za energijom koji nisu ispunjeni. Najveći deo neispunjenih zahteva bi poticao od obnovljivih izvora energije, na primer 4.576.406 tona ekvivalentne nafte ili oko 74% od ukupnog iznosa u 2025. godini. To ukazuje na opterećenost sistema i nemogućnost kapaciteta OIE da preuzmu energetske zahteve, najviše usled nedostatka sirove nafte kao utroška termoelektrana za proizvodnju energije transformacijom. Orijentacija isključivo ka upotrebi OIE mogla je biti zadata i za kasnije godine scenarija, s tim da je sa ovom opcijom ostvaren precizniji uvid u razmere opasnosti uvođenja opcije na nacionalnom nivou. U nastavku je prikazana projekcija neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji za sva četiri alternativna scenarija.

Tabela 6.12: Projekcija neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji svi oblici energije (1000 ten)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	1,072.2	803.1	917.6	3,787.5
2049	1,020.4	767.5	849.5	3,716.0
2048	968.6	731.7	835.5	3,642.6
2047	916.6	695.8	767.4	3,567.4
2046	864.5	659.8	753.7	3,584.5
2045	812.5	623.9	740.1	3,506.5
2044	767.7	593.2	676.6	3,435.0
2043	722.9	562.4	668.7	3,459.8
2042	678.1	531.6	669.9	3,485.1
2041	633.4	500.7	671.2	3,961.4
2040	588.6	469.5	672.2	3,987.4
2039	550.4	446.8	626.4	3,927.9

2038	512.1	424.1	635.7	3,968.5
2037	473.7	401.3	647.4	4,009.5
2036	435.3	378.5	659.9	4,350.8
2035	396.8	364.0	672.4	4,392.4
2034	374.0	361.5	635.3	4,444.4
2033	351.2	359.0	597.9	4,443.8
2032	328.3	356.5	560.2	4,441.1
2031	309.4	353.9	576.8	6,440.7
2030	306.5	351.3	592.8	6,489.0
2029	307.3	353.0	466.9	6,478.0
2028	308.1	354.6	364.4	6,487.3
2027	308.9	356.2	272.4	6,290.5
2026	309.8	357.8	282.4	6,218.5
2025	310.6	359.5	294.9	6,161.5

Izvor: Analiza autora

6.6 Projekcije emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte iz sektora energetike

Prognoza emisije GHG štetnih gasova koja nastaje iz energetskeg sektora preko je potrebna, kako bi se analizirali, kontrolisali i kako bi se predupredio nastanak štetnih gasova prilikom upotrebe novih tehnologija. Asimetričnost društvenih i ekonomskih faktora emisije GHG gasova iz sektora energije pokazuje da je privredni rast zapravo najveći pokretač rasta njihove emisije (Yin et al., 2021).

Prikupljanje relevantnih podataka o emisiji GHG gasova u Republici Srbiji je otežano, s obzirom da ne postoje celoviti, javno dostupni podaci državnih institucija o konkretnoj emisiji od strane energetskeg sistema. Iako „Drugi izveštaj Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih nacija o promeni klime“ (Ministarstvo zaštite životne sredine, 2017) može služiti kao značajna smernica za dalja ispitivanja, u okviru ovog izveštaja nisu precizirane projekcije kretanja emisije svih direktnih štetnih gasova koji mogu nastati od aktivnosti energetskeg sektora. Pored toga, pregledom literature može se konstatovati da takva projekcija nije uočena za period do 2050. godine.

Empirijski nalazi ovog odeljka služiće kao svojevrsan doprinos dugoročnoj projekciji emisije štetnih GHG gasova iz sektora energetike. Sa aspekta razmatrane oblasti analize, fokus kreiranja alternativnih scenarija jeste praćenje emisije ugljen-dioksida i predlog zamene neefikasnih tehnologija koje uzrokuju zagađenje životne sredine. „Godišnji izveštaj o stanju kvaliteta vazduha u Republici Srbiji“ Agencije za zaštitu životne sredine Republike Srbije takođe je važan za sagledavanje emitovanja zagađenja po vrstama elektrana (Agencija za zaštitu životne sredine, 2020). Kako bi se formulisala projekcija za emisiju GHG direktnih gasova, u prvoj iteraciji istraživanja razmatrana su tri različita izvora: (1) projekcija emisija ugljen-dioksida do 2030. godine u okviru „Strategije razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa projekcijama do 2030. godine“ (za validaciju modela); (2) baza podataka Svetske banke (na osnovu: *Carbon Dioxide Information Analysis Center, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, United States*); (3) smernice Okvirne konvencije Ujedinjenih Nacija o klimatskim promenama i, na osnovu smernica, prvi i drugi izveštaj za Republiku Srbiju.

Tabela 6.13: Nivo emisije svih GHG gasova iz sektora energetike za četiri predložena scenarija (u milionima metričkih tona ekvivalentne CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	87.4	69.1	55.5	41.8
2049	86.7	68.7	55.6	42.5
2048	85.9	68.3	55.6	43.2
2047	85.1	67.9	55.7	43.9
2046	84.4	67.5	55.7	44.2
2045	83.7	67.3	55.6	44.9
2044	83.0	66.8	55.7	45.6
2043	82.2	66.3	55.5	45.8
2042	81.4	65.9	55.4	46.1
2041	80.7	65.4	55.2	46.6
2040	80.0	65.1	55.1	46.9
2039	79.3	64.6	55.2	47.5
2038	78.5	64.1	55.1	47.8
2037	77.8	63.6	55.0	48.1
2036	77.0	63.1	54.9	48.3
2035	76.3	62.7	54.8	48.6
2034	75.6	62.3	55.0	48.9
2033	74.9	61.8	55.1	49.4
2032	74.2	61.3	55.3	49.8
2031	73.5	60.9	55.3	50.0
2030	72.8	60.4	55.2	50.2
2029	71.9	59.9	55.5	50.0
2028	70.9	59.4	55.6	49.6
2027	69.9	58.9	55.8	50.1
2026	68.9	58.3	55.5	50.2
2025	67.7	57.5	55.3	50.2

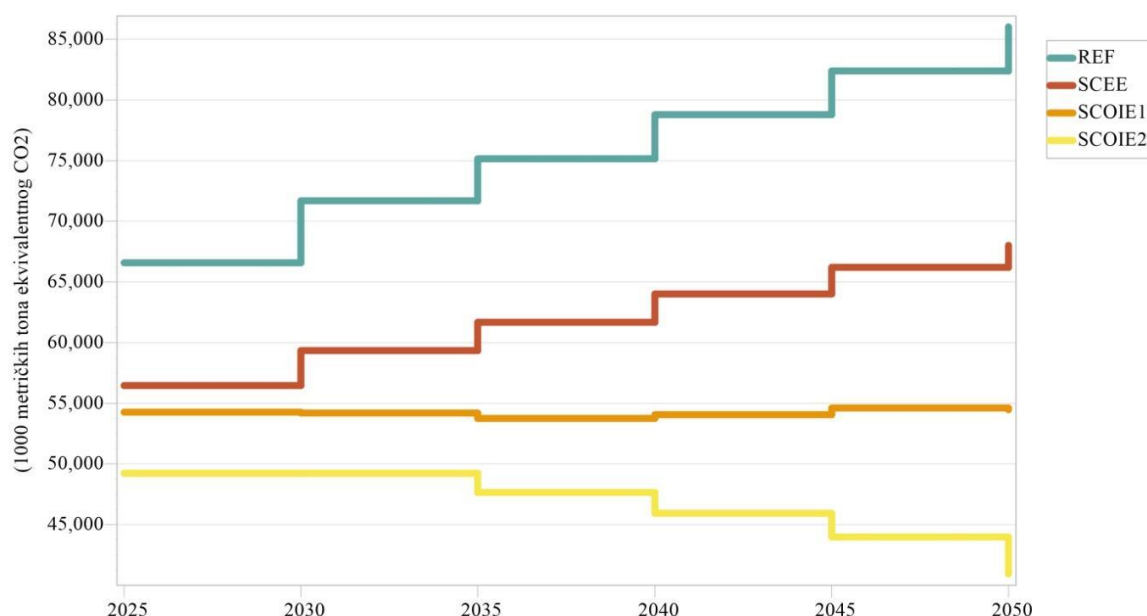
Izvor: Analiza autora

U slučaju korišćenja punog kapaciteta tehnologija proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora, SCOIE2 scenario pokazuje znatno smanjenje GHG gasova iz sektora energetike u odnosu na referentni scenario, tako da je 2050. godine projektovano svega 47,82% ukupne vrednosti emitovanja GHG gasova koja bi se ostvarila u REF scenariju. Detaljan prikaz emisije GHG gasova prema obliku energije nalazi se u okviru priloga broj pet. Dodatno, u okviru tog priloga navedeni su i rezultati emisije drugih, selektovanih GHG gasova iz sektora energetike.

Na osnovu dobijenih rezultata za SCOIE1 i SCOIE2 scenarije može se primetiti da bi došlo do potencijalno velikih ekonomskih ušteda po energetski sistem Republike Srbije u slučaju formiranja cena za emisiju ugljenika. Ne bi trebalo zaboraviti da je Evropska komisija usvojila 14. jula 2021. godine novi mehanizam za prilagođavanje dozvoljene granice ugljenika na uvezene proizvode, tako da se od 2026. godine očekuje definisanje cena ugljenika za ciljani izbor proizvoda (European Commission et al., 2021b).

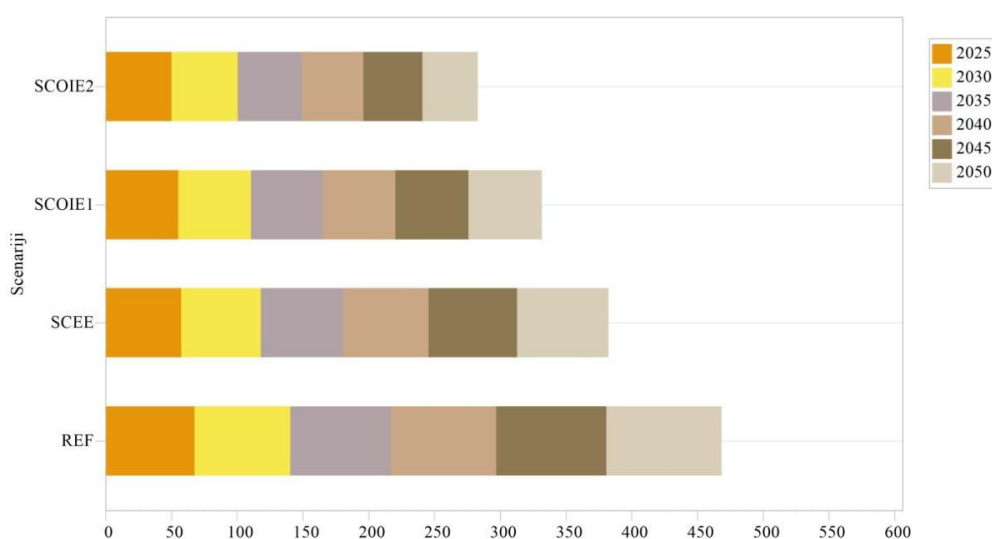
Za primer Republike Srbije, mogu se pokazati uštede u odnosu na REF scenario ako bi recimo cena ugljenika iznosila 96,93 evra po metričkoj toni, što je bio najviši ostvareni nivo za 2022. godinu u

okviru Sistema trgovanja emisijama Evropske unije, na dan 08.02.2022. godine (EMBER, 2022). U tom slučaju, poredeći SCEE, SCOIE1 i SCOIE2 scenarije sa REF scenarijom za 2050. godinu, izdaci povodom emisije ugljenika bi bili manji za 1,773 milijardi, 3,092 milijardi i 4,42 milijarde evra, respektivno. Projekcija zagađenja vazduha od sektora energetike prikazana je u nastavku za sve scenarije.



Slika 6.18: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije
Emisija svih GHG gasova (hiljada metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Izvor: Analiza autora



Slika 6.19: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije
(miliona metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Izvor: Analiza autora

6.6.1 Emisija ugljen-dioksida iz energetskog sektora

Za potrebe projekcije CO₂ emisije u okviru REF i SCEE scenarija uzeta je u obzir projekcija rasta iz publikacije „Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa projekcijama do 2030. godine” (Ministarstvo rudarstva i energetike, 2015). Za sva četiri alternativna scenarija neophodno je bilo definisati kretanja CO₂ emisije prema analizama Međuvladinog panela za klimatske promene datog u okviru TED baze podataka LEAP modela (Heaps, 2022). Prema podacima unetim iz ove baze, LEAP model daje pretpostavku da će 2050. godine u okviru SCEE scenarija sektor energetike emitovati 7,3% manje metričkih tona CO₂ po stanovniku u odnosu na REF scenario.

Tabela 6.14: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija ugljen dioksida iz finalne potrošnje energije (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	31,743.3	21,970.5	18,289.6	14,636.4
2049	31,508.9	21,772.3	18,271.0	14,756.3
2048	31,274.4	21,574.2	18,252.5	14,876.3
2047	31,040.0	21,376.0	18,234.0	14,996.2
2046	30,805.6	21,177.9	18,215.5	15,116.2
2045	30,571.2	20,979.7	18,197.0	15,236.2
2044	30,305.1	20,799.2	18,168.5	15,363.1
2043	30,039.1	20,618.6	18,140.0	15,490.1
2042	29,773.0	20,438.1	18,111.4	15,617.1
2041	29,506.9	20,257.5	18,082.9	15,744.1
2040	29,240.9	20,077.0	18,054.4	15,871.1
2039	29,014.3	19,914.8	18,048.5	15,997.6
2038	28,787.7	19,752.7	18,042.7	16,124.2
2037	28,561.1	19,590.5	18,036.8	16,250.8
2036	28,334.5	19,428.4	18,031.0	16,377.3
2035	28,107.9	19,266.2	18,025.1	16,503.9
2034	27,888.5	19,116.6	18,031.7	16,575.7
2033	27,669.1	18,966.9	18,038.3	16,647.6
2032	27,449.7	18,817.3	18,044.9	16,719.4
2031	27,230.3	18,667.6	18,051.5	16,791.3
2030	27,010.9	18,518.0	18,058.1	16,863.2
2029	26,615.4	18,386.7	17,917.4	16,857.9
2028	26,220.0	18,255.5	17,776.7	16,852.6
2027	25,824.5	18,124.3	17,636.0	16,847.3
2026	25,429.1	17,993.1	17,495.3	16,842.0
2025	25,033.7	17,861.9	17,354.7	16,836.7

Izvor: Analiza autora

Rezultati pokazuju znatan pomak koji bi se mogao ostvariti u slučaju da se strategija razvoja energetike uskladi sa regulativom podsticaja upotrebe obnovljivih izvora energije. Važni su i novi pristupi skladištenju energije i ulaganje u procesnu efikasnost elektrana. SCOIE2 scenario bi doveo do najboljih rezultata samo u slučaju da kod ovog scenarija postoji potpuno ispunjenje zahteva za svim izvorima energije. To se, na osnovu dobijenih nalaza analize, ne bi moglo ostvariti do 2050.

godine. Sa druge strane, SCOIE1 scenario realnije nagoveštava kako bi se održivi razvoj energetike pozitivno reflektovao na emisiju ugljenika. Kod ovog scenarija predviđa se porast emisije ugljenika od samo 5,11% za period od 2025. do 2050. godine, dok je za isti period kod REF scenarija projektovan rast od 21,13%.

6.7 Prognoza proizvodnje primarne energije u Republici Srbiji

Koristi od proizvodnje energije iz obnovljivih izvora mogu se posmatrati sa ekološkog, ekonomskog, tehnološkog, političkog i društvenog aspekta. Korišćenje obnovljivih izvora energije je značajno poraslo poslednjih decenija zbog brojnih prednosti kao što su (Nezhnikova et al., 2018): (1) uticaj na energetske sigurnost kroz pružanje mogućnosti diversifikacije goriva plasiranih na tržištu, (2) upotreba OIE smanjuje negativan uticaj sektora energetike na životnu sredinu, (3) istaknuti izvori energije aktivno se mogu koristiti kao sastavni deo paketa ekonomskih mera u borbi protiv globalne krize i energetske nedostataka, (4) obnovljivi izvori energije mogu kreirati najefikasniji integrisani sistem otpremanja energije, sa ciljem rešavanja problema pristupa energiji, posebno u ruralnim i manje razvijenim područjima.

Pored brojnih prednosti koje ukazuju na ekonomsku opravdanost eksploatacije OIE, ključni nedostatak za ekonomski potencijal svakako jeste stepen iskorišćenosti izvora energije (*CUF - Capacity Utilization Factor*). CUF se jednostavno izračunava kao odnos zaista proizvedene električne energije i teoretskog potencijala koji se može proizvesti u toku 8760 sati na godišnjem nivou. Ekvivalent broju sati rada proizvodnog postrojenja punom snagom, CUF kod obnovljivih izvora energije znatno je manji od faktora kapaciteta koji koriste fosilna goriva. Na primer, vetroelektrane imaju stepen korišćenja kapaciteta od samo oko 20% do 35% (u zavisnosti od prirodnih karakteristika posmatrane geografske lokacije i tehničkih mogućnosti vetroturbine), dok elektrane koje koriste konvencionalne izvore energije imaju otprilike 60% stepen korišćenja kapaciteta (Maradin, 2021). Na osnovu definisanih CUF faktora modela i ostalih pretpostavki u okviru LEAP-a, dobijena je naredna projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije u vetroelektranama.

Tabela 6.15: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije u vetroelektranama u Republici Srbiji (u GWh) – poređenje SCOIE1 i SCOIE2 scenarija

Godina	SCOIE1	SCOIE2
2050	7,700.8	11,978.9
2049	7,547.4	11,600.9
2048	7,393.3	11,223.0
2047	7,238.5	10,845.0
2046	7,083.0	10,467.0
2045	6,926.8	10,089.0
2044	6,791.4	9,711.1
2043	6,647.2	9,333.1
2042	6,400.5	8,955.1
2041	6,153.9	8,577.1
2040	5,907.3	8,199.2
2039	5,660.6	7,821.2
2038	5,414.0	7,443.2
2037	5,167.4	7,065.2
2036	4,920.7	6,687.3

2035	4,674.1	6,309.3
2034	4,427.5	5,931.3
2033	4,180.8	5,553.3
2032	3,934.2	5,175.4
2031	3,687.6	4,797.4
2030	3,440.9	4,419.4
2029	3,194.3	4,074.9
2028	2,947.7	3,730.4
2027	2,701.0	3,386.0
2026	2,454.4	3,041.5
2025	2,207.8	2,697.0

Izvor: Analiza autora

Kao i u prethodnoj analizi, poboljšanje energetske efikasnosti se najpre prognozira u slučaju ostvarenja SCOIE1 i SCOIE2 scenarija. Primetno je da bi oba scenarija imala sličan nivo proizvodnje električne energije iz kapaciteta vetroelektrana u prvoj projektovanoj godini obimnijih promena energetskog sistema, tačnije u 2025. godini. Nakon toga sledi period većih investicija u okviru SCOIE2 scenarija, čijom bi realizacijom proizvodnja električne energije iz vetra premašila trenutno definisane raspoložive tehničke potencijale ovog izvora u Republici Srbiji. To je očekivano, s obzirom na pretpostavku dinamičkog karaktera tehničkog potencijala vetroenergije, koji je podložan promeni u slučaju dostizanja višeg nivoa investicija.

Na osnovu modela, uočeno je da bi na kraju projektovanog perioda procentualna razlika u korišćenju vetroenergije između SCOIE1 i SCOIE2 scenarija iznosila 35,71%, u korist SCOIE2 scenarija. Međutim, ni jedan od analiziranih pokazatelja ne bi trebalo posmatrati kao odvojenu kategoriju, te se može primetiti da je ovaj kapacitet moguće dostići samo ako bi stopa investicija bila za 26,95% viša u poređenju sa SCOIE1 scenarijom. Važno je i pitanje maksimalne dostupnosti rada elektrana iz oblasti OIE, koje je u slučaju kreiranog modela isto za sve scenarije. Dalja ekonomska analiza pokazuje da bi proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora bila praćena i opštim smanjenjem troškova rada elektrana. Upravo je promenljivost maksimalnog potencijala iskorišćenosti kapaciteta u radu elektrana najznačajnije pitanje osnovanosti dodatnog investiranja u ove tehnologije.

Tabela 6.16: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije od solarnih elektrana u Republici Srbiji (u GWh)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	120.0	121.6	168.5	5,117.2
2049	118.0	119.2	164.9	4,947.1
2048	116.1	116.7	161.2	4,776.9
2047	114.2	114.2	157.6	4,606.8
2046	112.2	111.7	153.9	4,436.6
2045	110.3	109.2	150.1	4,266.5
2044	108.5	107.1	146.8	4,096.3
2043	106.7	105.0	143.5	3,926.2
2042	104.8	103.0	140.1	3,756.0
2041	103.0	100.9	136.8	3,585.9
2040	101.2	98.7	133.4	3,415.7
2039	99.9	97.2	130.3	3,245.6
2038	98.7	95.7	127.2	3,075.4

2037	97.5	94.1	124.1	2,905.3
2036	96.2	92.6	121.0	2,735.1
2035	95.0	91.0	117.8	2,565.0
2034	93.9	88.4	114.6	2,394.8
2033	92.9	85.8	111.4	2,224.7
2032	91.9	83.2	108.2	2,054.6
2031	90.9	80.6	104.9	1,884.4
2030	89.9	78.0	101.5	1,714.3
2029	88.7	76.8	98.0	1,544.1
2028	87.5	75.5	94.5	1,374.0
2027	86.3	74.3	91.0	1,203.8
2026	85.1	73.0	87.5	1,033.7
2025	83.9	71.8	84.0	863.5

Izvor: Analiza autora

S obzirom da bi opcija punog kapaciteta OIE za SCOIE2 scenario trebalo da zameni upotrebu određenih fosilnih goriva, akcenat kod tog scenarija jeste na upotrebi neiskorišćenog potencijala solarne energije. Posebna pažnja za pokušaj integracije maksimalnog kapaciteta OIE bila je na primeru solarne energije. Vetroenergija je već u velikoj meri zastupljena u energetsom miksu, a očekuje se njena dalja eksploatacija čak i kod REF scenarija.

Daleko veća zastupljenost projekata solarnih elektrana je definisana za SCOIE2 u odnosu na ostale scenarije, kako bi se ispitao maksimum njenog korišćenja, a u skladu sa prethodno obrazloženoj balansnoj odgovornosti i priključka na prenosnu mrežu. Pored navedenog, naredna tabela daje uvid i u veoma veliku zastupljenost geotermalne energije za SCOIE2 scenario razvoja energetike. Njen uticaj na razvoj energetike je takođe važan, s obzirom da je do sada bila skoro potpuno zanemarena na primeru Republike Srbije.

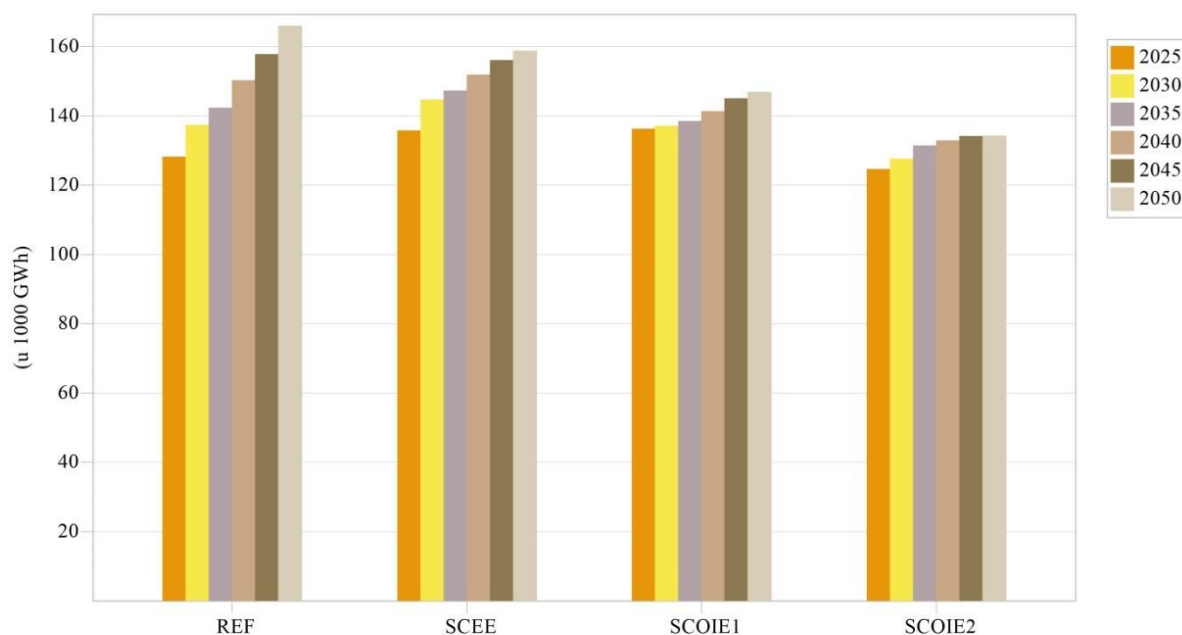
Tabela 6.17: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije iz geotermalne energije u Republici Srbiji (u GWh)

Godina	SCOIE1	SCOIE2
2050	212.9	2,907.5
2049	205.5	2,812.5
2048	198.2	2,717.6
2047	191.0	2,622.6
2046	183.7	2,527.7
2045	176.5	2,432.7
2044	169.1	2,337.8
2043	161.7	2,242.8
2042	154.3	2,147.9
2041	147.0	2,052.9
2040	139.6	1,958.0
2039	134.9	1,863.0
2038	130.2	1,768.1
2037	125.6	1,673.1
2036	121.1	1,578.1
2035	116.5	1,483.2

2034	111.2	1,388.2
2033	105.8	1,293.3
2032	100.4	1,198.3
2031	95.0	1,103.4
2030	89.6	1,008.4
2029	87.4	913.5
2028	85.2	818.5
2027	83.0	723.6
2026	80.9	628.6
2025	78.8	533.7

Izvor: Analiza autora

Na osnovu navedenog, za projekciju proizvodnje primarne i sekundarne energije kod alternativnih scenarija koji se razlikuju od referentnog scenarija primetan je razvoj prema konceptu stabilnosti sistema i rasta energetske efikasnosti. Projekcije ukazuju na veliki potencijal izvozne orijentisanosti energetskog sektora i potvrđuju hipoteze broj jedan i dva. Ispunjeni su uslovi kontinuiranog snabdevanja energijom i redukcija energetske ugroženosti građana na nacionalnom nivou, a dalje ostaje da se u nastavku ekonomski ispita osnovanost ovakvih projekcija.



Slika 6.20: Projekcija proizvodnje primarne energije u Republici Srbiji od 2025. do 2050. godine

Izvor: Analiza autora

6.8 Procena dinamike troškova iz sektora energetike

6.8.1 Projekcije troškova negativnih eksternalija emitovanih iz energetskeg sektora

Procena uticaja troškova emisije štetnih gasova u različitim fazama životnog ciklusa konvencionalnih goriva predstavlja važan deo analize za ekonomiku energetike, naročito od prve naftne krize 1973. godine. Pristup koji se oslanja na analizu eksternih troškova najšire je prihvaćen kako bi se ekonomski ispitao i uporedio uticaj raznovrsnih energetske tehnologije na životnu sredinu. Pošto se radi o nametnutim troškovima za društvo i životnu sredinu, postavlja se pitanje kako bi internalizacija tih troškova uticala na ukupne troškove proizvodnje energije (Jorli et al., 2018). Klasifikacija eksternih troškova, to jest troškova negativnih eksternalija nije ujednačena u naučnoj literaturi, najpre zato što se koriste brojne metode za njihovo kvantificiranje, ali ujedno i zbog njihove visoke zavisnosti u odnosu na životnu sredinu, poreklo nastanka i energetske potrebe stanovništva (Parfomak, 1997).

Posebno je rasprostranjena primena dve metode za procenu troškova negativnih eksternalija iz sektora energetike (ili eksternih troškova), a to su – (1) metoda analize troškova smanjenja uticaja eksternalija i (2) metoda procene troškova nastale štete (Nkambule & Blignaut, 2017). Za procenu nastalih negativnih uticaja eksternalija, metoda troškova smanjenja analizira troškove kontrole ili smanjenja proizvodnih procesa koji su doveli do prvobitne štete ili opasnosti po životnu sredinu. Suprotno tome, isti autori opisuju metodu troškova nastale štete kao metodu koja pripisuje novčanu vrednost rezultiranim neželjenim efektima, koristeći tehnike za evaluaciju pravih opterećenja sistema eksternalijama. Metoda troškova nastale štete od negativnih eksternalija može se primeniti *top-down* na nacionalnom ili regionalnom nivou, ili pak *bottom-up* za kalkulaciju eksternih troškova pojedinačnih tehnologija. Primer implementacije tehnike *bottom-up* modeliranja za potrebe ispitivanja negativnih eksternalija sproveden je od strane Evropske komisije (*European Commission – Community Research*) na primeru Nemačke, Finske i Holandije. U okviru ovog ispitivanja je inkorporiran čitav lanac vrednosti upotrebljenih goriva, sa pripadajućim efektima zagađenja vazduha i uključenom emisijom GHG gasova (Bickel et al., 2005).

Na osnovu svih unetih podataka o potencijalu zagađenja vazduha i potencijalu opšteg ugrožavanja životne sredine emisijom GHG gasova dobijeni su rezultati iz tabele broj 6.18, o projektovanom kumulativnom iznosu ukupnih eksternih troškova za period od 2011. do 2050. godine scenarija. Za potrebe aproksimacije troškova ekoloških eksternalija model je obuhvatio sledeće podatke:

Tabela 6.18: Ulazni podaci za kalkulaciju eksternih troškova iz sektora energetike

Redni broj	Ulazni podaci
1.	Proizvodnja primarne energije
2.	Proizvodnja sekundarne energije
3.	Energetski intenzitet procesa
4.	Procesna efikasnost elektrane
5.	Maksimalna dostupnost elektrane za rad

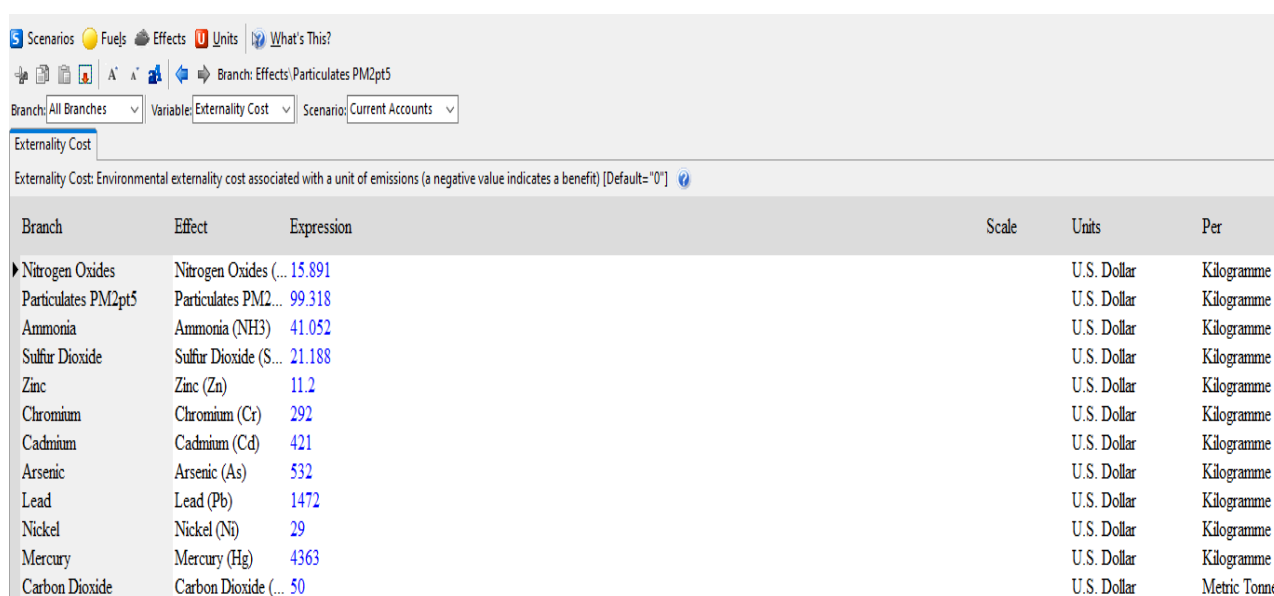
6.	Pravilo otpremanja energije
7.	Egzogeni kapacitet elektrane
8.	Endogeni kapacitet elektrane
9.	Procentualno učešće u ukupnoj proizvodnji energije
10.	Minimalni stepen korisnosti kapaciteta elektrane
11.	Prosečni troškovi eksternalija na nivou EU-25
12.	TED baza podataka o emisiji štetnih gasova

Izvor: Analiza autora

Obračun ukupnih troškova eksternalija iz energetskog sektora sproveden je *bottom-up* metodom procene troškova nastale štete od negativnih eksternalija, a na osnovu celovito unetih podataka u okviru modela. Sa aspekta relevantnosti za navedeni obračun ističe se unos podataka o troškovima eksternalija i o intenzitetu zagađenja elektrana prema izvorima energije (Holland et al., 2005; IPCC, 2014). U ovom odeljku poglavlja testira se hipoteza broj 4 disertacije, koja glasi:

- *Razvijeni alternativni scenariji će smanjiti eksterne troškove u sektoru energetike uz visok nivo troškovne efikasnosti tehnologija za korišćenje obnovljivih izvora energije.*

Podaci o troškovima eksternalija po kilogramu emisije definisani su za sledeće štetne čestice nastale iz sektora energetike: (1) azot-suboksid, (2) suspendovane čestice PM2.5 (na engleskom jeziku *particulate matter*), (3) amonijak, (4) sumpor-dioksid, (5) cink, (6) hrom, (7) kadmijum, (8) arsen, (9) olovo, (10) nikl, (11) živa i (12) ugljen-dioksid.



Branch	Effect	Expression	Scale	Units	Per
► Nitrogen Oxides	Nitrogen Oxides (...)	15.891		U.S. Dollar	Kilogramme
Particulates PM2pt5	Particulates PM2...	99.318		U.S. Dollar	Kilogramme
Ammonia	Ammonia (NH3)	41.052		U.S. Dollar	Kilogramme
Sulfur Dioxide	Sulfur Dioxide (S...	21.188		U.S. Dollar	Kilogramme
Zinc	Zinc (Zn)	11.2		U.S. Dollar	Kilogramme
Chromium	Chromium (Cr)	292		U.S. Dollar	Kilogramme
Cadmium	Cadmium (Cd)	421		U.S. Dollar	Kilogramme
Arsenic	Arsenic (As)	532		U.S. Dollar	Kilogramme
Lead	Lead (Pb)	1472		U.S. Dollar	Kilogramme
Nickel	Nickel (Ni)	29		U.S. Dollar	Kilogramme
Mercury	Mercury (Hg)	4363		U.S. Dollar	Kilogramme
Carbon Dioxide	Carbon Dioxide (...)	50		U.S. Dollar	Metric Tonne

Slika 6.21: Prikaz kreiranog modela – deo podataka o eksternim troškovima sektora energetike

Izvor: Analiza autora, u okviru (Heaps, 2022)

Dobijeni rezultati predstavljeni su u tabeli broj 6.19. Rezultati upućuju na zaključak da bi u okviru SCOIE2 scenarija mogla biti ostvarena ušteda od 907.641.712 evra u odnosu na REF scenario za period od 2020. do 2050. godine. Kreirani model, na osnovu svih unetih podataka za SCOIE1 i SCOIE2 scenarije, nesumnjivo daje potvrdu o manjim ukupnim troškovima ekoloških eksternalija sektora energetike. To je važan dokaz za potvrdu hipoteza broj tri i četiri. U pogledu ekonomskog značaja, pošto Republika Srbija napreduje na putu da postane punopravna članica Evropske unije ekološke eksternalije imaju sve veću ulogu u privređivanju. Shodno tome, prognoze ne ukazuju samo na poboljšanja u kumulativnom smislu, već i u celokupnoj energetskej strukturi. Na osnovu izmerenih kriterijuma o smanjenju troškova ekoloških eksternalija, sa visokim stepenom sigurnosti se može potvrditi tačnost hipoteze broj 4.

Tabela 6.19: Projekcija kumulativnih ukupnih troškova ekoloških eksternalija sektora energetike Republike Srbije (u evrima, diskontna stopa 7,4%, 2011.) za period 2011-2050.

Kategorija	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2 (pun kapacitet)
Troškovi ekoloških eksternalija	160.280.143.284	150.668.420.685	144.654.836.634	133.050.891.899

Izvor: Kalkulacija autora

Empirijski nalazi modela mogu usmeriti kreatore energetske politike da shvate ekonomsku isplativost koju bi energetski subjekti imali od zamene postojećih tehnologija. U smislu postulata održivog energetskeg razvoja, očekivano je smatrati da će Srbija sve više zavisiti od zemalja partnera u regionu i od članica Evropske unije. Takav trend će se skoro sigurno nastaviti, imajući u vidu da se razvoj energetike zemalja više ne posmatra kao odvojeni, nezavistan proces. Zaštita životne sredine je svakako smanjila jaz u saradnji između zemalja i uslovlila zemlje da se prilagode novim tržišnim uslovima prihvatanja alternativnih tehnologija za proizvodnju energije. Prema navedenom, ekonomska analiza dugoročne projekcije razvoja energetike ne može doprineti donošenju zaključaka bez ispitivanja uticaja sektora na stvaranje društvenih troškova. Sam pojam društvenih troškova krajnje je jednostavan u teorijskom smislu, ali vrlo izazovan za obračun i sagledavanje na nivou celog energetskeg sektora.

Prednost LEAP-a jeste što postoji integrisani kalkulator za društvene troškove, koji može dovesti istraživača do ispravnih zaključaka ako je model postavljen na odgovarajući način. Društveni troškovi mogu se definisati kao troškovi koji obuhvataju privatne troškove za svakog pojedinca i eksterne troškove po društvo u celini. Osoba koja inicira određenu akciju ne mora nužno snositi sve troškove, već uglavnom preuzima obaveze nastale od privatnih troškova, dok eksterne troškove ne snosi lično (de V. Graaff, 2018). Zbir ovih dveju kategorija čini širi pojam društvenih troškova, koji je ispitan kroz četiri alternativna scenarija. Rezultati po sektoru potrošnje energije dati su u nastavku.

Tabela 6.20: Projekcija društvenih troškova po sektoru potrošnje energije u Republici Srbiji (apsolutne vrednosti, u hiljadama evra, srednji valutni kurs za 2020.)

REF scenario						
Sektor	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Industrija	1,282,279	1,505,230	1,666,677	1,835,419	2,029,089	2,245,687
Saobraćaj	2,352,977	2,519,549	2,657,661	2,800,532	2,963,237	3,090,627
Građevinarstvo	32,548	35,945	39,554	43,759	48,589	54,257
Domaćinstva	1,082,636	1,087,701	1,113,292	1,137,860	1,163,950	1,192,458
Poljoprivreda	137,028	157,373	174,764	194,257	216,201	240,823

SCEE scenario						
Sektor	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Industrija	1,056,008	1,247,575	1,385,217	1,532,316	1,698,026	1,880,131
Saobraćaj	1,778,744	1,776,337	1,811,058	1,851,127	1,897,104	1,949,532
Građevinarstvo	37,966	39,961	40,628	42,858	44,064	46,979
Domaćinstva	1,045,339	1,061,207	1,074,137	1,085,754	1,098,198	1,109,571
Poljoprivreda	137,028	157,373	174,764	194,257	216,201	240,823
SCOIE1 scenario						
Sektor	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Industrija	1,026,422	1,186,093	1,280,007	1,379,191	1,521,121	1,631,769
Saobraćaj	1,750,906	1,760,638	1,749,204	1,736,689	1,721,365	1,707,895
Građevinarstvo	37,234	38,128	37,820	39,708	40,328	42,140
Domaćinstva	1,035,794	1,046,305	1,056,294	1,067,316	1,076,730	1,080,819
Poljoprivreda	135,998	156,098	169,349	184,568	201,288	220,538
SCOIE2 scenario – pun kapacitet						
Sektor	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Industrija	990,030	1,023,034	1,018,183	986,183	974,445	955,585
Saobraćaj	1,710,006	1,719,362	1,707,983	1,699,682	1,671,329	1,644,797
Građevinarstvo	36,599	37,112	35,381	34,564	33,259	31,560
Domaćinstva	1,915,607	1,920,082	1,915,777	1,908,354	1,899,090	1,889,971
Poljoprivreda	133,779	153,537	161,823	171,892	183,387	197,170

Izvor: Analiza autora

Izuzev SCOIE2 scenarija, kod alternativnih scenarija najveći društveni troškovi poticali bi iz sektora industrije i saobraćaja. U ukupnom iznosu ovi troškovi očekivano prate rast proizvodnje primarne energije iz konvencionalnih izvora energije, dok prema modelu pretpostavka realnog rasta BDP-a podstiče veću finalnu potrošnju energije iz industrijskog sektora. Određeni pomaci u korišćenju biomase imali su zanemareni uticaj na poboljšanje energetske efikasnosti kod REF scenarija, gde industrija dominantno koristi prirodni gas, na projektovanom nivou od 53.978 TJ za 2050. godinu.

Tendencija rasta postoji i za dizel, gorivo za loženje, gasna ulja, naftni koks i ostala goriva koja mogu imati nepovoljan uticaj na zaštitu životne sredine. Time se projektuje rast navedenih troškova za celih 42,9%, do neodrživog nivoa koji premašuje 2 milijarde evra za industrijski sektor. Još nepovoljnija situacija je kod sektora saobraćaja, gde je bitno podsetiti da za REF scenario nisu modelirane stavke razvoja održive mobilnosti u saobraćaju. Sa druge strane, neočekivano visoki društveni troškovi prognozirani su za domaćinstva unutar SCOIE2 scenarija. To se može pripisati povećanim troškovima novih tehnologija i većem oslanjanju na solarnu energiju na objektima, tj. domaćinstvima u odnosu na ostale scenarija. Izuzev toga, ostali rezultati imaju dobru korelaciju sa prethodno ispitanim pokazateljima. Vrlo je važno istaći da društveni troškovi u modelu nisu uvek po svojoj prilici negativni za društvo, već na kratak rok mogu imati eksponencijalan rast zbog zamene tehnologija ili troškova veće potražnje za energijom. Suprotno, bitno je izdvojiti štetne uticaje društvenih troškova proisteklih iz negativnih eksternalija proizvodnje energije.

Tabela 6.21: Projekcija društvenih troškova od ekoloških eksternalija u Republici Srbiji
(u milionima evra, diskontna stopa 7,4%, 2011. godina)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	1,007.4	820.9	682.1	508.4
2049	1,067.6	873.4	729.9	550.2
2048	1,131.2	929.3	779.1	595.3
2047	1,198.5	988.7	833.7	644.1
2046	1,269.7	1,051.8	889.9	693.2
2045	1,347.5	1,122.0	949.9	750.0
2044	1,427.4	1,191.5	1,013.9	810.5
2043	1,511.9	1,265.2	1,079.4	871.1
2042	1,601.3	1,343.4	1,149.2	936.3
2041	1,695.7	1,426.3	1,223.4	1,009.0
2040	1,800.5	1,519.2	1,302.3	1,084.4
2039	1,906.8	1,612.9	1,391.9	1,171.3
2038	2,019.1	1,712.2	1,483.9	1,258.4
2037	2,137.8	1,817.5	1,581.8	1,351.9
2036	2,263.2	1,929.1	1,686.2	1,452.3
2035	2,401.1	2,051.8	1,797.4	1,560.2
2034	2,543.6	2,179.0	1,923.2	1,676.5
2033	2,694.4	2,313.9	2,057.8	1,806.4
2032	2,853.7	2,457.0	2,201.7	1,945.3
2031	3,022.1	2,608.9	2,348.9	2,088.4
2030	3,198.7	2,766.8	2,505.4	2,240.5
2029	3,385.2	2,940.5	2,692.1	2,388.4
2028	3,573.8	3,117.2	2,884.7	2,538.5
2027	3,772.4	3,304.3	3,090.6	2,726.1
2026	3,981.4	3,502.4	3,295.2	2,911.1
2025	4,169.2	3,678.6	3,513.4	3,107.8

Izvor: Analiza autora

Iz priloženog rezultata može se iznova konstatovati da bi ekološke eksternalije najviše bile proizvod energetskog sektora u REF scenariju. Za razliku od ukupnih društvenih troškova, ovde je primetno poboljšanje u vremenskom periodu od 2025. do 2050. godine, nastalo usled realizacije strategija razvoja energetike i pratećih investicija koje su zabeležene u modelu. Međutim, navedeno poboljšanje zaostajalo bi u odnosu na SCOIE2 intenzivnog korišćenja OIE za skoro 50%. I na ovom primeru rezultati za REF scenario pokazuju da bi pomaci u polju održivosti sistema bili nedovoljni kako bi Republika Srbija ostvarila adekvatan rast energetske efikasnosti na dugi rok. Na osnovu svih prikazanih rezultata, sa visokim stepenom značajnosti može se potvrditi hipoteza broj 4.

6.8.2 Projekcije troškova rada elektrana

S obzirom na stohastičku prirodu proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, trebalo bi razmotriti i povezane troškove rada elektrane iz ove oblasti. Oni se mogu definisati na sledeći način (Michalski, 2012):

$$TR_{OIE} = \frac{G_F}{s_a} - \frac{G_F S}{s_o} = G_F \left(\frac{1}{s_a} - \frac{S}{s_o} \right) \quad (6.7)$$

gde su G_F - godišnji fiksni troškovi zamene izvora energije (po kilovatu proizvodnog kapaciteta), s_a - broj časova u toku kojih je alternativni izvor energije korišćen, s_o - broj časova u toku kojih je alternativni izvor energije korišćen, uključujući i OIE, S - državni mehanizam podrške upotrebi OIE.

Razvrstavanje troškova po mestima nastanka može se definisati i kao „njihova raspodela po područjima odgovornosti, pri čemu se oni prate u dinamici, otkrivaju uzroci dinamike troškova i preduzimaju potrebne mere od strane menadžera za otklanjanje organizaciono povećanih troškova“ (Milićević & Ilić, 2014, str. 43).

Kako bi se to učinilo, moguće je za marginalne troškove koristiti krivu stepenaste funkcije, s tim da se elastičnost supstitucije tehnologija ne bi određivala samo na osnovu istorijskih podataka, već i prema inženjerskim procenama u vezi korišćenja određene tehnologije (Kiuila & Rutherford, 2013).

Aproksimacijom stepenaste *bottom-up* funkcije troškova sa ciljem njene implementacije u *top-down* modelu kroz kreiranje hibridne metode (pristup petlji) isti autori su pokazali da bi došlo do poboljšanja preciznosti za simulirane ekološke politike i do savršenog podudaranja podataka o finalnoj potrošnji energije za *top-down* i *bottom-up* modele. Shodno navedenom, pregledom rezultata istraživanja pomenutih autora, ali i na osnovu rezultata drugih razmatranih empirijskih istraživanja, konstatuje se da su *Marginal Abatement Cost Curve*, *Module Cost balance* i *Integrated Benefits Calculator* adekvatne LEAP metode za ispitivanje kretanja troškova elektrana iz oblasti obnovljivih izvora energije.

Za potrebe određivanja očekivanog iznosa investicija u nove tehnologije OIE do 2050. godine, date su pretpostavke projekcija ukupnih fiksnih i varijabilnih troškova. Posebna pažnja data je kapitalnim troškovima, koji u ovom slučaju odražavaju direktne troškove izgradnje elektrane i sve kapitalizovane, finansijske troškove. Uneseni troškovi se anuliraju u toku LEAP proračuna prema prethodno odabranoj metodi. Dostupne metode su (Heaps, 2022): (1) faktor povrata kapitala, (2) bez anualizacije troškova, (3) pravolinijska amortizacija, (4) smanjenje amortizacije bilansa, (5) amortizacija kapitala, (6) dvostruko smanjenje amortizacije bilansa. Pristup raspodele kapitalnih troškova tokom životnog veka rada elektrana koji se koristio za potrebe modeliranja jeste prvi pristup, faktor povrata kapitala. Za projekciju kretanja troškova prihvaćena je pretpostavka nulte stope inflacije.

S obzirom da nisu dostupni zvanični podaci o ukupnim fiksnim i varijabilnim troškovima rada elektrana iz oblasti OIE na primeru Republike Srbije, za potrebe projekcija uzeti su podaci od NREL – *National Renewable Energy Laboratory* iz SAD-a, kao i alat koji je ova institucija razvila za potrebe procene troškova upotrebe OIE, pod nazivom CREST – *Cost of Renewable Energy Spreadsheet Tool* (Gifford & Grace, 2013).

Tabela 6.22: Projekcija kretanja kapitalnih troškova uzorkovanih elektrana iz oblasti OIE za Republiku Srbiju (evra/ten/godišnje) – SCOIE2 scenario

Vrsta elektrane	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Elektrane na otpad	6,651	6,408	6,166	5,924	5,681	5,439
Elektrane na biogas	9,069	8,603	8,137	7,671	7,205	6,739
Hidroelektrane na postojećoj infrastrukturi do 30MW	8,002	7,790	7,577	7,364	7,152	6,939
Hidroelektrane od 0.5MW do 10MW	13,204	12,854	12,503	12,152	11,801	11,450
Hidroelektrane do 0.5MW	21,706	21,129	20,552	19,975	19,398	18,821
Geotermalne elektrane	21,601	20,626	19,652	18,677	17,702	16,727
Solarne elektrane	17,777	16,143	14,510	12,877	11,243	9,610
Vetroelektrane	7,470	7,197	6,923	6,650	6,377	6,104

Izvor: Analiza autora

Tabela 6.23: Projekcija kretanja varijabilnih troškova elektrana iz oblasti OIE za Republiku Srbiju (evra /MWh) – SCOIE2 scenario

Vrsta elektrane	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Hidroelektrane od 10MW	3.22	3.20	3.15	3.03	2.88	2.76
Hidroelektrane do 10MW	9.11	8.98	8.80	8.69	8.52	8.44
Geotermalne elektrane	14.50	14.33	13.89	12.66	12.42	11.99
Solarne elektrane na zemlji	7.88	7.39	6.78	5.67	5.11	4.75
Solarne elektrane na objektu	10.01	9.89	8.66	7.80	6.45	5.77
Vetroelektrane	8.44	7.99	7.42	7.31	7.02	6.88

Izvor: Analiza autora

Navedene pretpostavke daljih kretanja kapitalnih troškova elektrana i varijabilnih troškova korišćenja različitih oblika obnovljive energije služe za proveru kretanja ukupnih troškova proizvodnje energije transformacijom i projekciju kretanja ukupnih investicija iz oblasti OIE. Uočen je pozitivan trend redukcije troškova, uz naglašenu energetska efikasnost proizvodnih postrojenja koja su uneta u model.

6.9 Pretpostavke o potrebnim investicijama u sektoru energetike

Kako bi se ostvarili projektovani rezultati za alternativne scenarije uvođenja mera energetske efikasnosti u energetska sektor, ispitan je kriterijum odgovarajućih iznosa investicija za period od 2020. do 2050. godine za sva četiri scenarija. Do rezultata se došlo na osnovu troškova upotrebe opreme, definisanih cena za uvoz novih efikasnih tehnologija i prema prethodnim iznosima srodnih investicija iz oblasti energetike. U skladu sa prikupljanjem podataka iz ranije navedenih izvora međunarodnih institucija, a prema smernicama postojeće strategije razvoja energetike Republike Srbije (Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, 2015), model je obračunao da je potrebno ulaganje sredstava istaknutih u novčanim iznosima u okviru tabele broj 6.24.

Tabela 6.24: Projekcija investicija u okviru sektora energetike Republike Srbije za period od 2020. do 2050. godine (kumulativna vrednost prikazana u evrima, diskontna stopa 7,4% za 2020. godinu)

Vrsta investicije	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Investicije u prenosni sistem	385,991,792	385,991,792	530,738,715	578,987,689
Investicije u distributivni sistem	578,987,689	578,987,689	723,734,611	771,983,585
Rekonstrukcija i izgradnja toplotnih izvora	337,742,818	337,742,818.	385,991,792	385,991,792
Revitalizacija i izgradnja distributivne mreže	192,995,896	192,995,896.	289,493,844	289,493,844
Revitalizacija i izgradnja toplotnih podstanica	96,497,948	96,497,948.	144,746,922	192,995,896
Istraživanje proizvodnje nafte i prirodnog gasa	480,727,205	480,727,205.	336,172,870	336,172,870
Novi pravac snabdevanja prirodnim gasom	2,412,448,703	2,241,152,469	1,929,958,962	1,680,864,352
Interkonekcija sa zemljama regiona	67,234,574	67,234,574	112,057,623	134,469,148
Nova skladišta gasa	38,599,179	38,599,179	53,073,871	57,898,769
Završetak gasifikacije Republike Srbije	192,995,896	192,995,896	241,244,870	241,244,870
Modernizacija toplana	231,595,075	231,595,075	308,793,434	308,793,434
Modernizacija postojećih hidroelektrana	115,797,538	115,797,538	154,396,717	212,295,486
Modernizacija postojećih termoelektrana	611,796,991	611,796,991	771,983,585	907,080,712
Izgradnja termoelektrana na konvencionalna goriva	964,979,481	964,979,481	-	-
Izgradnja reverzibilnih hidroelektrana	578,987,689	578,987,689.	771,983,585.	916,730,507
Izgradnja novih kapaciteta OIE	2,964,995,954	3,061,493,902	3,399,236,720	4,653,710,046

Izvor: Analiza autora

U skladu sa preporukom Ministarstva finansija o usvajanju nivoa fiskalne diskontne stope (Ministarstvo finansija Republike Srbije, 2019), razmatra se iznos investicija i za diskontnu stopu od 4% za posmatrani vremenski period od 2025. do 2050. godine.

Tabela 6.25: Projekcija investicija u okviru sektora energetike Republike Srbije za period od 2020. do 2050. godine (kumulativna vrednost prikazana u evrima, diskontna stopa 4% za 2020. godinu)

Vrsta investicije	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Investicije u prenosni sistem	392,232,270	392,232,270	539,319,372	588,348,405
Investicije u distributivni sistem	588,348,405	588,348,405	735,435,507	784,464,541
Rekonstrukcija i izgradnja toplotnih izvora	343,203,236	343,203,236	392,232,270	392,232,270

Revitalizacija i izgradnja distributivne mreže	196,116,135	196,116,135	294,174,203	294,174,203
Revitalizacija i izgradnja toplotnih podstanica	98,058,068	98,058,068	147,087,101	196,116,135
Istraživanje proizvodnje nafte i prirodnog gasa	535,250,153	535,250,153	374,300,806	374,300,806
Rafinerijska prerada nafte	935,752,016	935,752,016	935,752,016	935,752,016
Promet derivata nafte	199,627,097	199,627,097	199,627,097	199,627,097
Transport nafte i derivata nafte	212,103,790	212,103,790	212,103,790	212,103,790
Novi pravac snabdevanja prirodnim gasom	2,451,451,689	2,495,338,709	1,961,161,351	1,871,504,032
Interkonekcija sa zemljama regiona	74,860,161	74,860,161	124,766,935	149,720,323
Nova skladišta gasa	39,223,227	39,223,227	53,931,937	58,834,841
Završetak gasifikacije Republike Srbije	196,116,135	196,116,135	245,145,169	245,145,169
Toplotni gubici	647,183,246	647,183,246	568,736,792	519,707,758
Modernizacija toplana	235,339,362	235,339,362	313,785,816	313,785,816
Modernizacija postojećih hidroelektrana	117,669,681	117,669,681	156,892,908	215,727,749
Modernizacija postojećih termoelektrana	621,688,148	621,688,148	784,464,541	921,745,835
Izgradnja termoelektrana na konvencionalna goriva	980,580,676	980,580,676	-	-
Izgradnja reverzibilnih hidroelektrana	588,348,405	588,348,405	784,464,541	931,551,642
Izgradnja novih kapaciteta OIE	3,012,932,184	3,110,990,252	3,454,193,488	4,728,948,367

Izvor: Analiza autora

Na osnovu zadatih parametara i različitih egzogenih pretpostavki alternativnih scenarija, može se videti velika razlika u iznosima potrebnih investicija na nivou sektora energetike Republike Srbije za vremenski period od 2020. do 2050. godine. Tako, ukupne investicije u obnovljive izvore energije premašile bi iznos od 4,5 milijardi evra do poslednje godine projekcije na primeru SCOIE2 scenarija. Izgradnja novih kapaciteta OIE zahtevala bi veoma visoka ulaganja i kod REF scenarija, prevashodno zbog očekivanih investicija iz oblasti vetroenergije. Suprotno, razlika između SCOIE1 i SCOIE2 scenarija nastala je prvenstveno zbog veće zastupljenosti solarne energije kod SCOIE2 scenarija.

Modeliranje novih skladišta gasa rezultovalo je zahtevom za višim investicijama od skoro 60 miliona evra za SCOIE2 scenario. Velika su i očekivanja po pitanju modernizacije postojećih hidroelektrana, kako bi se dostigao nivo energetske efikasnosti koji se prognozira. Takođe, poboljšanje stabilnosti energetske sistema uslovljeno je revitalizacijom i izgradnjom distributivne mreže, gde bi ukupne investicije bile 50% veće za ovaj scenario u odnosu na korigovane državne scenarije. Takav iznos uzrokovan je prethodno definisanim parametrima balansne odgovornosti i priključka na sistem većeg broja elektrana iz oblasti OIE. Posledično, očekuje se da bi zbirne investicije u distributivni i prenosni sistem bile skoro 1,4 milijarde evra. Fokus na daljoj integraciji OIE u energetske sektor smanjio bi investicione troškove sa strane snabdevanja prirodnim gasom, pri čemu bi i uvozna zavisnost bila daleko manja. Konkretno, kod ovog scenarija bi za ulaganje u nove pravce snabdevanja prirodnim gasom bila ostvarena značajna ušteda, od oko 580 miliona evra u odnosu na REF scenario.

Za sve posmatrane tehnologije korišćenja obnovljivih izvora energije predviđen je i pad kapitalnih troškova, zajedno sa smanjenjem varijabilnih troškova proizvodnje energije. U narednoj fazi proračuna uključene su tehnologije proizvodnje energije transformacijom. Takođe, ukazano je na to kako bi postavka procesnih efikasnosti elektrana, ušteda u potrošnji energije, obima investicija i pravila otpremanja energije mogla uticati na dinamiku kretanja fiksnih operativnih troškova elektrana za proizvodnju energije transformacijom.

Tabela 6.26: Projekcija dinamike kretanja fiksnih operativnih troškova elektrana za proizvodnju energije transformacijom u Republici Srbiji (u 1000 evra, diskontna stopa 7,4%, 2011. godina)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	675,001.6	608,067.2	581,187.1	564,569.4
2049	716,399.2	647,942.7	618,809.7	605,449.9
2048	760,229.0	690,391.0	658,800.8	649,269.2
2047	806,624.4	735,574.6	701,303.9	696,237.0
2046	855,725.3	783,665.9	746,470.7	746,577.9
2045	907,678.2	834,848.1	794,461.6	800,532.4
2044	963,651.2	886,550.2	844,059.0	859,144.4
2043	1,022,940.0	941,334.6	896,626.6	922,025.5
2042	1,085,729.0	999,374.6	952,331.0	989,485.4
2041	1,152,211.7	1,060,852.0	1,011,347.4	1,095,241.2
2040	1,222,591.1	1,125,958.0	1,073,859.7	1,176,020.1
2039	1,296,944.8	1,194,622.1	1,141,691.7	1,254,992.7
2038	1,375,611.1	1,267,285.6	1,213,656.5	1,339,206.0
2037	1,458,821.5	1,344,164.7	1,289,993.1	1,429,003.4
2036	1,546,817.8	1,425,485.6	1,370,953.0	1,556,052.2
2035	1,639,853.0	1,511,485.0	1,456,800.8	1,661,030.3
2034	1,744,793.0	1,607,338.5	1,550,209.6	1,770,321.8
2033	1,856,287.6	1,709,104.5	1,649,435.1	1,886,688.1
2032	1,974,732.4	1,817,133.6	1,754,825.0	2,010,578.8
2031	2,100,545.8	1,931,795.6	1,866,746.7	2,274,515.3
2030	2,234,170.0	2,053,480.8	1,985,588.0	2,425,731.5

Izvor: Analiza autora

Kako bi se ispitao uticaj integrisanja novih tehnologije OIE za proizvodnju energije transformacijom, posmatra se i dinamika kretanja varijabilnih troškova elektrana. Na bazi unetih podataka o kretanju varijabilnih troškova određene elektrane mogu se izvesti zaključci o uticaju na čitav proces transformacije energije na primeru Republike Srbije. Slično kao i u slučaju kapitalnih troškova, dobijeni su adekvatni pokazatelji dinamike kretanja opadajućih varijabilnih troškova proizvodnje energije.

Tabela 6.27: Projekcija dinamike kretanja varijabilnih troškova elektrana za proizvodnju energije transformacijom u Republici Srbiji (u 1000 evra, diskontna stopa 7,4%, 2011. godina)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	210,085.9	177,396.8	161,381.2	132,587.3
2049	222,995.9	189,331.4	172,236.4	142,237.2
2048	236,665.5	202,032.2	183,814.6	152,587.7
2047	251,108.5	215,575.2	196,163.4	163,689.5

2046	266,385.3	230,015.3	209,333.4	175,591.2
2045	282,547.4	245,411.0	223,348.9	188,355.8
2044	299,843.0	260,881.3	237,554.0	201,797.9
2043	318,150.8	277,296.3	252,638.6	216,196.1
2042	337,525.7	294,710.8	268,655.1	231,617.9
2041	358,025.5	313,182.9	285,658.9	251,406.1
2040	379,710.6	332,723.9	303,616.4	269,417.6
2039	402,873.4	353,721.3	323,662.3	288,745.4
2038	427,368.8	376,000.9	345,008.2	309,455.2
2037	453,243.7	399,637.1	367,736.1	331,645.4
2036	480,604.5	424,708.1	391,933.4	359,976.5
2035	509,490.3	451,246.9	417,692.5	385,892.7
2034	542,129.2	480,781.7	446,527.5	415,237.5
2033	576,815.3	512,221.1	477,345.8	446,809.9
2032	613,659.4	545,685.6	510,283.6	480,538.7
2031	652,797.3	581,303.3	545,263.4	554,617.1
2030	694,376.5	619,209.9	582,512.7	596,248.6

Izvor: Analiza autora

6.9.1 Neto sadašnja vrednost scenarija i ukupna emisija GHG gasova

Procenom ukupne neto sadašnje vrednosti po alternativnom scenariju na nivou celokupnog energetskog sektora može se dobiti celovita slika o ekonomsko-finansijskoj analizi ostvarenja određene projekcije. Neto sadašnja vrednost može u kratkim crtama približiti značaj realizacije određenog scenarija, ali i utvrditi preveliko finansijsko opterećenje za nacionalni energetski sistem.

Tabela 6.28: Procena ukupne neto sadašnje vrednosti scenarija i ukupne emisije GHG gasova od 2011. do 2050. godine - diskontna stopa 7,4% za 2011. godinu

Scenario	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2 PUN	SCOIE2 PRO
Kategorija					
Neto sadašnja vrednost scenarija (u hiljadama evra)	365,421,440	348,843,712	337,959,998	409,688,814	403,950,336
Emisija GHG gasova (u milionima metričkih tona ekvivalentne CO ₂)	2,914	2,525	2,301	2,051	2,051

Izvor: Analiza autora

Tabela 6.29: Procena ukupne neto sadašnje vrednosti scenarija i ukupne emisije GHG gasova od 2020. do 2050. godine - diskontna stopa 7,4% za 2020. godinu

Scenario	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2 PUN	SCOIE2 PRO
Kategorija					
Neto sadašnja vrednost scenarija (u hiljadama evra)	357,735,366	329,474,792	311,676,566	387,268,138	366,328,196
Emisija GHG gasova (u milionima metričkih tona ekvivalentne CO ₂)	2,344	1,955	1,732	1,499	1,499

Izvor: Analiza autora

U ovom slučaju, može se potvrditi da bi SCOIE2 scenario doveo do izuzetno velikog porasta ukupnih troškova, posebno u oblasti proizvodnje energije transformacijom. Opterećenje sistema bi bilo još veće ukoliko deo odgovornosti ne bi preuzeli povlašćeni proizvođači energije. Visok rast izvoza električne energije verovatno ne bi mogao da opravda ovakvu promenu u ukupnim troškovima, tako da su kod SCOIE2 scenarija još jednom prikazani potencijali za destabilizaciju energetskog sistema u kontekstu pojave potpunog prekida u snabdevanju električnom energijom. Ukoliko se ovi rezultati posmatraju kroz okvir prethodnih ishoda testiranja troškovne efikasnosti SCOIE2 scenarija, može se tvrditi da je u pitanju scenario najvećeg rizika po energetske bezbednost Republike Srbije, sa aspekta restrukturiranja energetskih tokova na nacionalnom nivou.

6.9.2 Uticaj mehanizma podrške za obnovljive izvore energije na kretanje troškova proizvodnje energije transformacijom

Uz pretpostavku definisanja nepromenjenog nivoa podsticajnih otkupnih cena, to jest mehanizma podrške za povlašćene i privremeno povlašćene proizvođače energije u Republici Srbiji, ispitani su kumulativni ukupni troškovi za proizvodnju električne energije transformacijom. Posmatran je celokupan period simulacije modela od 2011. do 2050. godine. Podsticajne otkupne cene unete su u LEAP modelu za svaku tehnologiju OIE pojedinačno, a u skladu sa zvaničnim podacima Agencije za energetiku Republike Srbije.

Ispitivanje je sprovedeno na osnovu dostupnih podataka o nivou preferencijalnih otkupnih cena za period do 2020. godine. LEAP ispunjava tehničke uslove za navedeno testiranje sa ciljem donošenja zaključaka o trećoj istraživačkoj hipotezi, to jest da li su mehanizmi podrške ekonomski opravdani za projektovani vremenski period.

Na osnovu dobijenih rezultata, može se komentarisati na koji način bi podsticajne otkupne cene uticale na ukupne troškove proizvodnje električne energije transformacijom na nivou energetskog sektora. S obzirom da je u LEAP-u bilo moguće uneti podatke o ovim cenama samo za modul transformacije energije, navedena kategorija je izdvojena kao posebno relevantna za istraživanje. Iznosi izraženi u novčanim jedinicama sugerišu da bi intenziviranje korišćenja OIE do jedne tačke dovelo do manjih ukupnih troškova proizvodnje energije. To se objašnjava činjenicom da su u alternativnim scenarijama SCOIE1 i SCOIE2 detaljno precizirani svi uslovi za poboljšanje energetske efikasnosti na dugi rok.

Tabela 6.30: Projekcija kumulativnih ukupnih troškova za proizvodnju električne energije transformacijom u Republici Srbiji za period do 2050. godine (u evrima)

Kategorija	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2 PUN	SCOIE2 PRO
Transformacija energije	60,429,898,300	59,933,249,670	57,875,858,706	80,698,521,392	76,741,938,560

Izvor: Analiza autora

Rezultati ukazuju da bi postepenom integracijom kapaciteta OIE zapravo došlo do smanjenja ukupnih troškova, bez obzira što bi opterećenja sa strane podsticajnih otkupnih cena imala veću apsolutnu vrednost, usled instaliranja novih proizvodnih kapaciteta. Uštede u energiji, novi sistemi skladištenja energije, pad gubitaka električne energije u distribuciji i prenosu, veća procesna efikasnost elektrana i svi prethodno objašnjeni parametri doveli bi energetske sistem do istovremenog poboljšanja energetske efikasnosti i manjih ukupnih troškova iz ugla subvencionisanih prodajnih cena električne energije. Poredeći REF scenario sa SCOIE1 scenarijom umerenog korišćenja OIE, mogu se videti niži troškovi za nešto više od 2,5 milijarde evra. U prilog ide i činjenica da se poređenjem sa REF scenarijom predviđa razlika u ukupnim troškovima od 0,82% u korist SCEE scenarija državnih mera energetske efikasnosti. Za dodatnu proveru stepena pouzdanosti empirijskih nalaza posmatra se i slučaj SCOIE2 scenarija, testiranjem obe opcije. U skladu sa posmatranim ishodom testiranja odabranog modula transformacije energije, sa visokim stepenom pouzdanosti se može potvrditi hipoteza broj 3 za SCEE i SCOIE1 scenarije.

SCOIE2 scenario intenzivnog korišćenja obnovljivih izvora energije pokazuje nešto drugačije rezultate kretanja ukupnih troškova proizvodnje energije transformacijom. Kao što je i ranije napomenuto, navedeni scenario kod opcije punog kapaciteta OIE ima za cilj potpunu eliminaciju određenih vrsta fosilnih goriva iz energetskog miksa do 2025. godine. S tim u vezi, kao i kroz posmatranje kretanja ukupnih troškova transformacije energije, dobija se visok iznos sa aspekta analize troškova i koristi mehanizma podrške OIE. Za razliku od kretanja u okviru drugih alternativnih scenarija, kod SCOIE2 – pun kapacitet OIE prognozira se rast ukupnih troškova upravo zbog načina na koji su definisani parametri otpremanja energije i prekida uvoza sirove nafte. Uzročnik rasta ukupnih troškova kod opcije proporcionalnog kapaciteta OIE za SCOIE2 scenario može se posmatrati kroz daleko intenzivniju integraciju hidro energije, solarne energije i biomase. Stoga je teško doći do zaključka o ekonomskoj opravdanosti mehanizama podrške OIE za ovaj scenario, dok su istovremeno uočene očigledne koristi po društveno blagostanje.

Ekonomska isplativost za obe opcije SCOIE2 scenarija bi se mogla analizirati ako bi nivo podsticajnih otkupnih cena za vremenski rok do 2050. godine bio poznat, kao i precizno kretanje cena električne energije. Ovako, visoki troškovi dostizanja ambicioznih ciljeva mogli bi biti opravdani na dugi rok, ali za posmatrani vremenski period do 2050. godine ne postoji dovoljno podataka da se to potvrdi. Sa druge strane, uštede koje realizacija ovog scenarija donosi, smanjenje društvenih troškova, kao i efikasnije korišćenje tehnologija mogu se videti u širem kontekstu doprinosa održivom razvoju energetike. Problem koji ovde može nastati tiče se pitanja optimalne kombinacije oblika energije na nivou nacionalnog energetskog sistema.

Prethodnom analizom je utvrđeno da bi se sistem mogao dovesti u situaciju manje energetske bezbednosti, što dodatno otežava razmatranje ekonomskih faktora pomenutog energetskog miksa. S obzirom da se radi o scenariju izražene izvozne orijentacije energetike, povećanjem vremenske

prognoze analize i fleksibilnosti energetskog sistema potencijalno bi se dobili precizniji odgovori na pitanje ekonomske opravdanosti mehanizma podrške OIE u okviru SCOIE2 scenarija. Adekvatna analiza mogla bi se sprovesti i ukoliko bi se raspolagalo podacima o budućim cenama električne energije. Nedostajući elementi za navedeno ispitivanje navode na zaključak da se hipoteza broj 3 ne može potvrditi za SCOIE2 scenario.

6.10 Ispitivanje odnosa između ključnih pretpostavki modela

Za potrebe ispitivanja korelacije ključnih pretpostavki modela i relevantnih energetskih indikatora korišćeni su *Kaya* i *IPAT* identiteti, kao i metodologija dekompozicije po osnovu *Kaya* faktora. Kombinacijom navedenih identiteta nastoji se da se celovito obuhvati ispitivanje međuzavisnosti indikatora, to jest odnos između projektovanih kretanja ekonomskih i demografskih podataka i dobijenih rezultata po osnovu razvoja energetskog sistema. Fokus je na analizi ekonomskih karakteristika sistema i aproksimaciji kretanja makroekonomskih indikatora. Posebna pažnja data je ekonomskim osnovama za smanjenje štetnih gasova sa efektom staklene bašte. Tako, prvobitni oblik *Kaya* identiteta dekompozicije emisije ugljen-dioksida C iz energetskih procesa prikazan je kao (Kaya, 1990):

$$C = \frac{C}{E} \times \frac{E}{B} \times \frac{B}{P} \times P \quad (6.8)$$

gde je E upotreba energije, B je bruto domaći proizvod i P je ukupno stanovništvo.

Za ispitivanje više sektora potrošnje matematički identitet se može formulisati i kao (Gao et al., 2016):

$$\begin{aligned} C &= \sum_j C_j + \sum_k C_k \quad (6.9) \\ &= \sum_j \left[\left(\sum_i emi^i \times \frac{E_j^i}{E_j} \right) \times \frac{E_j}{B_j} \times \frac{B_j}{B} \times \frac{B}{P} \times P \right] + \sum_k \left[\left(\sum_i emi^i \times \frac{E_k^i}{E_k} \right) \times \frac{E_k}{P_k} \times \frac{P_k}{P} \times P \right] \\ &= \sum_{n \in \{j,k\}} \left[\left(\sum_i emi^i \times \frac{E_n^i}{E_n} \right) \times \left(\frac{E_j}{B_j} \times \frac{B_j}{B} \times \frac{B}{P} + \frac{E_j}{P_k} \times \frac{P_k}{P} \right) \times P \right] \\ &= \sum_{n \in \{j,k\}} [es_n \times (e_j \times int_j \times b) \times p] \end{aligned}$$

gde j, k, i prikazuju ekonomski sektor, vrstu energije i vrstu domaćinstava (gradsko i ostalo područje), respektivno; E_j^i opisuje potrošnju goriva i u sektoru j ; izrazi emi, b, int, e, es predstavljaju faktor

emisije ugljen-dioksida, BDP po stanovniku, udeo BDP-a za određeni sektor, energetske intenzitet sektora i udeo određenog oblika energije u sektoru potrošnje, respektivno.

Shodno tome, agregirane emisije ugljen dioksida mogu se dekomponovati na opšti ekonomski sektor i po sektoru potrošnje energije, za ispitivanje pet ključnih pokretača korelacije: (1) energetske efikasnosti, (2) ekonomskog rasta, (3) ekonomske strukture, (4) energetske strukture i (5) ukupnog broja stanovnika.

IPAT identitet posmatra uticaj ljudskih aktivnosti na životnu sredinu (I – *Environmental Impact*) kao proizvod tri faktora: stanovništva (P – eng. *Population*), bogatstva izraženog u vidu prosečne potrošnje po stanovniku (A – eng. *Affluence*) i tehnologije (T – eng. *Technology*). Primenom kombinovanih identiteta na osnovu pomenute dekompozicije faktora dati su rezultati za alternativne scenarije podsticaja korišćenja obnovljivih izvora energije.

Prema rezultatima IPAT/Kaya identiteta koji slede u nastavku, primetan je značajan pad energetske intenziteta do koga bi došlo u slučaju realizacije SCOIE1 i SCOIE2 scenarija. Što se tiče količine i udela finalne potrošnje energije u bruto domaćem proizvodu, uočeno je da on opada srazmerno sa očekivanim realnim rastom BDP-a. Ključne pretpostavke modela o ekonomskom rastu i ukupnom broju stanovnika Republike Srbije ukazuju na adekvatan stepen razvoja održivosti energetske sektora.

Podaci o makroekonomskim projekcijama privrednog razvoja ukazuju na to da bi finalna potrošnja energije smanjila udeo u BDP-u sa -449.733GWh na -1.228.798 GWh na primeru SCOIE1 scenarija za period od 2030. do 2050. godine. Procentualno posmatrano, razlika bi bila celih 63,4%. Primarna proizvodnja energije rasla bi po bržoj stopi od potrošnje primarne energije, dok bi se smanjenje ukupnog stanovništva prema stopi srednjeg fertiliteta odrazilo na nešto nižu stopu finalne potrošnje energije, uprkos intenziviranju aktivnosti u okviru industrijskog sektora.

Navedena razlika u udelu finalne potrošnje energije u BDP-u bila bi nešto veća kod SCOIE2 scenarija, na nivou razlike od 63,55% za period od 2030. do 2050. godine. Međutim, proizvodnja primarne energije bi bila za 8,61% manja u slučaju ovog scenarija. Dakle, na osnovu rezultata moglo bi se konstatovati da bi kretanja u okviru energetske sektora imala povoljniji uticaj na makroekonomsku stabilnost zemlje na primeru SCOIE1 scenarija. Pregled rezultata prema IPAT/Kaya identitetu na osnovu kreiranog modela dat je na naredne dve strane.

Tabela 6.31: Izveštaj dekompozicije za energetske sektor Republike Srbije primenom IPAT/Kaya identiteta – SCOIE2 scenario

Indikator	Jedinica	2030	2032	2034	2036	2038	2040	2042	2044	2046	2048	2050
Stanovništvo	Stanovnika	6,379,056.	6,289,206.	6,199,356.	6,119,308.	6,049,061.	5,978,815.	5,930,493.	5,882,171.	5,838,684.	5,800,031.	5,761,378.
Bruto domaći proizvod	Miliona RSD	11,287,100.	12,208,127.	13,204,311.	14,281,782.	15,447,176.	16,707,665.	18,071,011.	19,545,605.	21,140,527.	22,865,594.	24,731,426.
Finalna potrošnja energije	Miliona GJ	482.	484.	485.	486.	487.	487.	490.	493.	496.	500.	503.
Primarna potrošnja energije	Miliona GJ	457.	541.	539.	541.	555.	553.	574.	576.	571.	569.	564.
GHG štetni gasovi	Miliona tona	49.	49.	48.	47.	47.	46.	45.	45.	43.	42.	41.
Proizvodnja primarne energije	GWh	127,639.	130,279.	130,687.	131,971.	132,992.	132,866.	133,434.	134,608.	133,862.	134,528.	134,234.
BDP/POP	Miliona RSD/Stanovnika	2.	2.	2.	2.	3.	3.	3.	3.	4.	4.	4.
FPE/BDP	GJ/RSD	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
PPE/FPE	GJ/GJ	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
GHG/PPE	Tona/GJ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
PRO/GHG	GWh/miliona tona	2,594.	2,668.	2,728.	2,786.	2,839.	2,893.	2,954.	3,017.	3,094.	3,183.	3,279.
PRO	GWh	127,639.	130,279.	130,687.	131,971.	132,992.	132,866.	133,434.	134,608.	133,862.	134,528.	134,234.
POP	2011=1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
BDP/POP	2011=1	4.	4.	5.	5.	6.	6.	7.	7.	8.	9.	10.
FPE/BDP	2011=1	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
PPE/FPE	2011=1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
GHG/PPE	2011=1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
PRO/GHG	2011=1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	2.	2.	2.
PRO	2011=1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
POP	GWh	-21,545.	-23,942.	-26,338.	-28,473.	-30,346.	-32,220.	-33,509.	-34,798.	-35,957.	-36,988.	-38,019.
BDP/POP	GWh	504,150.	561,569.	623,477.	689,979.	761,473.	838,648.	921,382.	1,010,763.	1,107,203.	1,211,288.	1,323,783.
FPE/BDP	GWh	-455,227.	-509,733.	-568,719.	-632,645.	-701,906.	-776,836.	-857,016.	-943,830.	-1,037,676.	-1,139,142.	-1,249,001.
PPE/FPE	GWh	-95,641.	-73,364.	-74,523.	-74,457.	-70,928.	-71,920.	-67,456.	-68,075.	-71,037.	-73,099.	-76,109.
GHG/PPE	GWh	-24,269.	-47,842.	-49,054.	-50,637.	-55,597.	-56,818.	-64,071.	-65,846.	-67,034.	-68,589.	-69,865.
PRO/GHG	GWh	28,488.	31,910.	34,162.	36,522.	38,614.	40,330.	42,422.	44,711.	46,682.	49,376.	51,762.
SCOIE2	GWh	127,639.	130,279.	130,687.	131,971.	132,992.	132,866.	133,434.	134,608.	133,862.	134,528.	134,234.

Izvor: Kalkulacija autora

Tabela 6.32: Izveštaj dekompozicije za energetske sektor Republike Srbije primenom IPAT/Kaya identiteta – SCOIE1 scenario

Indikator	Jedinica	2030	2032	2034	2036	2038	2040	2042	2044	2046	2048	2050
Stanovništvo	Stanovnika	6,379,056.	6,289,206.	6,199,356.	6,119,308.	6,049,061.	5,978,815.	5,930,493.	5,882,171.	5,838,684.	5,800,031.	5,761,378.
Bruto domaći proizvod	Miliona RSD	11,287,100	12,208,127	13,204,311	14,281,782	15,447,176	16,707,665	18,071,011	19,545,605	21,140,527	22,865,594	24,731,426.
Finalna potrošnja energije	Miliona GJ	495.	498.	502.	506.	510.	515.	521.	528.	534.	541.	548.
Primarna potrošnja energije	Miliona GJ	718.	723.	723.	726.	732.	736.	742.	750.	755.	759.	764.
GHG štetni gasovi	Miliona tona	54.	54.	54.	54.	54.	54.	54.	55.	55.	55.	54.
Proizvodnja primarne energije	GWh	137,148.	138,905.	138,616.	139,191.	140,603.	141,291.	142,926.	144,773.	145,654.	146,262.	146,895.
BDP/POP	Miliona RSD/Stanovnika	2.	2.	2.	2.	3.	3.	3.	3.	4.	4.	4.
FPE/BDP	GJ/RSD	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
PPE/FPE	GJ/GJ	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
GHG/PPE	Tona/GJ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
PRO/GHG	GWh/miliona tona	2,530.	2,557.	2,570.	2,584.	2,600.	2,613.	2,629.	2,648.	2,664.	2,681.	2,697.
PRO	GWh	137,148.	138,905.	138,616.	139,191.	140,603.	141,291.	142,926.	144,773.	145,654.	146,262.	146,895.
POP	2011=1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
BDP/POP	2011=1	4.	4.	5.	5.	6.	6.	7.	7.	8.	9.	10.
FPE/BDP	2011=1	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
PPE/FPE	2011=1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
GHG/PPE	2011=1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
PRO/GHG	2011=1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
PRO	2011=1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
POP	GWh	-21,545.	-23,942.	-26,338.	-28,473.	-30,346.	-32,220.	-33,509.	-34,798.	-35,957.	-36,988.	-38,019.
BDP/POP	GWh	504,150.	561,569.	623,477.	689,979.	761,473.	838,648.	921,382.	1,010,763.	1,107,203.	1,211,288.	1,323,783.
FPE/BDP	GWh	-449,733.	-503,179.	-561,114.	-623,633.	-691,135.	-764,314.	-842,845.	-928,018.	-1,020,328.	-1,120,360.	-1,228,798.
PPE/FPE	GWh	-30,577.	-30,786.	-32,352.	-33,348.	-33,802.	-34,943.	-36,075.	-36,968.	-38,629.	-40,369.	-42,066.
GHG/PPE	GWh	-84,765.	-85,894.	-86,677.	-87,692.	-88,924.	-89,906.	-91,081.	-92,490.	-93,820.	-95,324.	-96,854.
PRO/GHG	GWh	27,936.	29,456.	29,938.	30,677.	31,655.	32,344.	33,371.	34,602.	35,504.	36,333.	37,167.
SCOIE1	GWh	137,148.	138,905.	138,616.	139,191.	140,603.	141,291.	142,926.	144,773.	145,654.	146,262.	146,895.

Izvor: Kalkulacija autora

7 ZAKLJUČAK

7.1 Zaključna razmatranja

Na osnovu pregleda naučne i stručne literature može se konstatovati da energetska efikasnost i mehanizmi podrške za obnovljive izvore energije predstavljaju ključne faktore održivog razvoja sektora energetike. Istraživanja koncepta energetske efikasnosti posebno dobijaju na značaju u drugoj polovini 1970tih godina, nakon prve svetske naftne krize. Veliki šok na energetskom tržištu podstiče kreatore energetske politike da veći fokus usmere ka ispitivanju ekonomskih posledica nastanka tržišnih diskontinuiteta.

Izučavanjem istorijata energetske procesa na svetskom nivou uviđa se značaj ekonomske misli za kreiranje održivih i ekonomski isplativih energetske sistema. Pod okriljem naučne discipline ekonomike energetike razvijeni su kompleksni modeli za analizu sektora energetike, koji pružaju mogućnost predviđanja energetske tokova na dugi rok. U cilju poboljšanja energetske efikasnosti nastala su sofisticirana softverska rešenja za optimizaciju energetske sistema, kako bi se adekvatno merili i kontrolisali ostvareni poslovni rezultati. Praksa je pokazala evidentan pomak ka sveobuhvatnom ispitivanju ekonomsko-finansijskih pokazatelja poslovanja energetske subjekata, uz specifičan pristup merenju operativnih performansi elektrana.

U uslovima stalnih promena u eksternom okruženju i intenzivnih inovacija na polju uvođenja novih tehnologija, upravljati energetskim kompanijama izuzetno je zahtevna i kompleksna odgovornost. Kompleksnosti doprinosi činjenica da su i tehničko-tehnološke i društveno-humanističke nauke podjednako važne za izučavanje energetike. Održivi razvoj energije je stoga često neophodno posmatrati kroz interdisciplinarno istraživanje celih sistema, koje ima brojne radikalne, integrativne i trans-disciplinarne elemente (Winskel, 2018). Premda je ekonomika energetike u prošlosti uglavnom posmatrana kroz prizmu upravljanja rizikom u uslovima energetske krize, današnji koncepti primene se postepeno menjaju i prilagođavaju dinamičkim uslovima na tržištu energenata. Nova paradigma kontinuiranog praćenja promena u poslovanju postaje karakteristična za savremene pristupe upravljanju elektranama novih generacija.

Istraživanjem relevantnih teorija iz oblasti ekonomike energetike prikazan je značaj energetskog modeliranja za ekonomsku analizu energetske sistema i ukazano je na naučnu osnovanost predmeta istraživanja. Teorijski aspekti doktorske disertacije upućuju na aktuelnost teme istraživanja, to jest na modele koji imaju sposobnost da se fleksibilno prilagođavaju sve zahtevnijim uslovima poslovanja u energetskom sektoru. Integracija ekonomskih indikatora i sprovođenje ekonomske analize upotrebom naprednih softverskih rešenja pruža odgovore na brojna pitanja u vezi dugoročne ekonomske prognoze upotrebe oblika energije. O aktuelnosti govori i podatak da su određeni modeli razvijeni tek u prethodnih nekoliko godina. To je slučaj sa hibridnim energetskim modeliranjem, koje nalazi svoju primenu i u ispitivanju novih formi istovremene upotrebe dva ili više obnovljiva izvora energije od strane jedne elektrane, to jest jednog energetskog subjekta (Cuesta et al., 2020).

Blagovremeno korišćenje dostupnih informacija je od presudnog značaja za stratejsko planiranje razvoja energetskog sektora i za adekvatnu implementaciju strategija energetske politike. Informaciona asimetrija u kontekstu procesa odlučivanja o proizvodnji i potrošnji energije primetna je na nivou individualnih tržišnih učesnika. Neretko korisnici energije oblikuju preferencije na bazi nepotpunih informacija, što može dovesti do neracionalne potrošnje energije.

Pored navedenog, neusklađenost sposobnosti učesnika na tržištu da samostalno donose odluke može izazvati veću spremnost kreatora energetske politike da definišu prioritete strategije razvoja energetike suprotno opštim interesima društva. Dodatno, nedostatak društvene svesti i znanja o implikacijama korišćenja konvencionalnih izvora energije otvara prostor za kreiranje monopolističke pozicije energetskog subjekta na nacionalnom nivou. Potencijalno, pomenuta asimetrija šteti energetskom sistemu i kroz nedovoljno angažovanje komponenti energetske efikasnosti prilikom primarne i sekundarne proizvodnje energije.

Savremeni energetske modeli mogu promeniti tok investicionih odluka i navesti celokupno društvo da deluje prema postulatima održive energije, a na osnovu dalekosežnih informacija o koristi i troškovima upotrebe izvora energije koje bi potrošači imali (Heuberger et al., 2017). Važnost projekcije ekonomske isplativosti upotrebljenih tehnologija za eksploataciju obnovljivih izvora energije posebno dolazi do izražaja u dinamičnim i promenljivim uslovima poslovanja. Bez obzira na njihovu visoku efikasnost, ovi izvori energije i dalje u velikoj meri zavise od državnih mehanizama podrške, posebno u inicijalnoj fazi proizvodnje energije. Problem niskog nivoa maksimalne dostupnosti oblika energije i sezonskih varijacija u proizvodnji podstakao je brojne debate o balansnoj odgovornosti povlašćenih energetskih subjekata, kao i o njihovom postupanju u slučaju neispunjenja zahteva za proizvodnjom energije.

Limitirajući faktori poput geografske lokacije, infrastrukturnih problema pristupu elektranama, gubitaka električne energije u prenosnom sistemu i izazova skladištenja energije i dalje postoje. Postepena integracija obnovljivih izvora energije u okviru elektroenergetskog sistema, uz adekvatan mehanizam podrške njihovog korišćenja podstakli bi dodatnu stabilnost u snabdevanju energijom i smanjili bi zavisnost od upotrebe tehnologija sa visokom emisijom štetnih gasova. Jačanje finansijske i organizacione sposobnosti povlašćenih i privremeno povlašćenih proizvođača energije državnim merama podrške zasigurno bi otvorilo put ka dugoročnom formiranju održivog energetskog sektora. Pitanje je samo u kojoj meri i na koji način bi trebalo stimulisati navedene proizvođače, kako bi se u potpunosti ispitali dugoročni efekti posebnih podsticaja po razvoj energetike na primeru Republike Srbije.

Sa aspekta ekonomske nauke, analiza energetskih sistema prvobitno se posmatra u zavisnosti od kretanja osnovnih makroekonomskih trendova, koji se mogu predstaviti u formi ključnih pretpostavki u okviru energetskog modela. Dodatno, inkorporacijom relevantnih metoda i tehnika mikroekonomske analize u modelu se dobija celovit prikaz sistema i olakšano razumevanje međuzavisnosti između energetskih subjekata. Pri tome, važno je i ispitivanje odnosa između energetskog sektora i ostalih sektora potrošnje energije. U skladu sa tim, predmet istraživanja doktorske disertacije bila je dugoročna projekcija razvoja energetskog sektora Republike Srbije kreiranjem modela koji ima mogućnost da sagleda relevantne makroekonomske trendove, kao i mikroekonomske procese iz oblasti energetike.

Rezultati empirijske analize doktorske disertacije objedinjuju nalaze kreiranog modela dobijene na osnovu postavke alternativnih scenarija razvoja energetike Republike Srbije do 2050. godine. Istraživanje ukazuje na činjenicu prisustva brojnih limitirajućih faktora, ali i šansi za razvoj energetskih sistema na nacionalnom nivou. Važnost pravovremene realizacije investicija radi revitalizacije postojeće opreme, uloga nove opreme za održavanje kontinuiteta i stabilnosti u proizvodnji električne energije, kao i detaljno ispitivanje korišćenja alternativnih izvora energije prikazani su komparacijom dobijenih rezultata, koji bi se mogli ostvariti za posmatrani vremenski period. Ukazano je na faktore koji razdvajaju uspešne strategije održivog razvoja energetskog sektora od izostanka delovanja u području uspostavljanja stabilnih sistema i podсистema energetike. Ono na šta rezultati istraživanja takođe upućuju jeste optimalan nivo aktivnosti potreban da bi se ostvarila realistična projekcija strategije razvoja energetike Republike Srbije do 2050. godine, sa posebnim osvrtom na korišćenju obnovljivih izvora energije.

Izbor metodologije *bottom-up* („odozdo ka gore“) energetskog modeliranja pokazao se adekvatnim za specifične potrebe ispitivanja relacija u okviru sektora i za dobijanje relevantnih projekcija o budućem korišćenju izvora energije. Programska naprednost odabranog metodološkog okvira dala je prostora za prognozu korišćenja obnovljivih izvora energije sa aspekta rasta energetske efikasnosti. Identifikacija uticaja korišćenja obnovljivih izvora energije na troškovnu efikasnost sistema dodatno je potvrdila opravdanost implementacije predloženih strategija za razvoj energetike. Teorijskim pregledom vrsta energetskih modela i njihovim upoređivanjem objašnjen je razlog odabira *bottom-up* modela. Sam postupak kreiranja modela se u velikoj meri odrazio na originalnost doktorske disertacije. Pokazano je da je odabrani pristup doprineo ostvarenju cilja projekcija energetskog miksa koji bi se mogao dostići na nacionalnom nivou, a u skladu sa trenutnim stanjem u kome se nalazi sektor energetike.

Ekološka komponenta ekonomske analize takođe je razmatrana i po tom pitanju su dobijeni zadovoljavajući rezultati. Navedeni metodološki okvir uspešno je primenjen za potrebe projekcije velikih promena na primeru energetike Republike Srbije. Od instrumenta za modeliranje zahtevani su tehnički uslovi za definisanje ključnih pretpostavki o projekciji kretanja bruto domaćeg proizvoda i ukupnog stanovništva Republike Srbije za posmatrani vremenski period od 2011. do 2050. godine. Na osnovu detaljne analize opcija brojnih alata za modeliranje utvrđeno je da upotrebljeni LEAP instrument ima sve neophodne karakteristike *bottom-up* energetskog modeliranja i da ispunjava zahteve postavljene u okviru pripreme za izradu modela, radi sprovođenja empirijskog istraživanja. Pregledom literature, nije identifikovan naučni rad koji na istovetan način i za isti vremenski period projektuje razvoj sektora energetike Republike Srbije.

U pogledu ostvarenog cilja obuhvatanja makroekonomske i mikroekonomske analize, odabir LEAP instrumenta za modeliranje i optimizaciju razvoja energetskog sektora Republike Srbije pokazao se opravdanim. Navedeni softverski alat omogućio je unos svih ključnih pretpostavki, kao i endogenih i egzogenih varijabli modela. Između ostalih prednosti, LEAP se pokazao pogodnim za sprovedeno istraživanje zbog njegove primenjivosti na različitim nivoima energetskog sistema. Može se zaključiti da je softverski instrument LEAP uspešno upotrebljen prema predviđenom planu doktorske disertacije za samostalno kreiranje jedinstvenog modela projekcija budućih energetskih tokova. Primenom ovog instrumenta, svi relevantni podaci o funkcionisanju sektora energetike su uključeni u empirijsko istraživanje.

Na osnovu analize, zaključeno je da se visoka fleksibilnost instrumenta LEAP ogleda i u činjenici da može ispuniti određene hibridne forme energetskog modeliranja, kako bi se povećala preciznost predviđanja potražnje za energijom na dugi vremenski rok. Adaptivnost instrumenta potrebama kreiranja specifičnih karakteristika sektora energetike na nacionalnom nivou posebno je izražena u inicijalnoj fazi modeliranja, gde nije zahtevan veliki broj podataka od korisnika. Štaviše, rastom obima podataka uvećava se i kompleksnost modela, tako da je instrument LEAP obezbedio da se istraživanje realizuje sa visokim stepenom preciznosti. Time su ispunjeni zahtevi sa aspekta kreiranja modela koji realno odslikava sektor energetike Republike Srbije i sve njegove integrisane komponente.

Validacija modela za proizvodnju energije transformacijom u periodu od 2012. do 2019. godine je takođe potvrdila da LEAP ispunjava uslove za dugoročnu projekciju sektora energetike. Godina 2011. je izabrana kao prva godina za koju se unose podaci u model, s obzirom da je tada poslednji put izvršen popis stanovništva, domaćinstava i stanova u Republici Srbiji, dok je 2012. godina uzeta za prvu godinu scenarija. Navedeni vremenski raspon do poslednjeg objavljenog energetskog bilansa iz 2020. godine poslužio je da se ispita verodostojnost modela i da se umanje eventualna odstupanja do kojih bi došlo prilikom projekcije. Posebna pažnja je data validaciji modela, kako zbog drugačijeg metodološkog pristupa u odnosu na državne projekcije, tako i zbog različitog ugla posmatranja poslovanja energetskih subjekata.

Softverski instrument LEAP za energetska modeliranje pokazao je izrazito napredne opcije testiranja otpremanja oblika energije prema *bottom-up* pristupu, što je olakšalo postupak identifikacije ključnih indikatora energetskeg razvoja. Poredeći dobijene rezultate empirijskog istraživanja sa trenutnim stanjem energetike u Republici Srbiji, postoji opravdano mišljenje da su projekcije realne za zadati vremenski period i ostvarive u odnosu na raspoloživi tehnički potencijal izvora energije na nacionalnom nivou. Najvažniji cilj usled upotrebe pomenutog instrumenta bio je dugoročna projekcija mogućeg nastanka jednog od alternativnih energetskeg scenarija koji bi Republika Srbija bila u stanju da dostigne. Rezultati su pokazali u kom stepenu i kojom brzinom bi promene trebalo da budu implementirane kako bi se ostvarili zadati ciljevi do 2050. godine. U tom kontekstu, LEAP je poslužio za definisanje pravila prioritetne proizvodnje električne i toplotne energije, u zavisnosti od oblika energije.

Na osnovu okvira za optimizaciju zasnovanog na linearnom programiranju, energetska sistem je konfigurisan tako da se otprema prvo oblik energije koji ima najnižu neto sadašnju vrednost društvenih troškova, a da ujedno zadovoljava i tekuće potrebe za energijom. S obzirom da je cilj istraživanja bio da se ukaže na značaj korišćenja obnovljivih izvora energije i podsticajnog mehanizma za njihovu eksploataciju, LEAP instrument je u potpunosti ispunio sve zahteve izvršenog energetskeg modeliranja. Dodavanjem endogenog kapaciteta elektrana koje proizvode energiju iz obnovljivih izvora omogućeno je prevazilaženje problema sezonskog karaktera ovog vida proizvodnje energije. Time je data podrška modelu u slučaju neočekivanih promena u potražnji za energijom i u uslovima nastanka energetske krize. Takođe, u okviru LEAP instrumenta je definisana automatska upotreba endogenih kapaciteta kako bi se zadržao planirani nivo margine rezervi energije prilikom proizvodnje energije transformacijom, što je veoma značajno sa aspekta optimizacije modela za projekciju razvoja energetike.

Odabrani instrument korišćen je i u svrhu prognoze emisije gasova sa efektom staklene bašte iz sektora energetike i ekonomskih posledica koje bi imala njihova potencijalna pojava. Sprovedena je zasebna analiza, kako bi se ispitala veza između zaštite životne sredine i smanjenja društvenih troškova. Utvrđeni su i troškovi nastalih ekoloških eksternalija uzrokovanih aktivnostima iz sektora energetike. S obzirom da LEAP obuhvata obimnu bazu podataka o količini i intenzitetu emisije štetnih materija emitovanih po različitim oblicima energije, ovaj alat je bio i utoliko koristan time što je dopunio nedostajuće informacije iz pomenute oblasti na primeru Republike Srbije. Kako bi se utvrdilo da su podaci o emisiji štetnih gasova sa efektom staklene bašte uneti pravilno i u skladu sa realnim tržišnim stanjem, izvršena je validacija modela u odnosu na projekcije iz izveštaja Okvirne konvencije UN o klimatskim promenama za Republiku Srbiju, kojom je takođe dobijena potvrda o adekvatnoj postavci modela.

Pored svih navedenih prednosti LEAP instrumenta koje su iskorišćene za potrebe kreiranja energetskeg modela, jedan od ključnih faktora za njegov izbor jeste činjenica da se zasniva na konceptu analize putem metode scenarija. S tim u vezi, za potrebe sveobuhvatnog istraživanja i testiranja različitih opcija mogućnosti razvoja energetike Republike Srbije kreirana su četiri alternativna scenarija:

1. Referentni scenario – REF scenario,
2. Scenario sa državnim merama energetske efikasnosti – SCEE scenario,
3. Scenario umerenog korišćenja obnovljivih izvora energije – SCOIE1 scenario,
4. Scenario sa intenzivnim korišćenjem obnovljivih izvora energije – SCOIE2 scenario.

Kako bi se izvršila optimizacija modela ispitanih energetskeg sistema, za kreiranje četiri alternativna scenarija su sprovedena brojna testiranja i uključene su pretpostavke poput: očekivanog intenziteta upotrebe tehnologije za proizvodnju energije, učestalosti tehnoloških promena, ekonomskog potencijala za poboljšanje energetske efikasnosti i drugih. Ključne pretpostavke podeljene su u dve

celine na osnovu prognoze o ekonomskim i demografskim kretanjima u Republici Srbiji do 2050. godine.

Referentni scenario i scenario sa državnim merama energetske efikasnosti odnose se na nastavak scenarija koje je Vlada Republike Srbije definisala za vremenski period do 2030. godine. Njihova korekcija je sprovedena u skladu sa novim uslovima na elektroenergetskom tržištu. Tačnije, istraživanje se nadovezalo na dostupne podatke iz godišnjih energetskih bilansa i iz strategije razvoja energetike Republike Srbije za period do 2030. godine. Preostala dva alternativna scenarija, scenario umerenog korišćenja obnovljivih izvora energije i scenario sa intenzivnim korišćenjem obnovljivih izvora energije, kreirana su u potpunosti samostalno a na osnovu dostupnih podataka koji su uneti u model. Ovi scenariji su izuzeli mogućnost potpune supstitucije svih konvencionalnih izvora energije, u skladu sa procenom da ona nije moguća za relativno kratak vremenski period do 2050. godine. Za SCOIE2 scenario testirane su dve opcije – punog i proporcionalnog korišćenja obnovljivih izvora energije, koje su detaljno tehnički pojašnjene u okviru teksta disertacije o postavci scenarija. Alternativni scenariji su kreirani uz osvrt ka proceni fiskalnih rizika i analizi tekućih problema javnih preduzeća iz sektora energetike Republike Srbije.

Na osnovu definisanih scenarija model je omogućio da se formira realan pristup projekciji razvoja energetskih sistema i da se uz pomoć kontigentnog pristupa planiranju odgovori na važna pitanja o strategiji razvoja energetike do 2050. godine. Rezultati modela ukazuju na potencijalne opasnosti koje mogu nastati usled ostvarenja referentnog scenarija razvoja energetike Republike Srbije. Prikazana je mogućnost uvećanih gubitaka u distribuciji i prenosu električne energije, nedostatak investicija u cilju poboljšanja energetske efikasnosti, zatim je ukazano na probleme u polju skladištenja energije, moguće prekinde u radu elektroenergetskog sistema usled kvara stare opreme i na ostale relevantne činioce. Shodno projekcijama na primeru referentnog scenarija, rezultati sugerišu da sadašnji tok i intenzitet razvoja sektora energetike nije na zadovoljavajućem nivou, potrebnom kako bi se realizovao planirani intenzitet poboljšanja energetske efikasnosti.

U skladu sa navedenim, posebna pažnja data je poređenju referentnog scenarija sa ostalim alternativnim scenarijima, kako bi se uočio napredak koji bi bio ostvaren u slučaju njihove realizacije. Na osnovu dobijenih rezultata zaključeno je da bi realizacija jednog od pomenuta tri alternativna scenarija u odnosu na referentni scenario dovela sektor energetike Republike Srbije do manje uvozne zavisnosti, opšteg rasta energetske bezbednosti i do niže finalne potrošnje energije.

Komparativnom analizom zaključeno je da najveće razlike postoje između dobijenih rezultata za referentni scenario i SCOIE2 scenario – opcije punog kapaciteta upotrebe OIE. S obzirom da se ova dva scenarija najviše razlikuju prema uticaju zadatih parametara na energetske politiku države, utvrđena odstupanja su doprinela lakšem rasuđivanju o potvrdi ili obaranju postavljenih hipoteza disertacije. Postavkom modela sprovedena je i evaluacija hipoteza primenom metoda deskripcije, komparacije, dedukcije i indukcije. Konkretno, uz pomoć LEAP instrumenta razvijen je model kojim su projektovani sledeći elementi sektora energetike:

1. Finalna potrošnja energije za energetske i neenergetske svrhe
2. Proizvodnja energije transformacijom
3. Utrošak za proizvodnju energije
4. Iznos neispunjenih zahteva za energijom
5. Emisija gasova sa efektom staklene bašte iz sektora energetike
6. Proizvodnja primarne energije
7. Procena dinamike troškova iz sektora energetike
8. Pretpostavke o potrebnim investicijama iz oblasti energetike
9. Ispitivanje korelacije ključnih pretpostavki modela i energetskih indikatora

U okviru analize finalne potrošnje energije za energetske i neenergetske svrhe parametri modela su utvrđeni prema radnom veku elektrana, tehnološkom potencijalu uštede energije i na osnovu stepena iskorišćenosti kapaciteta proizvodnog pogona elektrane (Hu et al., 2019). Na osnovu rezultata istraživanja, projektuje se visok rast potrošnje energije u okviru svih sektora na primeru referentnog scenarija, uz kontinuirani problem neracionalnosti potrošnje električne energije. U odnosu na ostala tri scenarija, kod navedenog scenarija se može očekivati nastavak upotrebe konvencionalnih oblika energije i umanjani izgledi za poboljšanjem pozicije domaćinstava po pitanju energetske ugroženosti. Konkretno, modelom se projektuje da bi korišćenje vrsta uglja koja su najviše u upotrebi poraslo za 31,93% od 2030. do 2050. godine.

Na osnovu modela, predviđeno je da bi se procesna efikasnost pogona postojećih termoelektrana smanjila. To bi se posebno negativno odrazilo na sektor energetike u slučaju realizacije referentnog scenarija, te bi se time dodatno usporile šanse za rastom energetske efikasnosti. Suprotno, primetna racionalizacija finalne potrošnje energije kod SCOIE1 i SCOIE2 scenarija u odnosu na referentni uočena je već od 2032. godine. Dobijeni rezultati ukazuju i na to da bi novi, savremeni sistemi skladištenja energije kod scenarija intenzivne upotrebe OIE dodatno potpomogli ostvarenju planiranih ciljeva. Na primer, prognoza je da bi korišćenje prirodnog gasa bilo za 29,12% manje kod SCOIE2 scenarija u poređenju sa REF scenarijom za 2050. godinu. Rezultati sprovedene analize potvrđuju značaj racionalizacije potrošnje energije za opšti porast energetske efikasnosti na nacionalnom nivou.

Zanimljivi rezultati dobijeni su i po pitanju projekcije proizvodnje energije transformacijom, kategorije koja je u okviru LEAP instrumenta dala najveću fleksibilnost za podešavanjem parametara, sa ciljem uvođenja brojnih relevantnih kriterijuma modela. Tako su, na primer, u model uvedene obavezne rezerve obnovljivih izvora energije, posmatrane kao značajna mera strateškog priključenja na prenosni sistem. Ispostavilo se da su navedene rezerve posebno važne za preuzimanje odgovornosti od strane povlašćenih proizvođača električne energije prilikom smanjenja proizvodnje ili neočekivanih disrupcija u radu elektrana kojima upravljaju. Na osnovu dobijenih rezultata modela, zaključuje se da postojeći kapaciteti sistema „Elektromreže Srbije“ ne bi mogli samostalno da preuzmu obavezu balansne odgovornosti. Kako bi se razmotrilo rešenje navedenog problema, u modelu su inkorporirane dve funkcije: margina planiranih rezervi energije i podkategorija skladištenja energije iz novih tehnologija. Potvrđeno je da bi troškove balansne odgovornosti trebalo da snose proizvođači iz oblasti obnovljivih izvora energije, sa aspekta ekonomske analize razvoja sektora energetike. Sve druge opcije bi mogle dovesti do ozbiljnih poremećaja unutar elektroenergetskog sistema do posmatrane 2050. godine.

Za proizvodnju energije transformacijom, testiranjem opcija korišćenja punog i proporcionalnog kapaciteta obnovljivih izvora energije kod SCOIE2 scenarija konstatovana je daleko viša ekonomska korist za opciju punog kapaciteta upotrebe OIE. Konkretno, realizacijom navedene opcije ostvarila bi se veća korist od približno deset milijardi evra. Međutim, modelom je obuhvaćeno i istraživanje ispunjenja zahteva za svim oblicima energije kod alternativnih scenarija. Analizom ove stavke utvrđeno je da se ne može očekivati potpuna supstitucija upotrebe fosilnih goriva za proizvodnju energije transformacijom u Republici Srbiji do 2050. godine. Shodno navedenom, komparativnom analizom alternativnih scenarija može se zaključiti da bi u slučaju realizacije SCOIE2 scenarija – opcije proporcionalnog kapaciteta OIE došlo do najvišeg stepena energetske bezbednosti i održivog razvoja energetike sa aspekta proizvodnje energije transformacijom.

Prognoza potencijalnih radikalnih promena dobijena je na primeru procene neispunjenja zahteva za oblicima energije. Tom analizom potvrđena je pretpostavka neophodnosti nastavka korišćenja konvencionalnih oblika energije za potrebe proizvodnje električne i toplotne energije. Ipak, ukazano je i na činjenicu da se adekvatnom optimizacijom energetskih sistema u okviru modela primenom alata za optimizaciju NEMO (*Next Energy Modeling System for Optimization*) može doći do

odgovarajućeg energetskeg miksa, u okviru koga je prikazana ekonomski isplativa, postepena integracija obnovljivih izvora energije praćena zamenom neefikasnih tehnologija.

U slučaju prognoze emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte iz sektora energetike pokazana je mogućnost značajnog smanjenja pomenutih emisija kod tri alternativna scenarija u odnosu na referentni scenario. Tako, SCOIE2 scenario pokazuje znatno smanjenje štetnih gasova, pri čemu je za 2050. godinu projektovano svega 47,82% od ukupne vrednosti emitovanja štetnih gasova na primeru referentnog scenarija. Detaljnim prikazom rezultata iz ove oblasti istraživanja može se primetiti da bi došlo do potencijalno velikih ekonomskih ušteda po energetske sistem Republike Srbije u slučaju formiranja cena za emisiju ugljenika na primeru SCOIE1 i SCOIE2 scenarija. Dakle, u skladu sa navedenim očekuju se veliki pomaci po ovom pitanju, ukoliko se realizuju SCOIE1 ili SCOIE2 scenariji. Sa druge strane, za SCEE scenario ostvario bi se rast emisije štetnih gasova od 18,7% za period od 2025. do 2050. godine, dok je za REF scenario projektovan rast od čak 21,13% za isti period. Ovi nalazi su važni i sa ekonomskog stanovišta, s obzirom da je detaljnom analizom ispitano kako se redukcija navedenih emisija odražava i na ekonomske pokazatelje strategije razvoja sektora energetike.

Ni jedan od analiziranih elemenata sektora energetike koji bi mogli uticati na rast energetske efikasnosti ne bi trebalo posmatrati kao odvojenu kategoriju. Kod projekcije primarne proizvodnje energije, ustanovljeno je da bi na kraju projektovanog perioda procentualna razlika bila 35,71% u korist SCOIE2 scenarija u odnosu na SCOIE1 scenario. Doduše, ovaj kapacitet je moguće dostići jedino ukoliko bi stopa investicija bila za 26,95% viša 2050. godine u odnosu na posmatrani SCOIE1 scenario. Sprovedena ekonomska analiza pokazuje da bi proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora bila praćena i smanjenjem ukupnih troškova rada elektrana.

Dominantna uloga prirodnog gasa, trend rasta upotrebe dizela, gasnih ulja, nafte, naftnog koksa i drugih goriva koja se prognozira za referentni scenario dovela bi do izuzetno visokog rasta troškova ekoloških eksternalija, koji bi samo na primeru 2050. godine bili iznad dve milijarde evra za industrijski sektor. Pored toga, prognoziraju se i veoma visoki društveni troškovi za domaćinstva u okviru SCOIE2 scenarija. Za to su najpre zaslužni uvećani troškovi novih tehnologija proizvodnje energije i veći fokus na solarnoj energiji na objektima, tj. domaćinstvima u odnosu na ostale scenarije. Razlika u kumulativnom iznosu troškova ekoloških eksternalija za ceo projektovani period za scenarije SCEE, SCOIE1 i SCOIE2 (opcija – pun kapacitet OIE) u odnosu na REF scenario iznosila bi okvirno 9,61, 15,62 i 27,22 milijardi evra, respektivno.

Na osnovu uzorka ispitanih energetskeg subjekata – povlašćenih proizvođača električne energije, privremenih povlašćenih proizvođača i proizvođača iz obnovljivih izvora energije, u kreiranom energetskeg modelu uključena je i projekcija kretanja kapitalnih troškova (evra/ten/godišnje) i varijabilnih troškova rada pomenutih elektrana (evra/MWh). S obzirom da celoviti podaci za projekciju navedenih vrsta troškova nisu bili dostupni za elektrane na području Republike Srbije, za potrebe ispitivanja korišćeni su podaci o troškovima rada elektrana iz izveštaja nacionalne laboratorije Ministarstva energetike SAD-a NREL – *National Renewable Energy Laboratory* (Gifford & Grace, 2013), zajedno sa unetim podacima o instalisanoj snazi elektrana u Republici Srbiji. Po pitanju kapitalnih troškova, značajna smanjenja troškova su projektovana za izdvojeni period od 2025. do 2050. godine, prvenstveno u slučaju rada solarnih elektrana, geotermalnih elektrana, elektrana na biogas, ali i ostalih elektrana koje koriste obnovljive izvore energije. Posledično, projektovana sniženja troškova usled rasta energetske efikasnosti i faktora korisnosti upotrebljenih tehnologija uticala su i na ukupan obim investicija. Rezultati ukazuju na to da veza između upravljanja troškovima, rasta investicija i poboljšanja energetske efikasnosti nije jednostavna ili jednoznačna. Dalja ispitivanja direktnog uticaja investicionih odluka na rast energetske efikasnosti svakako bi trebalo shvatiti kao prioritet za izradu strategije dugoročnog razvoja energetike. Sa sigurnošću se može potvrditi da bi projektovana simulacija sniženja varijabilnih troškova po megavat-

satu proizvedene energije imala pozitivnog efekta na dalju implementaciju projekata korišćenja obnovljivih izvora energije. Isto je i pokazano na primeru odnosa između obima investicija i instalisane snage novih kapaciteta elektrana iz ove oblasti.

Pregledom različitih egzogenih pretpostavki modela može se zaključiti da su rezultati alternativnih scenarija koji se odnose na velike razlike između nivoa investicija potrebnih za energetiku opravdani za projektovani vremenski period. Očekivano, najveće investicije u nove tehnologije upotrebe obnovljivih izvora energije predviđene su za SCOIE2 scenario, koje bi bile iznad 4,6 milijardi evra do poslednje, 2050. godine. Iznos navedenih investicija veći je za 36,28% u odnosu na referentni scenario, ali je zato postignuto i znatno smanjenje emisije štetnih gasova sa efektom staklene bašte. Pri tome, kod SCOIE2 scenarija prednjači smanjena emisija ugljen dioksida iz finalne potrošnje energije, za 53,89% u odnosu na pomenuti referentni scenario.

U okviru zaključnih razmatranja trebalo bi se osvrnuti i na činjenicu da su određene investicije ipak ostale na višem nivou u slučaju referentnog scenarija. Tako, procena je da će za ovaj scenario biti potrebna daleko veća novčana sredstva za investicije u nove pravce snabdevanja prirodnim gasom, zatim za izgradnju termoelektrana na konvencionalna goriva (stavka izuzeta iz analize za SCOIE1 i SCOIE2 scenarije), za istraživanje proizvodnje nafte i prirodnog gasa, kao i za investicije uzrokovane toplotnim gubicima. Izgradnja dodatnih kapaciteta elektrana koje koriste obnovljive izvore energije bila bi zastupljena i kod referentnog scenarija, najpre zbog pretpostavke velikih planiranih ulaganja u vetroenergiju. Sa druge strane, dobijena razlika u rezultatima između SCOIE1 i SCOIE2 scenarija nastala je najpre zbog prognoze intenzivnijeg korišćenja solarne energije kod SCOIE2 scenarija. U okviru istraživanja pronađena je i veza između integracije obnovljivih izvora energije, sa jedne strane, i smanjenja uvozne zavisnosti sektora energetike od snabdevanja prirodnim gasom, sa druge strane.

Shodno dobijenim rezultatima, uočeno je da bi u slučaju realizacije SCOIE2 scenarija – opcije punog kapaciteta OIE došlo do velikog porasta ukupnih troškova za oblast proizvodnje energije transformacijom. Primetno je da bi rast troškova bio praćen i značajnim rastom izvoza električne energije, koji doduše ne bi mogao da nadomesti veliki gubitke nastale u slučaju pojave diskontinuiteta na balansnom tržištu električne energije. Dakle, opcija korišćenja punog kapaciteta obnovljivih izvora energije SCOIE2 scenarija kreirana je kako bi se ukazalo na potencijalnu opasnost po stabilnost energetske sistema i opštu energetske bezbednost u slučaju pokušaja potpune supstitucije upotrebe fosilnih goriva za proizvodnju energije transformacijom. Kreirani energetski model pokazuje da bi druga opcija scenarija, pod nazivom SCOIE2 scenario – proporcionalni kapacitet OIE, dovela do boljih rezultata sa aspekta održivog razvoja energetike Republike Srbije za navedeni vremenski period.

Iako predstavljeni energetski model ukazuje na to da bi mehanizmi podrške obnovljivim izvorima energije uticali na rast ukupnih troškova proizvodnje energije transformacijom na primeru SCOIE1 i SCOIE2 scenarija do 2050. godine, tumačenjem rezultata je jasno da se ne može utvrditi njihov jednoznačan uticaj na održivost energetike. Štaviše, novi predviđeni sistemi za skladištenje energije, viša procesna efikasnost elektrana, smanjenje gubitaka električne energije, veća upotrebljivost novih tehnologija eksploatacije obnovljivih izvora energije i drugi faktori impliciraju da bi usled većeg finansijskog opterećenja od mehanizama podrške došlo i do poboljšanja energetske efikasnosti na primeru energetike Republike Srbije.

Procena modela jeste da bi analizirani nivo podsticajnih otkupnih cena doprineo smanjenju društvenih troškova iz oblasti energetike, efikasnijem korišćenju tehnologija i, u širem kontekstu, održivom razvoju energetike. Prema rezultatima IPAT/Kaya identiteta, došlo bi do pada energetske intenziteta ukoliko bi se ostvarile projekcije razvoja sektora energetike prema SCOIE1 ili SCOIE2 scenariju. Shodno prognoziranom realnom rastu BDP-a, očekuje se pad količine i udela finalne potrošnje energije u bruto domaćem proizvodu. Kao što je i prethodno napomenuto, dobijeni rezultati ukazuju

na činjenicu da bi realizacija SCOIE1 scenarija imala najpovoljniji uticaj po makroekonomsku stabilnost sa aspekta uticaja razvoja sektora energetike na ekonomski rast u Republici Srbiji.

Primenom različitih navedenih metoda u okviru kreiranog modela dugoročne projekcije razvoja energetike Republike Srbije testirane su sledeće hipoteze:

Hipoteza 1: Realizovanje alternativnih scenarija modela i korišćenje obnovljivih izvora energije u okviru alternativnih scenarija bi poboljšalo energetske efikasnosti u sektoru energetike Republike Srbije.

Za potrebe potvrde prve hipoteze opšteg karaktera razmatrano je osam pokazatelja rasta energetske efikasnosti na nivou energetskog sektora Republike Srbije:

1. poboljšanje energetske efikasnosti kroz smanjenu finalnu potrošnju energije;
2. promena korišćenih tehnologija za proizvodnju energije transformacijom imaće pozitivan efekat na energetske efikasnosti;
3. uvođenjem novih tehnologija upotrebe obnovljivih izvora energije redukujuće se ukupni utrošak za proizvodnju energije, što će doprineti rastu energetske efikasnosti;
4. unapređena energetska efikasnost uticaće pozitivno na ispunjenje zahteva za energijom u Republici Srbiji;
5. integracijom efikasnijih tehnologija poboljšaće se efikasnost proizvodnje energije;
6. rast energetske efikasnosti pokazaće se kroz smanjenje emisije štetnih gasova i s njima povezanim društvenim troškovima proisteklim iz sektora energetike;
7. smanjenje uvozne zavisnosti usled poboljšanja energetske efikasnosti;
8. sniženje energetskog intenziteta kroz proces razdvajanja rasta BDP-a i finalne potrošnje energije nastaje kao posledica rasta energetske efikasnosti.

Prema detaljnoj opservaciji svakog pokazatelja pojedinačno, zaključeno je sledeće: za alternativne scenarije SCEE, SCOIE1 i SCOIE2 (opcija – proporcionalan kapacitet OIE) u potpunosti je potvrđena hipoteza broj jedan. Za scenario SCOIE2 (opcija – pun kapacitet OIE) nisu ispunjeni kriterijumi svih osam pokazatelja poboljšanja energetske efikasnosti, tako da je zaključeno da je za ovu opciju SCOIE2 scenarija hipoteza broj jedan delimično potvrđena.

Hipoteza 2: Realizovanje referentnog scenarija bi uticalo na pad energetske efikasnosti u sektoru energetike Republike Srbije za posmatrani vremenski period.

Druga hipoteza takođe uzima u obzir rezultate u skladu sa osam prethodno navedenih pokazatelja uticaja na energetske efikasnosti sektora energetike Republike Srbije, uz fokus na potencijalnom ostvarenju scenarija produženja dosadašnje energetske politike, to jest referentnog REF scenarija.

Na osnovu dobijenih rezultata sprovedene analize, zaključuje se da je hipoteza broj dva potvrđena, tako da bi realizovanje referentnog REF scenarija uticalo na ukupni pad energetske efikasnosti u sektoru energetike Republike Srbije za posmatrani vremenski period do 2050. godine.

Hipoteza 3: Mehanizam podrške za obnovljive izvore energije je ekonomski opravdan za posmatrani vremenski period.

Metodologija istraživanja omogućila je ispitivanje uticaja mehanizma podrške za obnovljive izvore energije na kretanje troškova u okviru energetskog sektora. U modelu su unete sve dostupne podsticajne otkupne cene električne energije za povlašćene i privremeno povlašćene proizvođače energije, to jest za proizvođače iz obnovljivih izvora energije.

Prema dobijenim rezultatima analize, može se konstatovati da je hipoteza broj 3 delimično potvrđena. U slučaju realizacije SCEE i SCOIE1 scenarija, hipoteza je potvrđena za analizirani vremenski period, dok za SCOIE2 scenario nije ustanovljeno da li bi mehanizam podrške za obnovljive izvore energije bio ekonomski opravdan za posmatrani vremenski period.

Hipoteza 4: Razvijeni alternativni scenariji će smanjiti eksterne troškove u sektoru energetike uz visok nivo troškovne efikasnosti tehnologija za korišćenje obnovljivih izvora energije.

Na osnovu ocenjenih estimatora u modelu razvoja sektore energetike Republike Srbije, može se zaključiti da bi ostvarenje alternativnih SCEE, SCOIE1 i SCOIE2 scenarija uticalo na smanjenje eksternih troškova iz sektora energetike, uz projekciju rasta troškovne efikasnosti tehnologija za korišćenje obnovljivih izvora energije.

Drugim rečima, sprovedenom analizom putem metode scenarija za dugoročnu projekciju efekata alternativnih pravaca razvoja sektora energetike može se jednoznačno potvrditi definisana hipoteza pod rednim brojem 4.

7.2 Teorijski doprinos disertacije i praktične implikacije istraživanja

Doktorska disertacija je imala za cilj da kroz teorijsku postavku i empirijsko istraživanje doprinese razvoju ekonomske nauke i uže naučne oblasti ekonomike energetike. Projekcija razvoja energetike na dugi rok primenom metode scenarija predstavlja važno polje istraživanja za definisanje energetske politike, pravaca razvoja energetike, procene energetske bezbednosti na nacionalnom nivou, ali i za donosiocce odluka – energetske subjekte prilikom kreiranja poslovnih strategija.

Teorijski doprinos disertacije se ogleda kroz jedinstven pristup razvoju energetike na nacionalnom nivou i ekonomskoj analizi energetike, uz primenu savremenih pristupa energetsom modeliranju. Pregledom međunarodne i domaće naučne literature razvijen je sistematizovan i jedinstven teorijski okvir iz naučne oblasti ekonomike energetike. Istaknuti su radovi priznatih svetskih autora koji su kroz svojstvena empirijska istraživanja ostvarili najveća dostignuća u ovoj oblasti.

Analizom dobijenih rezultata brojnih relevantnih publikacija proširena su saznanja o ekonomskoj analizi energetike i o kreiranju energetske modele. Izučavanjem literature o istorijskom razvoju ekonomske misli razmatrani su razlozi za nastankom uže naučne oblasti ekonomike energetike i stavovi najznačajnijih autora iz oblasti ekonomske nauke. Pristupi modeliranju i optimizaciji energetske sistema posmatrani su u okviru svetske literature novijeg datuma, na osnovu koje je prihvaćen novi metodološki okvir za simulaciju kompleksnih procesa energetike. Koliko je poznato, nijedan rad nije objedinio sve ključne elemente razvoja sektora energetike za konkretnu studiju slučaja Republike Srbije, što je nastojano da se uradi izradom prikazanog energetskeg modela. Sva navedena teorijska saznanja autora doprinela su boljem oblikovanju istraživanja energetskeg sektora.

Metodološki doprinos je prikazan kroz postavku istraživačkih hipoteza koje su testirane u okviru kreiranog modela. S obzirom da upotrebljeni pristup *bottom-up* energetskeg modeliranja i dalje predstavlja novinu u oblasti ekonomike energetike, samostalnim razvojem modela na bazi navedene metodologije disertacija je nastojala da doprinese metodologiji ispitivanja razvoja energetike na dugi rok. Imajući u vidu da je energetske modeliranje u okviru disertacije zasnovano na fleksibilnom pristupu, jedinstveni kreirani model može dati nova saznanja o mogućnostima primene *bottom-up* modela na nacionalnom nivou.

Praktične implikacije razvoja modela ogledaju se u vidu korisnih smernica za energetske politiku, stabilizaciju energetskog sistema, snabdevanje električne energije i za kreiranje drugih indikatora održivosti energetskog sektora. Primenom metode scenarija kroz razvoj četiri alternativna scenarija, model projekcijama daje uvid u potencijalan razvoj energetike Republike Srbije za posmatrani vremenski period do 2050. godine. Dobijeni rezultati omogućavaju da se sagledaju opcije korišćenja obnovljivih izvora energije i na koji način bi njihova integracija uticala na poboljšanje energetske efikasnosti. Proverena je i ekonomska opravdanost primene mehanizma podrške za obnovljive izvore energije do 2050. godine u vidu formiranih podsticajnih otkupnih cena, čime se takođe meri doprinos disertacije.

Za praktične implikacije istraživanja važnu ulogu ima i uključanje ekološke komponente u energetske model. S obzirom na postojanje određenih problema sa aspekta ekologije na nacionalnom nivou, ekonomska analiza mogućih uticaja razvoja energetike na životnu sredinu smatrana je veoma bitnim segmentom istraživanja, na osnovu koga bi trebalo da se vode kreatori energetske politike. U skladu sa tim, rezultati obuhvataju saznanja o emisiji brojnih vrsta štetnih gasova, potencijalu nastanka troškova ekoloških eksternalija i troškova po društveno blagostanje nastalih od zagađenja neposredne životne sredine. Povezujući navedene elemente, istraživanje u okviru doktorske disertacije produbuljuje razumevanje uticaja energetskih aktivnosti na ekologiju u Republici Srbiji.

Sa aspekta ispitivanja održivosti poslovanja energetskih subjekata iz oblasti korišćenja obnovljivih izvora energije, posebna pažnja usmerena je ka proceni ukupnih troškova rada elektrana. Sprovedena analiza se može koristiti u velikoj meri kao smernica za dalje investicije iz ove oblasti, kako bi se ukazalo na efikasnost korišćenja navedene opreme. Nalazi impliciraju da postoji tendencija smanjenja varijabilnih troškova rada elektrana i da bi dalja implementacija savremenih metoda upravljanja troškovima dovela do visokog stepena troškovne efikasnosti rada elektrana. Analiza je utoliko značajna jer su kao glavni izazovi elektrana iz ove oblasti navedeni visoki troškovi proizvodnje električne energije, često viši u odnosu na troškove upotrebe fosilnih goriva. Empirijski nalazi dokazuju da se pomenuti trend menja u korist primene obnovljivih izvora energije.

Navedene projekcije rezultata za alternativne scenarije razvoja energetike mogu uticati na to da kreatori energetske politike razmotre usvajanje novih strategija dodatne podrške obnovljivim izvorima energije. Konačno, predloženi jedinstveni energetske model dao je doprinos kroz kreiranje sveobuhvatne projekcije razvoja sektora energetike Republike Srbije definisanjem alternativnih scenarija. Time je model prikazao značaj poboljšanja energetske efikasnosti i institucionalne podrške korišćenju obnovljivih izvora energije za razvoj energetike.

7.3 Dalji pravci istraživanja

Pored svih navedenih rezultata, konkretnih teorijskih doprinosa i praktičnih implikacija doktorske disertacije, sprovedeno istraživanje ima i određena ograničenja na osnovu kojih bi se mogli predložiti dalji pravci analize iz ove oblasti. Na osnovu posmatranih nalaza, smatra se da ostvareni naučni rezultati doktorske disertacije mogu imati pozitivan uticaj na energetske politiku. Međutim, kao što je i karakteristično za dugoročnu projekciju razvoja energetike na bazi kreiranja modela, postoji rizik neočekivanih promena koje mogu nastati sa aspekta limitirajućih faktora, poput promena u kretanju pojedinih egzogenih pretpostavki.

Jedan od potencijalnih izazova za sprovođenje istraživanja može predstavljati odabir instrumenta za energetske modeliranje. Iako je u ovoj disertaciji mogućnost pojave ograničenja modela svedena na minimum, evidentno je da postoje brojne prednosti i nedostaci različitih metodoloških okvira, uključujući i izabrani LEAP instrument. Premda je u teorijskom delu disertacije ukazano na brojne prednosti korišćenog instrumenta u odnosu na ostale, primetno je da i *top-down* i hibridno energetske modeliranje imaju drugačije funkcije u odnosu na upotrebljeni *bottom-up* model.

Činjenica je da za potrebe energetskog modeliranja i projektovanja strategija razvoja energetike na dugi rok ne postoji jedan model koji bi objedinio sve pristupe modeliranju, oblasti ispitivanja, metodološke okvire i druge važne faktore, što ujedno doprinosi kompleksnosti i značaju ekonomike energetike. Imajući to u vidu, pregledom savremenih pristupa energetskom modeliranju zaključeno je da izabrani instrument u velikoj meri odgovara potrebama projekcije razvoja energetike za definisani vremenski period do 2050. godine. To svakako ne isključuje činjenicu da bi neki drugi model mogao takođe dovesti do zadovoljavajućih rezultata ispitivanja, pa čak možda i detaljnije analizirati pojedine segmente modela. S obzirom da je istraživanje bilo usmereno i ka poslovanju energetskih subjekata, to jest proveriti uticaja korišćenja različitih izvora energije na stabilnost sistema, može se konstatovati da je instrument odgovarajući, ali ne i jedini dovoljan kako bi se sagledala sva problematika dugoročnog planiranja razvoja energetike.

Kao jedan od ograničavajućih faktora može se navesti i nedostatak preciznih informacija o budućim kretanjima određenih egzogenih pretpostavki modela. Tako, u okviru modela se nije detaljno razmatrao uticaj promena u kretanju cena energenata i oblika energije na razvoj sektora energetike, s obzirom da je utvrđeno da su prognoze cena prilično nepouzdanе. Nedostatak tih informacija uticao je na to da se pojedine varijable modela posmatraju iz ugla usvojene srednje vrednosti kretanja cena, a na osnovu prikupljenih podataka. Nadalje, pretpostavljene cene opreme elektrana zasnivaju se na podacima iz inostranih izvora, te su iste i unete za ispitivanje potencijala poslovanja povlašćenih proizvođača električne energije u Republici Srbiji. Tome se dodaje i problem izostanka informacija o predstojećem obliku i intenzitetu primenjenog mehanizma podrške za korišćenje obnovljivih izvora energije. Preciznost modela bi se svakako još više povećala ukoliko bi postojala navedena saznanja za srpske energetske subjekte. Time bi se model dodatno uskladio sa specifičnostima uslova poslovanja na domaćem elektroenergetskom tržištu.

Važno je napomenuti da u modelu nisu uključene moguće disrupcije na tržištu električne energije praćene porastom cena sirovina, opreme i materijala. Konkretno, kretanja u toku pojave svetske energetske krize nisu ispitana, zbog nemogućnosti objektivnog sagledavanja svih energetskih tokova i njihovog uticaja na stabilnost energetskih sistema. Zasiurno bi model bio još kompletniji i realniji da su inkorporirane sve stavke energetske krize i rasta energetskog siromaštva. Međutim, nemogućnost prognoze budućih kretanja u toku krize navela je na odluku da se energetske modeliranje sprovede uz pretpostavku razvoja energetike prilikom nepromenjenih uslova za poslovanje energetskih subjekata.

Jedan od daljih pravaca istraživanja može biti povezan sa povećanjem vremenskog raspona analize razvoja energetike. Kako bi se sprovedo istraživanje zasnovano na realističnim projekcijama, prvobitno je određen vremenski period do 2050. godine, do kada bi Republika Srbija trebalo da ostvari značajne pomake ka realizaciji cilja održivog razvoja energetike. S obzirom da model uključuje optimistične i pesimistične projekcije, istraživanjem na primeru nekog dužeg vremenskog perioda potencijalno bi se dobili dodatni odgovori o pitanju ekonomske opravdanosti mehanizma podrške obnovljivim izvorima energije. Naravno, kako bi se takvo modeliranje ostvarilo na jedan egzaktn način moraju nastati mogućnosti za prikupljanjem dodatnih, relevantnih podataka za primer srpskog elektroenergetskog sistema.

Analogno ranije opisanim istraživanjima koja su primenila LEAP instrument za energetske modeliranje, pravac istraživanja mogao bi se usmeriti i na regionalni nivo razvoja energetike, kako bi se raščlanio uticaj upotrebe pojedinih izvora energije na pokazatelje ekonomskog rasta određenih regiona. Isti koncept kreiranog modela doktorske disertacije može se iskoristiti i za proveru energetske potrebe na nivou različitih teritorijalnih jedinica koje imaju svoju lokalnu samoupravu. Princip podele delovanja energetske subjekata u tom slučaju je takođe moguć, te se postavka razvijenog koncepta može upotrebiti i u te svrhe.

U pogledu ispitivanja uticaja korišćenja obnovljivih izvora energije na ekonomski rast i obratno, značajno bi bilo dodatno ispitati upotrebu navedenih izvora energije na efektivnost investicija iz oblasti energetike, kako konkretno te investicije utiču na ekonomski rast, a ujedno predvideti i njihove efekte po platni bilans države. Makroekonomski efekti podsticaja korišćenja obnovljivih izvora energije u pogledu njihovog uticaja na stopu zaposlenosti bi takođe dopunili predloženi model. Pored navedenog, posebna ekonomska analiza može biti posvećena ostvarenoj uštedi energije, kao posledici implementacije mera energetske efikasnosti. Takođe, pravac istraživanja u okviru koga se mogu ostvariti značajni naučni rezultati odnosi se na kvantificiranje uticaja cena energenata i oblika energije na rezultate poslovanja energetske subjekata. Navedena oblast bi trebalo da bude jedan od prioriteta ispitivanja, s obzirom da bi dala jasniju sliku o projekcijama ekonomske isplativosti ulaganja u različite izvore energije. Pri tome, ovakvi empirijski nalazi bi bili od posebnog značaja za upotrebu izvora energije kod kojih dolazi do sezonskog karaktera proizvodnje energije. Konačno, svi predloženi pravci istraživanja trebalo bi da imaju za cilj prognozu budućih tokova održivog razvoja energetike za duži vremenski period.

LITERATURA

- Adams, T. (2019). Modeling and Simulation of Energy Systems. In Modeling and Simulation of Energy Systems. MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03921-519-5>
- Agencija za energetiku Republike Srbije. (2020). Izveštaj za 2020. godinu o potrebi regulisanja cena električne energije za garantovano snabdevanje. <https://aers.rs/FILES/ObrazlozenjaSaglasnosti/EE/IzvestajRegulacijaCena/2020-11-30%20595-2020-Garantovano%20snabdevanje.pdf>
- Agencija za energetiku Republike Srbije. (2022). Izveštaj o radu Agencije za energetiku za 2021. godinu. <https://www.aers.rs/Files/Izvestaji/Godisnji/Izvestaj%20Agencije%202021.pdf>
- Agencija za zaštitu životne sredine. (2020). Godišnji izveštaj o stanju kvaliteta vazduha u Republici Srbiji 2020. godine. http://www.sepa.gov.rs/download/izv/Vazduh_2020.pdf
- Agora Energiewende, & Sandbag. (2020). The European Power Sector in 2019: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition. Agora Energiewende and Sandbag, 49. www.sandbag.org.uk%0Awww.agora-energiewende.de
- Alcott, B. (2005). Jevons' paradox. *Ecological Economics*, 54, Issue 1, 9-21, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020>
- Alcott, B. (2008). The sufficiency strategy: Would rich-world frugality lower environmental impact?. *Ecological Economics*. 64. 770-786. [10.1016/j.ecolecon.2007.04.015](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.04.015).
- Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, 23–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.futures.2012.10.003>
- Amo-Aidoo, A., Kumi, E. N., Hensel, O., Korese, J. K., & Sturm, B. (2022). Solar energy policy implementation in Ghana: A LEAP model analysis. *Scientific African*, 16, e01162. <https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2022.E01162>
- Anderson, V. (1993). *Energy Efficiency Policies* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203984505>
- Antweiler, W., & Muesgens, F. (2021). On the long-term merit order effect of renewable energies. *Energy Economics*, 99, 105275. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2021.105275>
- Arrow, K. (1962). Economic welfare and the allocation of resources for invention. *The rate and direction of inventive activity: Economic and social factors*. Princeton University Press, 609-626. https://doi.org/10.1007/978-1-349-15486-9_13
- Aswathanarayana, U., & Divi, R. S. (Eds.). (2009). *Energy Portfolios* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780203876602>
- Ayres, R., & Warr, B. (2009). Energy Efficiency and Economic Growth: the 'Rebound Effect' as a Driver. In *Energy Efficiency and Sustainable Consumption*, 119–135. https://doi.org/10.1057/9780230583108_6
- Azar, C., & Dowlatabadi, H. (1999). A review of technical change in assessment of climate policy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 24(1), 513–544. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.24.1.513>
- Banks, E. C. (2004). The Philosophical Roots of Ernst Mach's Economy of Thought. *Synthese*, 139 (1), 23–53. <http://www.jstor.org/stable/20118406>
- Barak, S., & Sadegh, S. S. (2016). Forecasting energy consumption using ensemble ARIMA–ANFIS hybrid algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 82, 92–104. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.03.012>

- Bejan, A., Tsatsaronis, G., & Moran, M. (1996). *Thermal Design and Optimization*. John Wiley & Sons.
- Bensaïd, D., & Elliott, G. (2002). *Marx for Our Times: Adventures and Misadventures of a Critique*. Verso Books.
- Berndt, E. R. (1978). Aggregate Energy, Efficiency, and Productivity Measurement. *Annual Review of Energy*, 3(1), 225–273. <https://doi.org/10.1146/annurev.eg.03.110178.001301>
- Berndt, E. R., Fraumeni, B. M., Hudson, E. A., Jorgenson, D. W., & Stoker, T. M. (1981). Econometrics and data of the 9 sector Dynamic General Equilibrium Model. Volume III. Final report. <https://www.osti.gov/biblio/6836472>
- Bhattacharyya, S. C. (2011). *Energy Economics - Concepts, Issues, Markets and Governance*. Springer Verlag. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-0-85729-268-1>
- Bickel, P., Friedrich, R., Droste-Franke, B., Bachmann, T., Greßmann, A., Rabl, A., Hunt, A., Markandya, A., Tol, R., Hurley, F., Navrud, S., Hirschberg, S., Burgherr, P., Heck, T., Torfs, R., De Nocker, L., Vermoote, S., Int Panis, L., & Tidblad, J. (2005). ExternE Externalities of Energy Methodology 2005 Update.
- Binswanger, H. C., & Ledergerber, E. (1974). *Bremung des Energiezuwachses als Mittel der Wachstumskontrolle. Wirtschaftspolitik in der Umweltkrise*. Stuttgart, J. W. (Ed.), 107f.
- Birol, F. (2007). Energy Economics: A Place for Energy Poverty in the Agenda? *The Energy Journal*, Volume 28(Number 3), 1–6. <https://econpapers.repec.org/RePEc:aen:journl:2007v28-03-a01>
- Bloomberg. (2022). Energy transition investment trends 2022. Technical Report, January. <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Energy-Transition-Investment-Trends-Exec-Summary-2022.pdf>
- Böhringer, C., & Rutherford, T. F. (2008). Combining bottom-up and top-down. *Energy Economics*, 30(2), 574–596. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2007.03.004>
- Boonekamp, P. G. M. (2007). Price elasticities, policy measures and actual developments in household energy consumption – A bottom up analysis for the Netherlands. *Energy Economics*, 29(2), 133–157. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2005.09.010>
- Boulding, K. E. (1973). The Economics of Energy. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 410 (1), 120–126. <https://doi.org/10.1177/000271627341000112>
- Bozkurt, C., & Destek, M. (2015). Renewable Energy and Sustainable Development Nexus in Selected OECD Countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 5, 507–514.
- Bradfield, R., Wright, G., Burt, G., Cairns, G., & Heijden, K. (2005). The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. *Futures*, 37, 795–812. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.01.003>
- Braimakis, K., & Karellas, S. (2017). Integrated thermoeconomic optimization of standard and regenerative ORC for different heat source types and capacities. *Energy*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.042>
- British Institute of Energy Economics. (2022). British Institute of Energy Economics - Our History. <https://www.biee.org/our-history/>
- Brown, M. A., & Wang, Y. (2017). Energy-efficiency skeptics and advocates: the debate heats up as the stakes rise. *Energy Efficiency*, 10(5), 1155–1173. <https://doi.org/10.1007/s12053-017-9511-x>
- Brown, M., & Ulgiati, S. (2002). Energy Evaluations and Environmental Loading of Electricity Production Systems. *Journal of Cleaner Production*, 10, 321–334. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00043-9)

- Brubacher, S. R., & Wilson, G. T. (1976). Interpolating Time Series with Application to the Estimation of Holiday Effects on Electricity Demand. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 25(2), 107–116. <https://doi.org/10.2307/2346678>
- Burger, M., Graeber, B., & Schindlmayr, G. (2014). *Managing Energy Risk: An Integrated View on Power and Other Energy Markets* (The Wiley Finance Series) (2nd ed.). Wiley.
- Burkett, P., & Foster, J. B. (2006). Metabolism, energy, and entropy in Marx's critique of political economy: Beyond the Podolinsky myth. *Theory and Society*, 35(1), 109–156. <https://doi.org/10.1007/s11186-006-6781-2>
- Cambridge Econometrics. (2019). *E3ME Technical Manual V6.1*. Cambridge Econometrics. <https://www.e3me.com/wp-content/uploads/sites/3/2019/09/E3ME-Technical-Manual-v6.1-onlineSML.pdf>
- Cao, K.-K., Cebulla, F., Gómez Vilchez, J. J., Mousavi, B., & Prehofer, S. (2016). Raising awareness in model-based energy scenario studies—a transparency checklist. *Energy, Sustainability and Society*, 6(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s13705-016-0090-z>
- Cesaratto, S. (1999). Savings and economic growth in neoclassical theory. *Cambridge Journal of Economics*, 23(6), 771–793. <http://www.jstor.org/stable/23600444>
- Chammas, M., Fauquet, J., & Fournié, L. (2017). METIS Technical Note T5 - METIS software introduction and architecture (Issue May). https://energy.ec.europa.eu/system/files/2017-07/metis_introduction_and_architecture_0.pdf
- Chandler, B. (2006). Energy Conservation. In C. J. Cleveland & C. Morris (Eds.), *Dictionary of Energy* (pp. 143–143). Elsevier Ltd.
- Chen, R., Rao, Z., & Liao, S. (2019). Hybrid LEAP modeling method for long-term energy demand forecasting of regions with limited statistical data. *Journal of Central South University*, 26(8), 2136–2148. <https://doi.org/10.1007/s11771-019-4161-0>
- Cleveland, C. (2009). *Concise Encyclopedia of the History of Energy*. Academic Press.
- Codoni, R., Fritsch, B., & Eidgenössische Technische Hochschule. (1980). Capital requirements of alternative energy strategies: A techno-economic assessment. Institut für Wirtschaftsforschung, Eidgenössische Technische Hochschule.
- Correa-Laguna, J. D., Pelgrims, M., Espinosa Valderrama, M., & Morales, R. (2021). Colombia's GHG Emissions Reduction Scenario: Complete Representation of the Energy and Non-Energy Sectors in LEAP. In *Energies* (Vol. 14, Issue 21). <https://doi.org/10.3390/en14217078>
- Correljé, A.F. & de Vries, L.J. (2008). Chapter 2 - Hybrid Electricity Markets: The Problem of Explaining Different Patterns of Restructuring, In Elsevier Global Energy Policy and Economics Series, Competitive Electricity Markets, Sioshansi, F. P. (Ed.), Elsevier, p. 65-93, <https://doi.org/10.1016/B978-008047172-3.50006-4>.
- Costanza, R. (1980). Embodied Energy and Economic Valuation. *Science*, 210(4475), 1219–1224. <https://doi.org/10.1126/science.210.4475.1219>
- Costanza, R., Wainger, L., Folke, C., & Mäler, K.-G. (1993). Modeling Complex Ecological Economic Systems. *BioScience*, 43(8), 545–555. <https://doi.org/10.2307/1311949>
- Covi, G. (2015). Puzzling Out The First Oil Shock: History, Politics and the Macroeconomy in a Forty-Year Retrospective. *History of Economic Thought and Policy*, 2015. <https://doi.org/10.3280/SPE2015-002004>
- Cuesta, M. A., Castillo-Calzadilla, T., & Borges, C. E. (2020). A critical analysis on hybrid renewable energy modeling tools: An emerging opportunity to include social indicators to optimise systems in

- small communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 122, 109691. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109691>
- Čupić, B., Marković, Ž., Despotović, D. Z., & Marković, A. (2017). Racionalizacija potrošnje električne energije kompenzacijom reaktivne snage u mreži rudarskog basena „Kolubara”. Konferencija: Investicije i nove tehnologije u energetici i rudarstvu, Borsko jezero, Srbija.
- Damon, J. (2005). La pensée de... - Gaston Berger (1896-1960). *Informations Sociales*, 128, 95–95. <https://doi.org/https://doi.org/10.3917/inso.128.0095>
- Das, S., Hittinger, E., & Williams, E. (2020). Learning is not enough: Diminishing marginal revenues and increasing abatement costs of wind and solar. *Renewable Energy*, 156, 634–644. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2020.03.082>
- de la Rue du Can, S., Khandekar, A., Abhyankar, N., Phadke, A., Khanna, N. Z., Fridley, D., & Zhou, N. (2019). Modeling India’s energy future using a bottom-up approach. *Applied Energy*, 238, 1108–1125. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.01.065>
- de Oliveira, E. M., & Cyrino Oliveira, F. L. (2018). Forecasting mid-long term electric energy consumption through bagging ARIMA and exponential smoothing methods. *Energy*, 144, 776–788. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.12.049>
- de V. Graaff, J. (2018). Social Cost. In *The New Palgrave Dictionary of Economics* (pp. 12516–12520). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1057/978-1-349-95189-5_1459
- Delarue, E. D., Ellerman, A. D., & D’haeseleer, W. D. (2010). Robust MACCs? The topography of abatement by fuel switching in the European power sector. *Energy*, 35(3), 1465–1475. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2009.12.003>
- Denison, E. (1985). *Trends in American Economic Growth, 1929-1982*. The Brookings Institution.
- Dennis, K. (2006). The Compatibility of Economic Theory and Proactive Energy Efficiency Policy. *The Electricity Journal*, 19(7), 58–73. <https://doi.org/10.1016/J.TEJ.2006.07.006>
- Deshmukh, M. K., & Deshmukh, S. S. (2008). Modeling of hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 235–249. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2006.07.011>
- Diemer, A., Gladkykh, G., Spittler, N., Collste, D., Ndiaye, A., & Dierickx, F. (2019). Integrated Assessment Models (IAM) How to integrate Economics, Energy and Climate? *Oeconomia*, 20-48.
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (2007a). Chapter 1 - Thermodynamic Fundamentals. In I. Dincer & M. A. Rosen (Eds.), *EXERGY*, 1–22. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-008044529-8.50004-5>
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (2007b). Chapter 2 - Exergy and Energy Analyses. In I. Dincer & M. A. Rosen (Eds.), *EXERGY*, 23–35. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-008044529-8.50005-7>
- Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silver-berg, G., & Soete, L. (Eds.). (1988). *Technical Change and Economic Theory*. Pinter. <https://doi.org/10.1177/017084069001100116>
- Eden, R., Posner, M., Bending, R., Crouch, E., & Stanislaw, J. (1981). *Energy economics: growth, resources and policies*. Cambridge University Press.
- EIA - U.S. Energy Information Administration. (2022). What is energy? <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/>
- Ekelund, R., & Hebert, R. (2002). The Origins of Neoclassical Microeconomics. *Journal of Economic Perspectives*. 16. 197-215.

- Elektromreža Srbije AD, & JP Elektroprivreda Srbije. (2021). Zahtev za hitnu izmenu Zakona o korišćenju OIE upućen Ministarstvu rudarstva i energetike Republike Srbije. <https://balkangreenenergynews.com/rs/wp-content/uploads/2022/01/EPS-EMS-dopis-1.pdf>
- El-Sayed, Y. M. (2003). *The Thermoconomics of Energy Conversions*. Pergamon.
- Eltis, W. (1988). The Contrasting Theories of Industrialization of François Quesnay and Adam Smith. *Oxford Economic Papers*, 40(2), 269–288. <http://www.jstor.org/stable/2662973>
- EMBER. (2022). EU Carbon Price Tracker. <https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/>
- Emodi, N. V., Emodi, C. C., Murthy, G. P., & Emodi, A. S. A. (2017). Energy policy for low carbon development in Nigeria: A LEAP model application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 247–261. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.09.118>
- Energy Analysis Workshop on Methodology and Conventions, Slesser, M. & International Federation of Institutes for Advanced Study. (1974). *Energy analysis workshop on methodology and conventions*. 25th-30th august 1974, Guldsmeshyttan, Sweden. IFIAS.
- Engels, F. (1882). *Letter to Marx, Written December 19, 1882*. International Publishers.
- European Commission. (2019). *A European Green Deal - Striving to be the first climate-neutral continent*.
- European Commission. (2019). *What kind of energy do we consume in the EU?* <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/digpub/energy/2019/bloc-3a.html>
- European Commission. (2021a). *Regulation of the European Parliament and the Council - amending Regulation (EU) 2019/631 as regards strengthening the CO2 emission performance standards for new passenger cars and new light commercial vehicles in line with the Union's increased climate a*. European Commission. 0197, 1–34. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:870b365e-eccc-11eb-a71c-01aa75ed71a1.0001.01/DOC_1&format=PDF
- European Commission, Directorate-General for Taxation, & Customs Union. (2021b). *Carbon border : adjustment mechanism*. European Commission. <https://doi.org/doi/10.2778/584899>
- European Environment Agency. (2017). *Share of renewable energy in gross final energy consumption (CSI 048/ENER 028)*. European Environment Agency <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/renewable-gross-final-energy-consumption-4/assessment-2>
- Fang, W. S., Miller, S. M., & Yeh, C.-C. (2012). The effect of ESCOs on energy use. *Energy Policy*, 51, 558–568. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.068>
- Felver, T. B. (2020). How can Azerbaijan meet its Paris Agreement commitments: assessing the effectiveness of climate change-related energy policy options using LEAP modeling. *Heliyon*, 6(8), e04697. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04697>
- Feng, Y. Y., & Zhang, L. (2012). Scenario analysis of urban energy saving and carbon abatement policies: A case study of Beijing city, China. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 632–644. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.055>
- Fiskalni savet Republike Srbije. (2019). *Analiza poslovanja i preporuke za reformu i povećanje investicija EPS-a*. http://www.fiskalnisavet.rs/doc/analize-stavovi-predlozi/2019/Analiza_poslovanja_i_preporuke_za_reformu_i_povecanje_investicija_EPS-a.pdf
- Fiskalni savet Republike Srbije. (2022). *Mišljenje na nacrt fiskalne strategije za 2023. sa projekcijama za 2024. i 2025. godinu*. http://www.fiskalnisavet.rs/doc/ocene-i-misljenja/2022/FS_Misljenje_Nacrt_Strategija_2023-2025.pdf

- Fodstad, M., Crespo del Granado, P., Hellemo, L., Knudsen, B. R., Pisciella, P., Silvast, A., Bordin, C., Schmidt, S., & Straus, J. (2022). Next frontiers in energy system modelling: A review on challenges and the state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, 112246. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2022.112246>
- Forget, E. L. (2001). Jean-Baptiste Say and Spontaneous Order. *History of Political Economy*, 33(2), 193–218. <https://www.muse.jhu.edu/article/13288>
- Foster, J. B., & Burkett, P. (2004). Ecological Economics and Classical Marxism: The “Podolinsky Business” Reconsidered. *Organization & Environment*, 17(1), 32–60. <https://doi.org/10.1177/1086026603262091>
- Foster, J. B., & Burkett, P. (2008). Classical marxism and the second law of thermodynamics: Marx/Engels, the heat death of the Universe hypothesis, and the origins of ecological economics. *Organization and Environment*, 21(1), 3–37. <https://doi.org/10.1177/1086026607313580>
- Foster, J., Clark, B., & York, R. (2010). Capitalism and the Curse of Energy Efficiency: The Return of the Jevons Paradox. *Monthly Review*, 62, 1–12. https://doi.org/10.14452/MR-062-06-2010-10_1
- Fouquet, R. (2012). *Economics of Energy and Climate Change: Origins, Developments and Growth*. (No. 2012–08; Working Paper Series, Basque Centre for Climate Change).
- Frangopoulos, C. A. (2009). *Exergy, Energy System Analysis and Optimization - Volume I: Exergy and Thermodynamic Analysis*. Eolss Publishers Company Limited. <https://books.google.rs/books?id=ycqUCwAAQBAJ>
- Gao, C., Liu, Y., Jin, J., Wei, T., Zhang, J., & Zhu, L. (2016). Driving forces in energy-related carbon dioxide emissions in east and south coastal China: commonality and variations. *Journal of Cleaner Production*, 135, 240–250. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.131>
- Gardumi, F., Shivakumar, A., Morrison, R., Taliotis, C., Broad, O., Beltramo, A., Sridharan, V., Howells, M., Hörsch, J., Niet, T., Almulla, Y., Ramos, E., Burandt, T., Balderrama, G. P., Pinto de Moura, G. N., Zepeda, E., & Alfstad, T. (2018). From the development of an open-source energy modelling tool to its application and the creation of communities of practice: The example of OSeMOSYS. *Energy Strategy Reviews*, 20, 209–228. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2018.03.005>
- Gebremeskel, D. H., Ahlgren, E. O., & Beyene, G. B. (2021). Long-term evolution of energy and electricity demand forecasting: The case of Ethiopia. *Energy Strategy Reviews*, 36, 100671. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2021.100671>
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The entropy law and the economic process*. Harvard University Press.
- Georgescu-Roegen, N. (1976a). CHAPTER 2 - (1971) Process Analysis and the Neoclassical Theory of Production. In N. Georgescu-Roegen (Ed.), *Energy and Economic Myths* (pp. 37–52). Pergamon. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-021027-8.50008-4>
- Georgescu-Roegen, N. (1976b). CHAPTER 3 - (1970) The Entropy Law and the Economic Problem. In N. Georgescu-Roegen (Ed.), *Energy and Economic Myths* (pp. 53–60). Pergamon. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-021027-8.50009-6>
- Giatrakos, G. P., Tsoutsos, T. D., & Zografakis, N. (2009). Sustainable power planning for the island of Crete. *Energy Policy*, 37(4), 1222–1238. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2008.10.055>
- Gifford, J. S., & Grace, R. C. (2013). *Cost of Renewable Energy Spreadsheet Tool (CREST): A Model for Developing Cost-Based Incentives in the United States*. User Manual Version 4 (Issue July). <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/50374.pdf>
- Ginzberg, E. (Ed.). (2002). *Adam Smith and the Founding of Market Economics*. Routledge.

- Giraudet, L. G., Guivarch, C., & Quirion, P. (2012). Exploring the potential for energy conservation in French households through hybrid modeling. *Energy Economics*, 34(2), 426–445. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2011.07.010>
- Greer, M. (2012). U.S. Electric Markets, Structure, and Regulations. In *Electricity Marginal Cost Pricing: Applications in Eliciting Demand Responses*, 39–100. Butterworth-Heinemann.
- Griffin, J. M., & Steele, H. B. (2013). *Energy Economics and Policy*. Elsevier Science.
- Groissböck, M. (2019). Are open source energy system optimization tools mature enough for serious use? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 234–248. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.11.020>
- Grösche, P., & Schröder, C. (2014). On the redistributive effects of Germany's feed-in tariff. *Empirical Economics*, 46(4), 1339–1383. <https://econpapers.repec.org/RePEc:spr:empeco:v:46:y:2014:i:4:p:1339-1383>
- Gross, R., Heptonstall, P., & Blyth, W. (2007). *Investment in Electricity Generation: The Role of Costs, Incentives and Risks*. UK Energy Research Centre <https://ukerc.ac.uk/publications/investment-in-electricity-generation-the-role-of-costs-incentives-and-risks/>
- Grubb, M., Edmonds, J., ten Brink, P., & Morrison, M. (1993). The Costs of Limiting Fossil-Fuel CO₂ Emissions: A Survey and Analysis. *Annual Review of Energy and the Environment*, 18(1), 397–478. <https://doi.org/10.1146/annurev.eg.18.110193.002145>
- Guan, X., Zhang, J., Wu, X., & Cheng, L. (2018). The Shadow Prices of Carbon Emissions in China's Planting Industry. In *Sustainability* (Vol. 10, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/su10030753>
- Gude, V. G. (2015). Exergy Analysis of Desalination Systems. In M. Duncan (Ed.), *Exergy: Performance, Technologies, and Applications*. Nova Science Publishers.
- Gumerman, E., & Vegh, T. (2019). Modeling energy efficiency as a supply resource: a bottom-up approach. *Energy Efficiency*, 12(7), 1737–1749. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9740-7>
- Gunderson, R. (2018). Explaining technological impacts without determinism: Fred Cottrell's sociology of technology and energy. *Energy Research & Social Science*, 42, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.03.002>
- Gurtner, B. (2010). The Financial and Economic Crisis and Developing Countries. *Revue Internationale de Politique de Développement*, 1, 189–213.
- Häfele, W., Anderer, J., McDonald, A., & Nakicenovic, N. (1981). *Energy in a Finite World: Paths to a Sustainable Future* (Volume 1). Cambridge: Ballinger.
- Hall, C., & Klitgaard, K. (2012). *Energy and the Wealth of Nations*. Springer New York, NY. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-9398-4>.
- Hall, C., Lindenberger, D., Kümmel, R., Kroeger, T., & Eichhorn, W. (2001). The Need to Reintegrate the Natural Sciences with Economics. *BioScience*, 51, 663–673. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0663:TNRTTN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0663:TNRTTN]2.0.CO;2)
- Hardy, M., Listorti, G., Basyte Ferrari, E., Ostlaender, N., & Delabaere, T. (2021). *Modelling Inventory and Knowledge Management System of the European Commission (MIDAS)*. European Commission. doi 10.2760/909559.
- Hayat, F., Khan, A. A., & Ashraf, M. A. (2019). Energy planning and sustainable development of Pakistan. *International Journal of Energy Sector Management*, 13(1), 24–44. <https://doi.org/10.1108/IJESM-04-2018-0006>
- Heaps, C. G. (2002). *Integrated energy-environment modeling and LEAP*. Stockholm Environment Institute. http://unfccc.int/b_tools/LEAP/LEAP_Slides

- Heaps, C. G. (2022). *LEAP: The Low Emissions Analysis Platform* [Software version: 2020.1.84]. Stockholm Environment Institute. <https://leap.sei.org/tle>
- Helgesen, P. I., & Tomasgard, A. (2018). From linking to integration of energy system models and computational general equilibrium models – Effects on equilibria and convergence. *Energy*, 159, 1218–1233. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.06.146>
- Herbst, A., Toro, F., Reitze, F., & Jochem, E. (2012). Introduction to Energy Systems Modelling. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 148(2), 111–135. <https://doi.org/10.1007/BF03399363>
- Hernández, K. D., & Fajardo, O. A. (2021). Estimation of industrial emissions in a Latin American megacity under power matrix scenarios projected to the year 2050 implementing the LEAP model. *Journal of Cleaner Production*, 303, 126921. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126921>
- Heuberger, C. F., Rubin, E. S., Staffell, I., Shah, N., & Dowell, N. Mac. (2017). Power Generation Expansion Considering Endogenous Technology Cost Learning. *Computer Aided Chemical Engineering*, 40, 2401–2406. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63965-3.50402-5>
- Hinrichs, R., & Kleinbach, M. H. (2013). *Energy: its use and the environment* (5th ed.). Brooks/Cole; Cengage Learning distributor.
- Hoffman, K. C., & Jorgenson, D. W. (1977). Economic and Technological Models for Evaluation of Energy Policy. *The Bell Journal of Economics*, 8(2), 444–466. <https://doi.org/10.2307/3003296>
- Holland, M., Pye, S., Watkiss, P., Droste-Franke, B., & Bickel, P. (2005). *Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme: Damages per tonne emission of PM2.5, NH3, SO2, NOx and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding seas*. AEA Technology Environment.
- Hornborg, A. (1998). Towards an ecological theory of unequal exchange: articulating world system theory and ecological economics. *Ecological Economics*, 25, 127–136.
- Horne, M., Jaccard, M., & Tiedemann, K. (2005). Improving behavioral realism in hybrid energy-economy models using discrete choice studies of personal transportation decisions. *Energy Economics*, 27(1), 59–77. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2004.11.003>
- Hourcade, J.-C., Jaccard, M., Bataille, C., & Gherzi, F. (2006). *Hybrid Modeling: New Answers to Old Challenges*. HAL, Post-Print, 2. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-VolSI2006-NoSI2-1>
- Howarth, R., & Norgaard, R. (1992). Environmental Valuation under Sustainable Development, *American Economic Review*, 82 (2), 473-77.
- Hu, G., Ma, X., & Ji, J. (2019). Scenarios and policies for sustainable urban energy development based on LEAP model – A case study of a postindustrial city: Shenzhen China. *Applied Energy*, 238, 876–886. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.01.162>
- IAEE. (2022). *IAEE - Mission Statement*. <https://www.iaee.org/en/inside/index.aspx>
- IEA. (2004a). *World Energy Outlook 2004*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2004>
- IEA. (2004b). *Oil Crises and Climate Challenges: 30 Years of Energy Use in IEA Countries*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9049fd65-2d4d-4b94-acd0-9e978c9ffcf/OilCrisesandClimateChallenges30YearsofEnergyUseinIEACountries.pdf>
- IEA. (2016). *Unit converter and glossary*. <https://www.iea.org/reports/unit-converter-and-glossary>
- IEA. (2017). *Understanding and using the Energy Balance*. <https://www.iea.org/commentaries/understanding-and-using-the-energy-balance>

- IEA. (2018). *Renewables 2018 - Analysis and Forecasts to 2023*. In Market Report Series (Vol. 9789264288). <https://webstore.iea.org/download/direct/2322>
- IEA. (2019). *IEA Sankey Diagram - World Energy Balance 2019*. <https://www.iea.org/sankey/>
- IEA. (2021). *World Energy Outlook 2021 – Analysis*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- IEA. (2022a). *Accelerating energy efficiency: What governments can do now to deliver energy savings*. <https://www.iea.org/commentaries/accelerating-energy-efficiency-what-governments-can-do-now-to-deliver-energy-savings>
- IEA. (2022b). *History: From oil security to steering the world toward secure and sustainable energy transitions*. <https://www.iea.org/about/history>
- Ikenberry, G. J. (1988). The Oil Shocks and State Responses. In *Reasons of State: Oil Politics and the Capacities of American Government*, 1–20. Cornell University Press.
- Ilić, B., & Milićević, V. (2009). *Menadžment troškova – strategijski okvir*. Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu.
- Ilie, L. (2006). *Economic considerations regarding the first oil shock, 1973 - 1974*. University Library of Munich, Germany, MPRA Paper.
- Illge, L., & Schwarze, R. (2009). A matter of opinion—How ecological and neoclassical environmental economists and think about sustainability and economics, *Ecological Economics*, Vol. 68 (3), 594-604, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.08.010>.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
- Iychettira, K. K., Hakvoort, R. A., & Linares, P. (2017). Towards a comprehensive policy for electricity from renewable energy: An approach for policy design. *Energy Policy*, 106(C), 169–182. <https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:enepol:v:106:y:2017:i:c:p:169-182>
- Jakšić, M., & Jakšić, M. (2011). Regulatory bodies in energy sector: Energy agency of Republic of Serbia case. *Montenegrin Journal of Economics*, 7(2), 161–167.
- Jakšić, M., & Ješić, M. (2021). Komparativna analiza stanja na tržištu električne energije sa osvrtom na makroekonomske posledice. *Ekonomске Ideje i Praksa*, 43, 15–29.
- Jakšić, M., & Prašćević, A. (2014). The New Political Macroeconomics in Modern Macroeconomics and Its Appliance to Transition Processes in Serbia. *Panoeconomicus*, 4, 545–557. <https://doi.org/10.2298/PAN1104545J>
- Jakšić, M., Backović, M., Cerović, B. & Medojević, B. (Eds.). (2010). *Ekonomski rečnik – treće izmenjeno i dopunjeno izdanje*. Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.
- Jebaraj, S., & Iniyar, S. (2006). A review of energy models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(4), 281–311. <https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:rensus:v:10:y:2006:i:4:p:281-311>
- Jorli, M., Van Passel, S., & Saghdel, H. S. (2018). External costs from fossil electricity generation. *Energy & Environment*, 29(5), 635–648. <https://www.jstor.org/stable/90023915>
- JP EPS. (2022). *Obnovljivi izvori energije - nadležnost*. <https://www.eps.rs/lat/snabdevanje/Stranice/nadleznost.aspx>
- Kadian, R., Dahiya, R. P., & Garg, H. P. (2007). Energy-related emissions and mitigation opportunities from the household sector in Delhi. *Energy Policy*, 35(12), 6195–6211. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2007.07.014>

- Kahn, H., & Wiener, A. (1967). *The Year 2000: A Framework for Speculation on the Next Thirty-Three Years*. Macmillan.
- Kavrakoğlu, I. (1979). Mathematical Modelling of Energy Systems. NATO Advanced Study Institute.
- Kavrakoğlu, I. (1987). Energy models. *European Journal of Operational Research*, 28(2), 121–131. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(87\)90211-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(87)90211-6)
- Kaya, Y. (1990). *Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios*. IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group.
- Kayo, C., Tojo, S., Iwaoka, M., & Matsumoto, T. (2014). Chapter 14 - Evaluation of Biomass Production and Utilization Systems. In S. Tojo & T. Hirasawa (Eds.), *Research Approaches to Sustainable Biomass Systems* (pp. 309–346). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404609-2.00014-3>
- Kempton, W., & Montgomery, L. (1982). Folk quantification of energy. *Energy*, 7(10), 817–827. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(82\)90030-5](https://doi.org/10.1016/0360-5442(82)90030-5)
- Kesicki, F. (2010). *Marginal abatement cost curves for policy making – expert-based vs. model-derived curves*. 33rd IAEE International Conference, 6-9 June 2010, Rio de Janeiro, Brazil.
- Kesicki, F., & Strachan, N. (2011). Marginal abatement cost (MAC) curves: confronting theory and practice. *Environmental Science & Policy*, 14(8), 1195–1204. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2011.08.004>
- Keynes, J. M. (1936). *The general theory of employment, interest and money*. Macmillan.
- Khalil, E. L. (2004). The Three Laws of Thermodynamics and the Theory of Production. *Journal of Economic Issues*, 38 (1), 201-226, DOI: 10.1080/00213624.2004.11506672
- Khan, S. I., Islam, A., & Khan, A. H. (2011). Energy Forecasting of Bangladesh in Gas Sector Using LEAP Software. *Global Journal of Research In Engineering*, 11(1). <https://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/135>
- Kissinger, H. (2009). *The future role of IEA*. International Energy Agency.
- Kiula, O., & Rutherford, T. F. (2013). Piecewise smooth approximation of bottom-up abatement cost curves. *Energy Economics*, 40, 734–742. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2013.07.016>
- Klepper, G., & Peterson, S. (2006). Marginal abatement cost curves in general equilibrium: The influence of world energy prices. *Resource and Energy Economics*, 28(1), 1-23, <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2005.04.001>.
- Kondili, E. (2010). Design and performance optimisation of stand-alone and hybrid wind energy systems. In *Stand-Alone and Hybrid Wind Energy Systems – Technology, Energy Storage and Applications*, Kaldellis, J. K. (Ed.), 81–101. <https://doi.org/10.1533/9781845699628.1.81>
- Koopmans, C. C., & Te Velde, D. W. (2001). Bridging the energy efficiency gap: using bottom-up information in a top-down energy demand model. *Energy Economics*, 23(1), 57–75. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(00\)00054-2](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(00)00054-2)
- Kragić, R. (2011). *Potencijali obnovljivih izvora energije za proizvodnju električne energije u Srbiji*. Prva Konferencija o Obnovljivim Izvorima Električne Energije, 25–35.
- Kriechbaum, L., Scheiber, G., & Kienberger, T. (2018). Grid-based multi-energy systems—modelling, assessment, open source modelling frameworks and challenges. *Energy, Sustainability and Society*, 8(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s13705-018-0176-x>
- Kumar, S., & Madlener, R. (2016). CO2 emission reduction potential assessment using renewable energy in India. *Energy*, 97, 273–282. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2015.12.131>

- Kumar, S., Lehman, A., & Madlener, R. (2015). *Scenario cost-benefit analysis of German electricity market with new energy and environmental policies*. 21st Annual EAERE Conference.
- Kümmel, R. (2011). *The Second Law of Economics - Energy, Entropy, and the Origins of Wealth*. The Frontiers Collection. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9365-6_4
- Kümmel, R., & Lindenberg, D. (2014). How energy conversion drives economic growth far from the equilibrium of neoclassical economics. *New Journal of Physics*, 16. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/16/12/125008>
- Labys, W. C. (1982). Measuring the Validity and Performance of Energy Models. *Energy Economics*, 4(3), 159–168. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0140988382900159>
- Lazarus ML, Heaps C, Raskin P. (1995) *Long-range energy alternatives planning system— user guide for version 95*. Boston, MA: Stockholm Environment Institute; 1997.
- Ledesma, G., Pons-Valladares, O., & Nikolic, J. (2021). Real-reference buildings for urban energy modelling: A multistage validation and diversification approach. *Building and Environment*, 203, 108058. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108058>
- Lee, H., Kang, S. W., & Koo, Y. (2020). A hybrid energy system model to evaluate the impact of climate policy on the manufacturing sector: Adoption of energy-efficient technologies and rebound effects. *Energy*, 212, 118718. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2020.118718>
- Leipert, C. (1986). Social Costs of Economic Growth. *Journal of Economic Issues*, 20(1), 109–131. <http://www.jstor.org/stable/4225682>
- Leontief, W. (1982). The Distribution of Work and Income. *Scientific American*, Vol. 247 (3), 188–204.
- Letiche, J. M. (1969). The History of Economic Thought in the International Encyclopedia of the Social Sciences. *Journal of Economic Literature*, 7(2), 406–425.
- Li, R., & Leung, G. C. K. (2021). *The relationship between energy prices, economic growth and renewable energy consumption: Evidence from Europe*. *Energy Reports*, 7, 1712–1719. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.03.030>
- Lipsey, R. G., & Carlaw, K. I. (2004). Total Factor Productivity and the Measurement of Technological Change. *The Canadian Journal of Economics/Revue Canadienne d'Economie*, 37(4), 1118–1150. <http://www.jstor.org/stable/3696125>
- Liu, G., Hu, J., Chen, C., Xu, L., Wang, N., Meng, F., Giannetti, B. F., Agostinho, F., Almeida, C. M. V. B., & Casazza, M. (2021). LEAP-WEAP analysis of urban energy-water dynamic nexus in Beijing (China). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136, 110369. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.110369>
- Löffler, K., Hainsch, K., Burandt, T., Oei, P.-Y., Kemfert, C., & Von Hirschhausen, C. (2017). Designing a Model for the Global Energy System—GENeSYS-MOD: An Application of the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS). *Energies*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/en10101468>
- Löschel, A. (2002). Technological change in economic models of environmental policy: a survey. *Ecological Economics*, 43(2), 105–126. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00209-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00209-4)
- Loulou, R., Goldstein, G., & Noble, K. (2004). *Documentation for the MARKAL Family of Models*. ETSAP.
- Loulou, R., Remne, U., Kanudia, A., Lehtila, A., & Goldstein, G. (2005). *Documentation for the TIMES Model - PART I* 1–78. ETSAP.

- Lukić, R., & Molnar, D. (2016). Troškovi energije u maloprodaji. *Ekonomski vidici* XXI (4), 289-305.
- Lun, I. Y. F., & Lam, J. C. (2000). A study of Weibull parameters using long-term wind observation. *Renewable Energy*, 20(2), 145-153.
- Lund, H. (2014). Chapter 4 – Tool: The EnergyPLAN Energy System Analysis Model. *Renewable Energy Systems: A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions: Second Edition*, 53–78. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410423-5.00004-3>
- Lund, H., Thellufsen, J., Østergaard, P., Sorknæs, P., Ridjan Skov, I., & Mathiesen, B. (2021). EnergyPLAN – Advanced analysis of smart energy systems, *Smart Energy*, 1, 100007, <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100007>
- Lyden, A., Pepper, R., & Tuohy, P. G. (2018). A modelling tool selection process for planning of community scale energy systems including storage and demand side management. *Sustainable Cities and Society*, 39, 674–688. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.003>
- Maduekwe, M., Akpan, U., & Isihak, S. (2020). Road transport energy consumption and vehicular emissions in Lagos, Nigeria: An application of the LEAP model. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 6, 100172. <https://doi.org/10.1016/J.TRIP.2020.100172>
- Mair, S. (2018). Capital, Capitalism, and Climate in Adam Smith's Growth Theory. Conference: Political Economy of Capitalism.
- Malanima, P. (2014). Energy in History. In: Agnoletti, M., Neri Serneri, S. (Eds.) *The Basic Environmental History*. Environmental History 4, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09180-8_1
- Malaska, P., Malmivirta, M., Meristö, T., & Hansen, S. O. (1984). Scenarios in Europe—Who uses them and why? *Long Range Planning*, 17, 45–49.
- Malhotra, A., Bischof, J., Nichersu, A., Häfele, K. H., Exenberger, J., Sood, D., Allan, J., Frisch, J., van Treeck, C., O'Donnell, J., & Schweiger, G. (2022). Information modelling for urban building energy simulation—A taxonomic review. *Building and Environment*, 208, 108552. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108552>
- Malthus, T. R. (1798). *An Essay on the Principle of Population*. History of Economic Thought Books, McMaster University Archive for the History of Economic Thought.
- Mancarella, P. (2014). MES (multi-energy systems): An overview of concepts and evaluation models. *Energy*, 65, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.041>
- Mandal, Š., Mihajlović Milanović, Z., & Nikolić, M. (2010). *Ekonomika energetike - strategija, ekologija i održivi razvoj*. Centar za izdavačku delatno Ekonomskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.
- Manfren, M., Nastasi, B., Groppi, D., & Astiaso Garcia, D. (2020). Open data and energy analytics - An analysis of essential information for energy system planning, design and operation. *Energy*, 213, 118803. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2020.118803>
- Manne, A. S., & Wene, C. O. (1992). *MARKAL-MACRO: A linked model for energy-economy analysis*. Brookhaven National Lab. <https://doi.org/10.2172/10131857>
- Maradin, D. (2021). Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(3), 176-183.
- Marshall, A. (1920). *Principles of Economics*. 8th Edition, Macmillan, London.

- Martić, M., & Savić, G. (2001). An application of DEA for comparative analysis and ranking of regions in Serbia with regards to social-economic development. *European Journal of Operational Research*, 132 (2), 343-356.
- Martínez -Alier, J. & Schlupmann, K. (1987). *Ecological economics : energy, environment, and society*. Basil Blackwell Publisher.
- Martínez -Alier, J., Munda, G., & O'Neill, J. (1998). Weak comparability of values as a foundation for ecological economics. *Ecological Economics*, 26(3), 277–286. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00120-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00120-1)
- Martínez-Alier, J., & Muradian, R. (Eds.). (2015). *Handbook of Ecological Economics*. Edward Elgar Publishing.
- Masoomi, M., Panahi, M., & Samadi, R. (2020). Scenarios evaluation on the greenhouse gases emission reduction potential in Iran's thermal power plants based on the LEAP model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(4), 235. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8196-3>
- Mata, É., Kalagasidis, A. S., & Johnsson, F. (2013). A modelling strategy for energy, carbon, and cost assessments of building stocks. *Energy and Buildings*, 56, 100–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.037>
- Mayumi, K. & Gowdy, J. (Eds.) (1999). *Bioeconomics and Sustainability*. Edward Elgar Publishing.
- McPherson, M., & Karney, B. (2014). Long-term scenario alternatives and their implications: LEAP model application of Panama's electricity sector. *Energy Policy*, 68, 146–157. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2014.01.028>
- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Behrens, W. (1972). *The Limits to Growth*. The Club of Rome.
- Merrill, K. (2007). *The Oil Crisis of 1973-1974: A Brief History with Documents*. Bedford/St. Martin's.
- Messner, S., & Strubegger, M. (1995). *User's Guide for MESSAGE III*. International Institute for Applied Systems Analysis. <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/WP-95-069.pdf>
- Miao, J. (2015). *The Energy Consumption Forecasting in China Based on ARIMA Model*. Proceedings of the International Conference on Materials Engineering and Information Technology Applications. <https://doi.org/10.2991/meita-15.2015.37>
- Michalski, M. (2012). Methodology for Assessing External Costs in the Energy Industry. *Managerial Economics*, 11, 101. <https://doi.org/10.7494/manage.2012.11.101>
- Midttun, A. (2001). Chapter I - Perspectives on Commercial Positioning in the Deregulated European Electricity Markets, In Elsevier Global Energy Policy and Economics Series, European Energy Industry Business Strategies, Elsevier Science, Midttun, A. (Ed.), 1-22, <https://doi.org/10.1016/B978-008043631-9/50003-X>.
- Milićević, V. (2011). *Strategijsko poslovno planiranje - menadžment pristup*. Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu.
- Milićević, V., & Ilić, B. (2014). *Ekonomika poslovanja*. Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu.
- Ministarstvo finansija Republike Srbije. (2019). *Pravilnik o studiji izvodljivosti i prethodnoj studiji izvodljivosti*. Službeni glasnik 51/19. https://mf.gov.rs/upload/media/wdcb1S_6015df14df90d.pdf
- Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije. (2015). *Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. sa projekcijama do 2030. godine*. Službeni glasnik 101/15.

- Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije. (2022a). *Informator o radu Ministarstva rudarstva i energetike*. <https://www.mre.gov.rs/dokumenta/informator-o-radu>
- Ministarstvo rudarstva i energetike. (2022b). *Registar izdatih energetske dozvola 17.06.2022*. https://mre.gov.rs/sites/default/files/registri/registar_ed-17-6-2022.htm
- Ministarstvo zaštite životne sredine. (2017). *Drugi izveštaj Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih nacija o promeni klime*.
- Mirowski, P. (1984). Macroeconomic Instability and the “Natural” Processes in Early Neoclassical Economics. *The Journal of Economic History*, 44(2), 345–354. <http://www.jstor.org/stable/2120712>
- Mirowski, P. (1988). Energy and Energetics in Economic Theory: A Review Essay. *Journal of Economic Issues*, 22(3), 811–830. <http://www.jstor.org/stable/4226039>
- Misila, P., Winyuchakrit, P., & Limmeechokchai, B. (2020). Thailand’s long-term GHG emission reduction in 2050: the achievement of renewable energy and energy efficiency beyond the NDC. *Heliyon*, 6(12), e05720. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05720>
- Mitchell, R. (2001). Thorstein Veblen: Pioneer in Environmental Sociology. *Organization & Environment*, 14(4), 389–408.
- Mitchell, T. (2011). *Carbon Democracy: Political Power in the Age of Oil*. 1st Edition. Verso.
- Munda, G. (1997). Environmental Economics, Ecological Economics, and the Concept of Sustainable Development. *Environmental Values*, 6(2), 213–233. <https://doi.org/https://doi.org/10.3197/096327197776679158>
- Nadeau, R. L. (2015). The unfinished journey of ecological economics, *Ecological Economics*, 109, 101–108, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.11.002>.
- Nelson, R.R. & Winter, S.G. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Nezhnikova, E. V, Okhremenko, I. V, & Papelniuk, O. V. (2018). Investigation of the Features of Investment in the Development of Renewable Energy Sources: Main Consumers, Legal Regulation, Equipment, Rates and Delivery. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(4 SE-Articles), 178–186. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/6710>
- Niet, T., Shivakumar, A., Gardumi, F., Usher, W., Williams, E., & Howells, M. (2021). Developing a community of practice around an open source energy modelling tool. *Energy Strategy Reviews*, 35, 100650. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2021.100650>
- Nkambule, N. P., & Blignaut, J. N. (2017). Externality costs of the coal-fuel cycle: The case of Kusile Power Station. *South African Journal of Science*, 113(9–10), 72. <https://doi.org/10.17159/sajs.2017/20160314>
- Nojedehe, P., Heidari, M., Ataei, A., Nedaei, M., & Kurdestani, E. (2016). Environmental assessment of energy production from landfill gas plants by using Long-range Energy Alternative Planning (LEAP) and IPCC methane estimation methods: A case study of Tehran. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 16, 33–42. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2016.04.001>
- Nordhaus, T., Shellenberger, M., & Jenkins, J. (2013). *Energy efficiency: beware of overpromises*. The Breakthrough Institute. <https://thebreakthrough.org/issues/energy/the-limits-of-efficiency>
- O’Neill, J. (2004). Ecological economics and the politics of knowledge : the debate between Hayek and Neurath. *Cambridge Journal of Economics*, 28, 431–447.
- Ocal, O., & Aslan, A. (2013). Renewable energy consumption–economic growth nexus in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 494–499. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.08.036>

- Oliveira, T. (2015). Energy Economics: An Early Modern History. *SSRN Electronic Journal*, February, 1–23. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2695103>
- Özdemir, Ö., Hobbs, B. F., van Hout, M., & Koutstaal, P. (2019). *Capacity vs Energy Subsidies for Renewables: Benefits and Costs for the 2030 EU Power Market*. Energy Policy Research Group, University of Cambridge. <http://www.jstor.org/stable/resrep30402>
- Parfomak, P. W. (1997). Falling generation costs, environmental externalities and the economics of electricity conservation. *Energy Policy*, 25(10), 845–860. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(97\)00075-X](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(97)00075-X)
- Perissi, I., Martelloni, G., Bardi, U., Natalini, D., Jones, A., Nikolaev, A., Eggler, L., Baumann, M., Samsó, R., & Solé, J. (2021). Cross-Validation of the MEDEAS Energy-Economy-Environment Model with the Integrated MARKAL-EFOM System (TIMES) and the Long-Range Energy Alternatives Planning System (LEAP). In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/su13041967>
- Pfenninger, S., DeCarolis, J., Hirth, L., Quoilin, S., & Staffell, I. (2017). The importance of open data and software: Is energy research lagging behind? *Energy Policy*, 101, 211–215. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2016.11.046>
- Pfenninger, S., Hawkes, A., & Keirstead, J. (2014). Energy systems modeling for twenty-first century energy challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 74–86. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.02.003>
- Pigou, A. C. (1932). *The Economics of Welfare* (Fourth edition). Macmillan and Co.
- Pillkahn, U. (2008). *Using Trends and Scenarios as Tools for Strategy Development* (Siemens Aktiengesellschaft (Ed.)). Publicis Corporate Publishing.
- Podolinsky, S. (1883). Menschliche arbeit und einheit der kraft. *Die Neue Zeit*, 1(9), 413–424.
- Pračević, A., & Ješić, M. (2022). Cene energenata kao značajni šokovi ponude: primer država bivše SFRJ i Višegradske grupe. *Ekonomski horizonti* Vol. 24 (2), 139–159.
- Prehofer, S., Kosow, H., Naegler, T., Pregger, T., Vögele, S., & Weimer-Jehle, W. (2021). Linking qualitative scenarios with quantitative energy models: knowledge integration in different methodological designs. *Energy, Sustainability and Society*, 11(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00298-1>
- Priest, J. (2009). Energy. In *Dictionary of energy* (1st Edition). C. J. Cleveland & C. Morris (Eds.). Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/dictionary-of-energy/cleveland/978-0-08-096491-1>
- Prina, M. G., Manzolini, G., Moser, D., Nastasi, B., & Sparber, W. (2020). Classification and challenges of bottom-up energy system models - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129, 109917. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.109917>
- Proença, S., & St. Aubyn, M. (2013). Hybrid modeling to support energy-climate policy: Effects of feed-in tariffs to promote renewable energy in Portugal. *Energy Economics*, 38, 176–185. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2013.02.013>
- Quaschnig, V. (2005) *Understanding Renewable Energy Systems*. Earthscan.
- Radosavljević, S., & Radosavljević, M. (2011). Coal quality work for green energy efficiency. *Tehnička Dijagnostika*, 10(4), 41–48.
- Republički zavod za statistiku (2011). *Projekcije stanovništva Republike Srbije 2011-2041*. <https://www.mdpp.gov.rs/doc/projekcije/Projekcije%20stanovnistva%20Republike%20Srbije%202011-2041.%20godine.pdf>

- Republički zavod za statistiku (2019). *Model makroekonomskih projekcija za testiranje dugoročne održivosti duga i performansi rasta, (2019–2030)*, Stančić, K. (Ed.). <https://publikacije.stat.gov.rs/G2019/Pdf/G20198006.pdf>
- Ricardo, D. (1817). *Principles of Political Economy and Taxation*. John Murray.
- Riehmman, P., Hanfler, M., & Froehlich, B. (2005). *Interactive Sankey diagrams*. Proceedings - IEEE Symposium on Information Visualization, INFO VIS, 233–240. <https://doi.org/10.1109/INFVIS.2005.1532152>
- Rivera-González, L., Bolonio, D., Mazadiego, L. F., & Valencia-Chapi, R. (2019). Long-Term Electricity Supply and Demand Forecast (2018–2040): A LEAP Model Application towards a Sustainable Power Generation System in Ecuador. In *Sustainability* (Vol. 11, Issue 19). <https://doi.org/10.3390/su11195316>
- Robinson, J. B. (1982). Energy backcasting A proposed method of policy analysis. *Energy Policy*, 10(4), 337–344. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(82\)90048-9](https://doi.org/10.1016/0301-4215(82)90048-9)
- Rocco, M. V. (2016). *Primary Exergy Cost of Goods and Services - An Input-Output Approach*. Springer Verlag.
- Roldan-Fernandez, J. M., Burgos-Payan, M., Riquelme-Santos, J. M., & Trigo-Garcia, A. L. (2016). The Merit-Order Effect of Energy Efficiency. *Energy Procedia*, 106, 175–184. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2016.12.114>
- Romer, R. (1976). *Energy: An Introduction to Physics*. W. H. Freeman.
- Rosier, B. (Ed.). (1986). *Wassily Leontief. Textes et itinéraire*. Éditions La Découverte.
- Ross, M. T. (2014). *Structure of the Dynamic Integrated Economy/Energy/Emissions Model: Electricity Component, DIEM-Electricity*. NI WP 14-11. Durham, NC: Duke University.
- Rostow, W. W. (1978). *The World Economy: History & Prospect*. University of Texas Press.
- Sagoff, M. (2021). What Would Hayek Do About Climate Change? *Breakthrough Journal*, 13. The Breakthrough Institute. <https://thebreakthrough.org/journal/no-13-winter-2021/what-would-hayek-do-about-climate-change>
- Sanchez-Escobar, M. O., Noguez, J., Molina-Espinosa, J. M., Lozano-Espinosa, R., & Vargas-Solar, G. (2021). The Contribution of Bottom-Up Energy Models to Support Policy Design of Electricity End-Use Efficiency for Residential Buildings and the Residential Sector: A Systematic Review. *Energies*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/en14206466>
- Sanstad, A. H., & Howarth, R. B. (1994). ‘Normal’ markets, market imperfections and energy efficiency. *Energy Policy*, 22(10), 811–818. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(94\)90139-2](https://doi.org/10.1016/0301-4215(94)90139-2)
- Sardesai, S., Stute, M., & Kamphues, J. (2021). A Methodology for Future Scenario Planning. In R. Fornasiero, S. Sardesai, A. C. Barros, & A. Matopoulos (Eds.), *Next Generation Supply Chains: A Roadmap for Research and Innovation* (pp. 35–59). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63505-3_2
- Sarpong, D. (2016). Scenario planning: Methodologies, methods and shifting conceptual landscape. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 10. <https://doi.org/10.1504/IJFIP.2015.074397>
- Schallenberg-Rodriguez, J. (2014). Renewable electricity support system: Design of a variable premium system based on the Spanish experience. *Renewable Energy*, 68(C), 801–813.
- Schneider, P., Sander, B. O., Wassmann, R., & Asch, F. (2019). Potential and versatility of WEAP model (Water Evaluation and Planning System) for hydrological assessments of AWD (Alternate

- Wetting and Drying) in irrigated rice. *Agricultural Water Management*, 224, 105559. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2019.03.030>
- Schreiber, S., Zöphel, C., Fraunholz, C., Reiter, U., Herbst, A., Fleiter, T., & Möst, D. (2020). Experience curves in energy models—lessons learned from the REFLEX project. Technological Learning. In the Transition to a Low-Carbon Energy System: Conceptual Issues, Empirical Findings, and Use in Energy Modeling, Junginger, & M. Louwen, A. (Eds.), 259–279. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818762-3.00014-5>
- Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*. Harper & Brothers.
- Schumpeter, J. A. (1954). *History of economic analysis*. Oxford University Press.
- Schurr, S. H. (1984). Energy use, technological change, and productive efficiency: An Economic-Historical Interpretation. *Annual Review Energy*, 9, 409–425.
- Scienceman, D. (1987). Energy and emergy. In G. Pillet & T. Murota (Eds.), *Environmental Economics*, 257–276. Roland Leimgruber.
- Sciubba, E. (2001). Beyond thermoeconomics? The concept of Extended Exergy Accounting and its application to the analysis and design of thermal systems. *Exergy, An International Journal*, 1(2), 68–84. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1164-0235\(01\)00012-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1164-0235(01)00012-7)
- Seljom, P., & Tomasgard, A. (2015). Short-term uncertainty in long-term energy system models — A case study of wind power in Denmark. *Energy Economics*, 49, 157–167. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2015.02.004>
- Sensfuß, F., Ragwitz, M., & Genoese, M. (2008). The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. *Energy Policy*, 36(8), 3086–3094. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.035>
- Sessa, V., Bhandari, R., & Ba, A. (2021). Rural Electrification Pathways: An Implementation of LEAP and GIS Tools in Mali. *Energies*, 14(11), 3338. <https://doi.org/10.3390/en14113338>
- Shahid, M., Ullah, K., Imran, K., Mahmood, A., & Arentsen, M. (2021). LEAP simulated economic evaluation of sustainable scenarios to fulfill the regional electricity demand in Pakistan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46, 101292. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2021.101292>
- Shelby, M., Fawcett, A., Smith, O., Hanson, D., & Sands, R. (2008). Representing Technology in CGE Models: A Comparison of SGM and AMIGA for Electricity Sector CO2 Mitigation. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 6(4), 323–342.
- Shin, H. C., Park, J. W., Kim, H. S., & Shin, E. S. (2005). Environmental and economic assessment of landfill gas electricity generation in Korea using LEAP model. *Energy Policy*, 33(10), 1261–1270. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2003.12.002>
- Sickles, R., & Huntington, H. G. (2018). Energy Economics. In *The New Palgrave Dictionary of Economics* (pp. 3640–3648). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1057/978-1-349-95189-5_663
- Sievers, L., Breitschopf, B., Pfaff, M., & Schaffer, A. (2019). Macroeconomic impact of the German energy transition and its distribution by sectors and regions. *Ecological Economics*, 160, 191–204. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2019.02.017>
- Silvast, A. (2017). Energy, economics, and performativity: Reviewing theoretical advances in social studies of markets and energy. *Energy Research & Social Science*, 34, 4–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.05.005>
- Simkins, J. & Simkins, E. (2013) *Energy finance and economics: analysis and valuation, risk management, and the future of energy*. New Jersey: John Wiley & Sons.

- Simoes, S., Zeyringer, M., Mayr, D., Huld, T., Nijs, W., & Schmidt, J. (2017). Impact of different levels of geographical disaggregation of wind and PV electricity generation in large energy system models: A case study for Austria. *Renewable Energy*, 105, 183–198. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2016.12.020>
- Sinn, H.-W. (2012). *The Green Paradox - A supply-side approach to global warming*. The MIT Press.
- Slessor, M. (1975). Accounting for energy. *Nature*, 254(5497), 170–172. <https://doi.org/10.1038/254170a0>
- Smith, A. (1776). *The Wealth of Nations*. W. Strahan and T. Cadell, London.
- Soddy, F. (1912). *Matter and Energy*. Williams and Norgate.
- Söderbaum, P. (1992). Neoclassical and institutional approaches to development and the environment. *Ecological Economics*, 5(2), 127–144.
- Söderbaum, P. (1994). Towards a Microeconomics for Ecological Sustainability. *Journal of Interdisciplinary Economics*, 5(3), 197–220. <https://doi.org/10.1177/02601079X9400500305>
- Solow, R.M. (1992). Sustainability: An Economist's Perspective. *National Geographic Research and Exploration*, 8, 10–21.
- Soria, R., Lucena, A. F. P., Tomaschek, J., Fichter, T., Haasz, T., Szklo, A., Schaeffer, R., Rochedo, P., Fahl, U., & Kern, J. (2016). Modelling concentrated solar power (CSP) in the Brazilian energy system: A soft-linked model coupling approach. *Energy*, 116, 265–280. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2016.09.080>
- Sorrell, S. (2009). Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. *Energy Policy*, 37(4), 1456–1469. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2008.12.003>
- Sorrell, S. (2015). Reducing energy demand: A review of issues, challenges and approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 74–82. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.03.002>
- Soundararajan, K., Ho, H. K., & Su, B. (2014). Sankey diagram framework for energy and exergy flows. *Applied Energy*, 136, 1035–1042. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.070>
- Sovacool, B. K., Brown, M. A., & Valentine, S. (2016). *Fact and Fiction in Global Energy Policy*. Johns Hopkins University Press.
- Sterman, J. D. (1991). A Skeptic's Guide to Computer Models. In Barney G.O., K. W.B., & G. M.J. (Eds.), *Managing a Nation: The Microcomputer Software Catalog*, 209–229. CO: Westview Press.
- Stern, D. I. (1999). Is energy cost an accurate indicator of natural resource quality? *Ecological Economics*, 31, 381–394.
- Stern, D. I., Burke, P. J., & Bruns, S. B. (2019). *The Impact of Electricity on Economic Development: A Macroeconomic Perspective*. EEG State-of-Knowledge Paper Series. Oxford Policy Management. <https://escholarship.org/uc/item/7jb0015q>
- Stevens, P. (Ed.). (2000). *The economics of energy*. Edward Elgar Publishing.
- Stewart, J. (2014). Sociology, Culture and Energy: The Case of Wilhelm Ostwald's 'Sociological Energetics' – A Translation and Exposition of a Classic Text. *Cultural Sociology*, 8(3), 333–350. <https://doi.org/10.1177/1749975514523937>
- Stockholm Environment Institute. (2005). *User Guide for LEAP*. May 2005. https://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/mitigation/Module_5/Module_5_1/b_tools/LEAP/Manuals/Leap_Use_Guide_English.pdf

- Strubegger, M., & Messner, S. (1987). Ein Modellsystem zur Analyse der Wechselwirkungen zwischen Energiesektor und Gesamtwirtschaft. *Der öffentliche Sektor: Forschungsmemoranden*, 13(2), 1-24.
- Struchtrup, H. (2014). *Thermodynamics and Energy Conversion*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-43715-5>
- Su, X., Gherzi, F., Teng, F., Le Treut, G., & Liang, M. (2021). The economic impact of a deep decarbonisation pathway for China: a hybrid model analysis through bottom-up and top-down linking. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 27, 11. <https://doi.org/10.1007/s11027-021-09979-w>
- Subramanian, A. S. R., Gundersen, T., & Adams, T. A. (2018). Modeling and Simulation of Energy Systems: A Review. *Processes*, 6(12). <https://doi.org/10.3390/pr6120238>
- Suganthi, L., & Samuel, A. A. (2012). Energy models for demand forecasting—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1223–1240. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.08.014>
- Sweeney, J. L. (2001). Energy Economics. In Smelser, N. & Baltes P. (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, Pergamon, 4513-4520, <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/04174-7>.
- Tello, E., Galán, E., Cunfer, G., Guzmán, G., Molina, M., Krausmann, F., Gingrich, S., Sacristán, V., Marco, I., Padró, R., & Moreno Delgado, D. (2015). *A proposal for a workable analysis of Energy Return On Investment (EROI) in agroecosystems. Part I: Analytical approach*. Social Ecology Working Paper 156, Vienna, Institute of Social Ecology IFF - Faculty for Interdisciplinary Studies.
- Tester, J.W., Drake, E.M., Driscoll, M.J., Golay, M., & Peters, W. (2005). *Sustainable Energy: Choosing Among Options*. The MIT Press.
- Tian, L., Ding, Z., Wang, Y., Duan, H., Wang, S., Tang, J., & Wang, X. (2016). Analysis of the Driving Factors and Contributions to Carbon Emissions of Energy Consumption from the Perspective of the Peak Volume and Time Based on LEAP. *Sustainability*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/su8060513>
- Tietenberg, T. (1992). *Environmental and Natural Resource Economics*. Third Edition. HarperCollins.
- Tietenberg, T., & Lewis, L. (2015). *Environmental & Natural Resource Economics*. 10th Edition. Pearson Education Limited.
- Tonon, S., Brown, M. T., Luchi, F., Mirandola, A., Stoppato, A., & Ulgiati, S. (2006). An integrated assessment of energy conversion processes by means of thermodynamic, economic and environmental parameters. *Energy*, 31(1), 149–163.
- Tribus, M., & Evans, R. B. (1962). *Thermo-economic Considerations in the Preparation of Fresh-Water from Sea-Water*. Verlag Chemie, Weinheim.
- Truong, T. P., & Hamasaki, H. (2021). Technology substitution in the electricity sector - a top down approach with bottom up characteristics. *Energy Economics*, 101, 105457. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2021.105457>
- Tuladhar, S. D., Yuan, M., Bernstein, P., Montgomery, W. D., & Smith, A. (2009). A top–down bottom–up modeling approach to climate change policy analysis. *Energy Economics*, 31(2), 223-234. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2009.07.007>
- Turner, R. (1921). English Coal Industry in the Seventeenth and Eighteenth Centuries. *The American Historical Review*, 27(1), 1–23. <https://doi.org/10.1086/ahr/27.1.1>
- Tyner, W. E., & Herath, N. (2018). Energy Economics. *Applied Economic Perspectives & Policy*, 40(1), 174–186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/aep/ppx050>

- Tyron, F.G. (1927). An Index of Consumption of Fuels and Water Power. *Journal of the American Statistical Association*, 22, 271-282.
- UNDP. (2012). *Energetska efikasnost i analiza potencijala biomase*. http://biomasa.undp.org.rs/download/5_UNDP_STUDIJA_GOLUBAC_SRB.pdf
- UNFCCC. (2022). *NDC Synthesis Report*. United Nations Climate Change. <https://unfccc.int/ndc-synthesis-report-2022>
- Valentine, S., Sovacool, B. K., & Brown, M. (2019). *Empowering the Great Energy Transition: Policy for a Low-Carbon Future*. Columbia University Press. <https://doi.org/10.7312/vale18596>
- Valero, A. (1998). *Thermoeconomics as a conceptual basis for energy-ecological analysis*. The Proceedings of the International Workshop on Advances in Energy Studies. Portovenere, Siena, Italy.
- van Beeck, N. M. J. P. (1999). *Classification of energy models*. FEW Research Memorandum; Vol. 777. Operations research. Tilburg University.
- Veblen, T. (1904). *The Theory of Business Enterprise*. Charles Scribner's Sons.
- Verzijlbergh, R. A., De Vries, L. J., Dijkema, G. P. J., & Herder, P. M. (2017). Institutional challenges caused by the integration of renewable energy sources in the European electricity sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 660–667. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.039>
- Veysey, J., & Kemp-Benedict, E. (2019). *Introducing NEMO - High performance, open-source energy system optimization*. [https://iea-etsap.org/workshop/paris_june2019/019 - Veysey_KempBenedict_ETSAP_2019.pdf](https://iea-etsap.org/workshop/paris_june2019/019-Veysey_KempBenedict_ETSAP_2019.pdf)
- Vidadili, N., Suleymanov, E., Bulut, C., & Mahmudlu, C. (2017). Transition to Renewable Energy and Sustainable Energy Development in Azerbaijan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1153-1161. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.168>
- Vlada Republike Srbije. (2016). Uredba o uslovima i postupku sticanja statusa povlašćenog proizvođača energije, privremenog povlašćenog proizvođača energije i proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora energije. Službeni glasnik br. 56/2016-11.
- Vlada Republike Srbije (2021). Uredba o podsticajnim merama za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora i iz visokoeфикаsne kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije. Službeni glasnik br. 55/05, 71/05 - ispravka, 101/07, 65/08, 16/11, 68/12-US, 72/12, 7/14-US i 44/14.
- Vlaović, G. (2022). *EPS nema šest miliona evra da plati dug proizvođačima zelene struje*. List Danas. <https://www.danas.rs/vesti/ekonomija/eps-nema-sest-miliona-evra-da-plati-dug-proizvodjacima-zelene-struje/>
- Vogt, Y. (2020). Top-down Energy Modeling. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 24(1), 66–80.
- von Hayek, F. A. (1945). The Price System as a Mechanism for Using Knowledge. *American Economic Review*, 35, 519–530.
- Wang, Y., & Brown, M. A. (2014). Policy drivers for improving electricity end-use efficiency in the USA: an economic–engineering analysis. *Energy Efficiency*, 7(3), 517–546. <https://doi.org/10.1007/s12053-013-9237-3>
- Wang, L.S. (2020). Free Energy, Exergy, and Energy: The Exergetic Content of Energy. In *A Treatise of Heat and Energy*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05746-6_7
- Wang, J., Li, Y., & Zhang, Y. (2022). Research on Carbon Emissions of Road Traffic in Chengdu City Based on a LEAP Model. *Sustainability*, 14(9), 5625. <https://doi.org/10.3390/su14095625>

- Wei, L., & Hu, Y. (2019). Research on new and old kinetic energy transformation supported by smart city construction in big data era. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 23(1), 102-106.
- Weitzel, M., Saveyn, B., & Vandyck, T. (2019). Including bottom-up emission abatement technologies in a large-scale global economic model for policy assessments. *Energy Economics*, 83, 254–263. <https://doi.org/10.1016/J.ENECO.2019.07.004>
- Weizsäcker, E. U. (1998). *Factor Four: Doubling Wealth – Halving Resource Use: A Report to the Club of Rome*. Routledge.
- Winkel, M. (2018). The pursuit of interdisciplinary whole systems energy research: Insights from the UK Energy Research Centre. *Energy Research & Social Science*, 37, 74–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.012>
- World Bank. (2022). *West Balkans Regular Economic Report no. 21, Spring 2022 : Steering Through Crises*. Western Balkans Regular Economic Report;21. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37368>
- Xie, B., Fan, Y., & Qu, Q. (2012). Does generation form influence environmental efficiency performance? An analysis of China's power system. *Applied Energy*, 96 (C), 261-271.
- Yang, M., Patiño-Echeverri, D., & Yang, F. (2012). Wind power generation in China: Understanding the mismatch between capacity and generation. *Renewable Energy*, 41, 145–151. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.10.013>
- Yang, Z. (2008). *Strategic Bargaining and Cooperation in Greenhouse Gas Mitigations : An Integrated Assessment Modeling Approach*. The MIT Press.
- Yılmaz Genç, S., & Kurt, F. (2016). The Changing Role of the State during the Development of the Economic Thought: Mercantilism, Physiocracy and Classical Economics. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 7(11), 552-556.
- Yin, Y., Xiong, X., Ullah, S., & Sohail, S. (2021). Examining the asymmetric socioeconomic determinants of CO2 emissions in China: challenges and policy implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(40), 57115–57125. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14608-9>
- Young, T. (1805). An Essay on the Cohesion of Fluids. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 95, 65–87. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1805.0005>
- Young, T. (1807). *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*. Volume I. St. Paul's Church Yard.
- Zakon o efikasnom korišćenju energije (2013). Službeni glasnik RS br. 25/2013. <https://www.gzs.gov.rs/doc/zakoni/220321/Zakon-o-efikasnom-koriscenju-el-energije.pdf>
- Zakon o energetskej efikasnosti i racionalnoj upotrebi energije (2021). Službeni glasnik RS br. 40/2021. https://www.mre.gov.rs/sites/default/files/2021/05/zakon_o_energetskej_efikasnosti_i_racionalnoj_upotrebi_energije_0.pdf
- Zor, K., Çelik, Ö., Timur, O., Yıldırım, B., & Teke, A. (2018). *Simple Approaches to Missing Data for Energy Forecasting Applications*. Conference: 16th International Conference on Clean Energy.
- Zou, X., Wang, R., Hu, G., Rong, Z., & Li, J. (2022). CO2 Emissions Forecast and Emissions Peak Analysis in Shanxi Province, China: An Application of the LEAP Model. *Sustainability*, 14(637), 637. <https://doi.org/10.3390/su14020637>
- Zumerchik, J. (Ed.). (2001). *Macmillan Encyclopedia of Energy*. Macmillan Reference USA.
- Zweifel, P., Praktijnjo, A., & Erdmann, G. (2017). *Energy Economics - Theory and Applications*. Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-53022-1>

PRILOZI

PRILOG 1: Projekcija finalne potrošnje energije za energetske i neenergetske svrhe u Republici Srbiji do 2050. godine

Tabela A1.1: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2025. godinu – svi scenariji

Oblik energije (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Električna energija	125,327.0	116,312.0	115,140.5	111,608.8
Prirodni gas	83,602.8	77,501.0	75,490.0	74,639.0
Bezolovni, olovni i avionski benzin	21,715.8	15,490.8	15,183.8	14,882.5
Gorivo za mlazne motore kerozinskog tipa	3,860.0	4,652.0	4,552.0	4,461.0
Dizel	64,673.0	57,926.3	57,304.3	55,932.0
Ulje za loženje (mazut)	7,465.1	7,523.4	7,414.6	6,616.6
Tečni naftni gas	12,838.8	8,330.8	8,106.8	7,803.2
Ostali proizvodi – derivati nafte	11,989.5	8,495.0	8,510.0	8,401.1
Bitumenožni ugalj	4,698.0	4,278.0	4,140.0	4,106.5
Sub-bitumenožni ugalj	6,413.5	6,753.5	6,346.5	5,689.5
Antracit	339.0	299.0	287.7	281.5
Lignit	23,131.5	18,782.0	18,328.5	17,254.5
Drvena goriva	10.0	10.0	10.0	10.0
Drveni ugalj	172.3	170.2	166.4	152.3
Biogas	1,457.5	1,331.5	1,299.0	1,603.8
Vetroenergija	11,679.5	10,289.0	11,190.0	15,258.0
Solarna energija	259.7	226.0	239.3	683.7
Geotermalna energija	212.0	212.0	247.8	319.1
Toplotna energija	42,159.5	37,971.0	37,440.0	37,625.0
Nafta	20,059.0	20,017.0	20,017.0	20,017.0
Bitumen	8,572.0	8,572.0	8,572.0	8,572.0
Naftni koks	2,646.0	6,848.0	3,150.0	3,150.0
Maziva	3,771.0	3,771.0	3,771.0	3,771.0
Ugalj – ostali proizvodi	12,252.0	11,237.7	10,943.7	10,623.8
Biomasa	49,613.5	47,395.0	47,767.0	48,611.0
Industrijski otpad	33.3	30.0	26.7	24.0

Izvor: Analiza autora

Tabela A1.2: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2030. godinu – svi scenariji

Oblik energije (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Električna energija	134,693.0	121,756.0	120,435.0	115,590.7
Prirodni gas	95,828.4	89,422.0	86,761.0	79,021.0
Bezolovni, olovni i avionski benzin	22,398.4	15,074.4	14,806.0	14,513.1
Gorivo za mlazne motore kerozinskog tipa	3,684.0	4,519.0	4,420.0	4,332.0
Dizel	66,865.8	57,029.7	56,408.7	55,018.0
Ulje za loženje (mazut)	7,857.3	7,824.8	7,460.8	5,553.1
Tečni naftni gas	13,816.5	8,567.0	8,188.0	7,852.0
Ostali proizvodi – derivati nafte	12,778.8	8,917.3	8,999.3	8,859.2
Bitumenozni ugalj	5,425.0	4,969.0	4,694.0	3,655.8
Sub-bitumenozni ugalj	6,422.5	7,149.5	6,749.5	5,895.5
Antracit	413.0	371.0	344.6	337.3
Lignit	22,283.0	18,565.0	17,679.0	16,646.0
Drvena goriva	10.0	10.0	10.0	10.0
Drveni ugalj	180.7	174.3	167.0	138.6
Biogas	1,467.0	1,299.0	1,328.0	1,845.7
Vetroenergija	12,140.0	10,255.0	12,737.0	18,578.0
Solarna energija	268.0	226.0	268.7	1,144.3
Geotermalna energija	212.0	212.0	287.4	441.6
Toplotna energija	46,387.5	41,280.0	40,636.0	41,083.0
Nafta	23,463.0	23,505.0	23,505.0	23,505.0
Bitumen	10,027.0	10,027.0	10,027.0	10,027.0
Naftni koks	3,033.0	7,968.0	3,309.0	3,309.0
Maziva	4,412.0	4,412.0	4,412.0	4,412.0
Ugalj – ostali proizvodi	13,612.0	12,504.6	11,932.6	10,644.2
Biomasa	53,256.0	48,691.5	48,986.1	50,043.6
Industrijski otpad	34.7	28.0	21.3	16.0

Izvor: Analiza autora

Tabela A1.3: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2035. godinu – svi scenariji

Oblik energije (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Električna energija	139,514.0	123,780.0	122,205.5	116,059.5
Prirodni gas	99,909.4	92,164.0	89,367.3	82,174.0
Bezolovni, olovni i avionski benzin	23,021.4	14,777.4	14,646.7	14,359.9
Gorivo za mlazne motore kerozinskog tipa	3,995.0	4,388.0	4,329.0	4,242.0
Dizel	69,105.6	56,252.0	55,352.0	53,978.0
Ulje za loženje (mazut)	8,132.4	8,300.0	7,464.7	4,733.5
Tečni naftni gas	14,225.0	9,025.0	8,035.0	7,730.0
Ostali proizvodi – derivati nafte	13,512.5	9,358.0	9,278.0	9,102.7
Bitumenozni ugalj	6,021.0	5,440.0	5,129.0	3,086.0
Sub-bitumenozni ugalj	6,679.5	7,262.4	6,764.1	5,724.1
Antracit	473.0	430.0	384.4	308.0
Lignit	22,194.0	18,321.0	16,977.0	14,291.0
Drvena goriva	10.0	10.0	10.0	10.0

Drveni ugalj	189.0	178.5	167.5	125.0
Biogas	1,479.5	1,272.5	1,379.0	2,110.5
Vetroenergija	12,669.0	10,336.0	14,201.0	19,844.0
Solarna energija	279.0	227.0	301.0	1,626.0
Geotermalna energija	212.0	212.0	353.6	672.8
Toplotna energija	49,197.0	43,037.0	42,558.0	41,333.0
Nafta	23,463.0	23,505.0	23,505.0	23,505.0
Bitumen	10,027.0	10,027.0	10,027.0	10,027.0
Naftni koks	3,467.0	7,233.0	3,484.0	3,391.0
Maziva	4,412.0	4,412.0	4,412.0	4,412.0
Ugalj – ostali proizvodi	14,737.0	13,262.4	12,409.4	10,667.6
Biomasa	57,496.0	50,363.0	50,498.5	51,831.4
Industrijski otpad	36.0	26.0	16.0	8.0

Izvor: Analiza autora

Tabela A1.4: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2040. godinu – svi scenariji

Oblik energije (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Električna energija	144,848.0	126,190.0	124,230.0	116,782.3
Prirodni gas	102,441.4	95,119.0	92,021.5	79,314.0
Bezolovni, olovni i avionski benzin	23,666.0	14,510.0	14,410.9	14,327.4
Gorivo za mlazne motore kerozinskog tipa	4,193.0	4,261.0	4,241.0	4,156.0
Dizel	71,249.4	55,628.3	54,748.3	53,376.0
Ulje za loženje (mazut)	8,309.3	8,650.0	7,100.5	4,126.7
Tečni naftni gas	14,768.5	9,546.0	8,035.0	7,479.0
Ostali proizvodi – derivati nafte	14,261.5	9,910.0	9,771.0	9,510.4
Bitumenozni ugalj	6,700.0	5,969.0	5,616.0	2,468.0
Sub-bitumenozni ugalj	7,054.5	7,374.3	6,873.8	5,486.8
Antracit	542.0	500.0	430.3	282.0
Lignit	22,508.5	18,485.0	16,719.0	12,448.0
Drvena goriva	10.0	10.0	10.0	10.0
Drveni ugalj	197.3	182.7	168.0	111.3
Biogas	1,497.0	1,249.0	1,404.0	2,344.3
Vetroenergija	13,289.0	10,511.0	15,584.0	21,107.0
Solarna energija	293.0	232.0	334.3	2,141.7
Geotermalna energija	212.0	212.0	425.3	929.3
Toplotna energija	53,722.0	46,222.0	45,730.0	44,756.0
Nafta	23,463.0	23,505.0	23,505.0	23,505.0
Bitumen	10,027.0	10,027.0	10,027.0	10,027.0
Naftni koks	3,984.0	6,192.0	3,669.0	3,300.0
Maziva	4,412.0	4,412.0	4,412.0	4,412.0
Ugalj – ostali proizvodi	15,994.0	14,089.3	12,917.3	10,694.0
Biomasa	62,488.0	52,559.0	52,532.1	54,252.6
Industrijski otpad	37.3	24.0	10.7	-

Izvor: Analiza autora

Tabela A1.5: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2045. godinu – svi scenariji

Oblik energije (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Električna energija	150,534.0	129,011.0	126,705.5	118,077.2
Prirodni gas	106,211.4	98,322.0	94,725.8	78,681.0
Bezolovni, olovni i avionski benzin	24,824.0	14,263.0	14,048.5	13,461.5
Gorivo za mlazne motore kerozinskog tipa	4,516.0	4,137.0	4,111.0	4,029.0
Dizel	73,745.2	55,174.7	54,639.7	53,258.0
Ulje za loženje (mazut)	8,486.1	9,178.0	7,714.2	3,754.8
Tečni naftni gas	15,406.5	10,133.5	7,990.0	7,131.0
Ostali proizvodi – derivati nafte	15,261.0	10,581.0	10,383.0	10,032.2
Bitumenozni ugalj	7,473.0	6,563.0	6,162.0	2,009.0
Sub-bitumenozni ugalj	7,536.5	7,519.1	6,907.4	5,162.4
Antracit	622.0	584.0	482.1	258.0
Lignit	23,205.0	18,940.0	16,591.0	10,502.0
Drvena goriva	10.0	10.0	10.0	10.0
Drveni ugalj	205.7	186.8	168.5	97.7
Biogas	1,520.5	1,235.5	1,465.0	2,625.2
Vetroenergija	14,029.0	10,811.0	17,312.0	23,699.0
Solarna energija	309.0	238.0	373.7	2,682.3
Geotermalna energija	212.0	212.0	503.8	1,218.0
Toplotna energija	59,453.0	50,727.0	50,151.0	48,480.0
Nafta	23,463.0	23,505.0	23,505.0	23,505.0
Bitumen	10,027.0	10,027.0	10,027.0	10,027.0
Naftni koks	4,601.0	5,371.0	3,898.0	3,212.0
Maziva	4,412.0	4,412.0	4,412.0	4,412.0
Ugalj – ostali proizvodi	17,396.0	14,992.1	13,460.1	10,585.0
Biomasa	68,427.0	55,484.0	55,237.5	57,460.3
Industrijski otpad	38.7	22.0	5.3	-

Izvor: Analiza autora

Tabela A1.6: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2050. godinu – svi scenariji

Oblike energije (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Električna energija	156,429.0	132,274.0	129,302.0	119,388.0
Prirodni gas	110,141.4	102,467.0	97,480.0	78,065.0
Bezolovni, olovni i avionski benzin	26,020.0	13,986.0	13,542.1	12,962.1
Gorivo za mlazne motore kerozinskog tipa	4,579.0	4,017.0	4,000.0	3,920.0
Dizel	75,241.0	54,906.0	53,866.0	52,440.0
Ulje za loženje (mazut)	8,796.0	9,802.0	7,483.0	3,396.0
Tečni naftni gas	16,035.5	10,792.5	8,044.0	6,855.0
Ostali proizvodi – derivati nafte	16,414.0	11,378.0	11,183.0	10,727.0
Bitumenozni ugalj	8,354.0	7,231.0	6,775.0	1,716.0
Sub-bitumenozni ugalj	8,108.5	7,661.0	6,752.0	4,864.0
Antracit	714.0	684.0	543.0	236.0
Lignit	24,240.5	19,666.0	17,051.0	9,156.0

Drvena goriva	10.0	10.0	10.0	10.0
Drveni ugalj	214.0	191.0	169.0	84.0
Biogas	1,554.0	1,230.0	1,540.0	2,924.0
Vetroenergija	14,925.0	11,279.0	19,532.0	27,001.0
Solarna energija	330.0	248.0	423.0	3,345.0
Geotermalna energija	212.0	212.0	590.5	1,548.1
Toplotna energija	65,124.0	55,336.0	54,306.0	51,140.0
Nafta	23,463.0	23,505.0	23,505.0	23,505.0
Bitumen	10,027.0	10,027.0	10,027.0	10,027.0
Naftni koks	5,339.0	4,380.0	4,143.0	3,127.0
Maziva	4,412.0	4,412.0	4,412.0	4,412.0
Ugalj – ostali proizvodi	18,924.0	15,941.0	14,039.0	10,479.0
Biomasa	75,579.0	59,427.0	58,921.2	61,815.2
Industrijski otpad	40.0	20.0	-	-

Izvor: Analiza autora

Tabela A1.7: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2025. godinu po sektorima potrošnje

Sektor (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Industrija	137,553.1	121,515.9	116,743.3	116,313.0
Saobraćaj	102,554.3	86,853.0	85,334.0	85,646.0
Građevinarstvo	2,587.0	2,818.8	2,762.3	2,722.6
Domaćinstva	133,112.5	129,473.0	127,797.1	126,124.5
Poljoprivreda	10,577.5	10,577.5	10,518.7	10,477.7
Ostali potrošači	45,438.0	36,099.0	35,402.3	34,431.6
Sopstvena potrošnja u energetsom sektoru	38,191.0	38,191.0	38,191.0	37,485.5
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	48,938.0	48,896.0	48,896.0	48,896.0

Izvor: Analiza autora

Tabela A1.8: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2030. godinu po sektorima potrošnje

Sektor (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Industrija	159,459.8	142,377.9	136,152.9	127,730.4
Saobraćaj	105,007.4	84,718.0	83,366.0	83,956.8
Građevinarstvo	2,692.8	2,855.7	2,735.7	2,660.1
Domaćinstva	138,834.5	129,085.0	127,119.3	125,208.1
Poljoprivreda	11,935.5	11,935.5	11,829.6	11,842.6
Ostali potrošači	47,616.5	38,321.0	37,905.4	37,020.7
Sopstvena potrošnja u energetsom sektoru	38,191.0	38,191.0	38,191.0	36,780.0
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	57,231.0	57,273.0	57,273.0	57,273.0

Izvor: Analiza autora

Tabela A1.9: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2035. godinu po sektorima

Sektor (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Industrija	169,429.0	150,027.9	143,625.9	131,284.0
Saobraćaj	108,102.3	82,749.0	81,681.0	82,204.7
Građevinarstvo	2,798.5	2,841.8	2,674.0	2,525.7
Domaćinstva	143,950.0	127,964.0	125,685.5	122,890.5
Poljoprivreda	13,180.5	13,180.5	12,789.9	12,634.9
Ostali potrošači	51,574.0	41,372.0	41,334.3	40,464.6
Sopstvena potrošnja u energetsom sektoru	38,191.0	38,191.0	38,191.0	36,074.5
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	57,231.0	57,273.0	57,273.0	57,273.0

Izvor: Analiza autora

Tabela A1.10: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2040. godinu po sektorima

Sektor (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Industrija	181,092.7	159,121.0	152,503.0	132,277.3
Saobraćaj	110,876.2	80,867.0	79,901.0	80,867.5
Građevinarstvo	2,915.4	2,873.6	2,660.1	2,438.3
Domaćinstva	149,061.5	126,865.0	124,444.6	120,495.7
Poljoprivreda	14,582.0	14,582.0	14,018.3	13,605.6
Ostali potrošači	56,218.0	45,797.0	45,934.8	45,020.4
Sopstvena potrošnja u energetsom sektoru	38,191.0	38,191.0	38,191.0	35,369.0
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	57,231.0	57,273.0	57,273.0	57,273.0

Izvor: Analiza autora

Tabela A1.11: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2045. godinu po sektorima

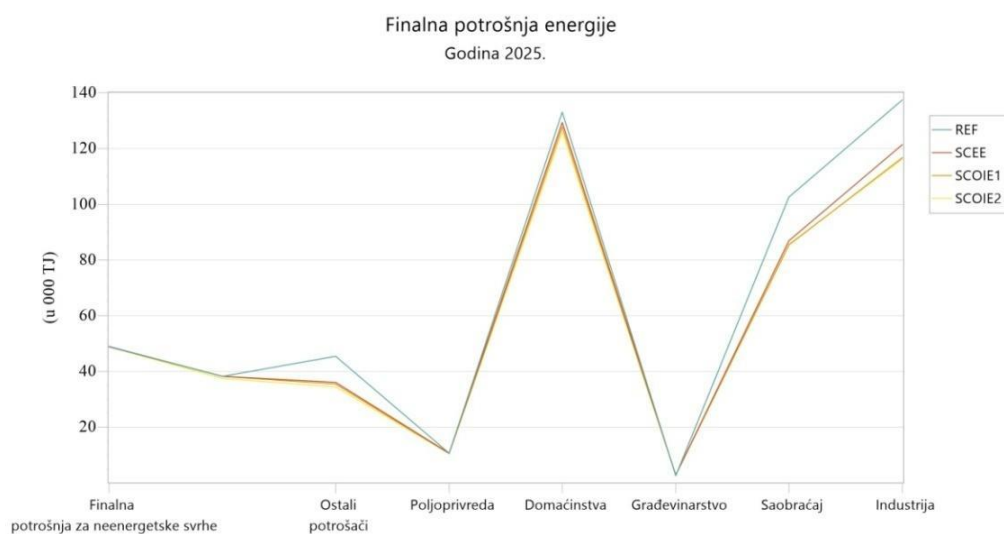
Sektor (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Industrija	195,742.3	170,443.0	164,318.0	136,336.6
Saobraćaj	114,678.5	79,077.0	78,021.1	79,768.3
Građevinarstvo	3,046.7	2,867.8	2,608.5	2,368.4
Domaćinstva	154,529.0	125,869.0	123,232.8	118,166.8
Poljoprivreda	16,169.0	16,169.0	15,291.6	14,672.9
Ostali potrošači	62,337.0	51,750.0	52,053.0	51,120.1
Sopstvena potrošnja u energetsom sektoru	38,191.0	38,191.0	38,191.0	34,663.5
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	57,231.0	57,273.0	57,273.0	57,273.0

Izvor: Analiza autora

Tabela A1.12: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2050. godinu po sektorima

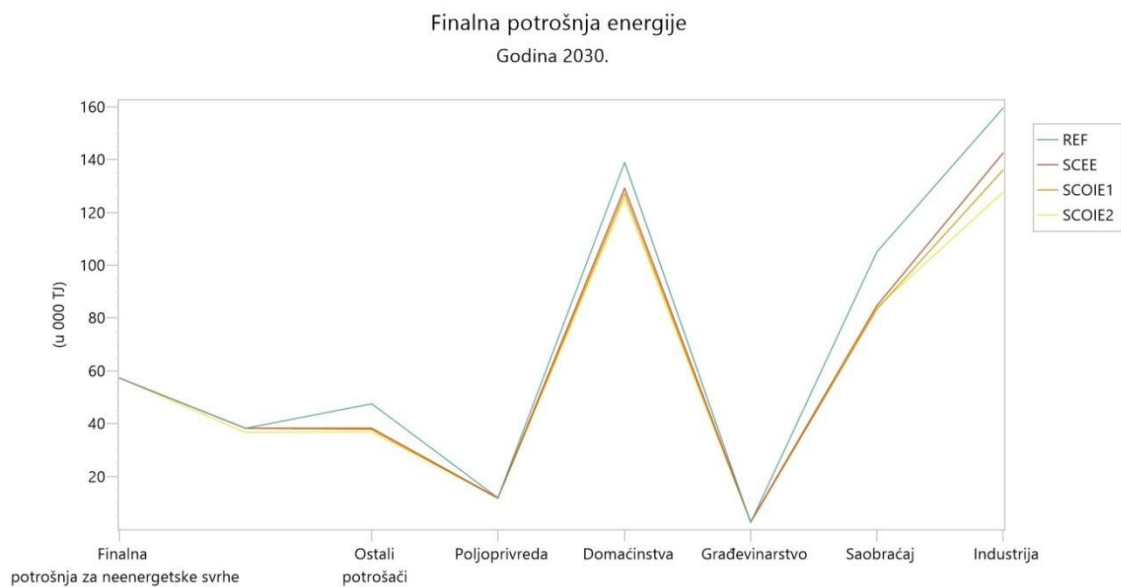
Sektor (u TJ)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Industrija	211,243.0	182,300.0	174,606.2	139,250.2
Saobraćaj	117,073.9	77,376.0	76,453.1	79,682.1
Građevinarstvo	3,191.5	2,906.5	2,596.0	2,356.0
Domaćinstva	160,228.5	124,892.0	121,677.0	115,784.0
Poljoprivreda	17,972.0	17,972.0	16,948.0	15,921.4
Ostali potrošači	70,095.0	60,172.0	59,894.5	58,917.7
Sopstvena potrošnja u energetsom sektoru	38,191.0	38,191.0	38,191.0	33,958.0
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	57,231.0	57,273.0	57,273.0	57,273.0

Izvor: Analiza autora



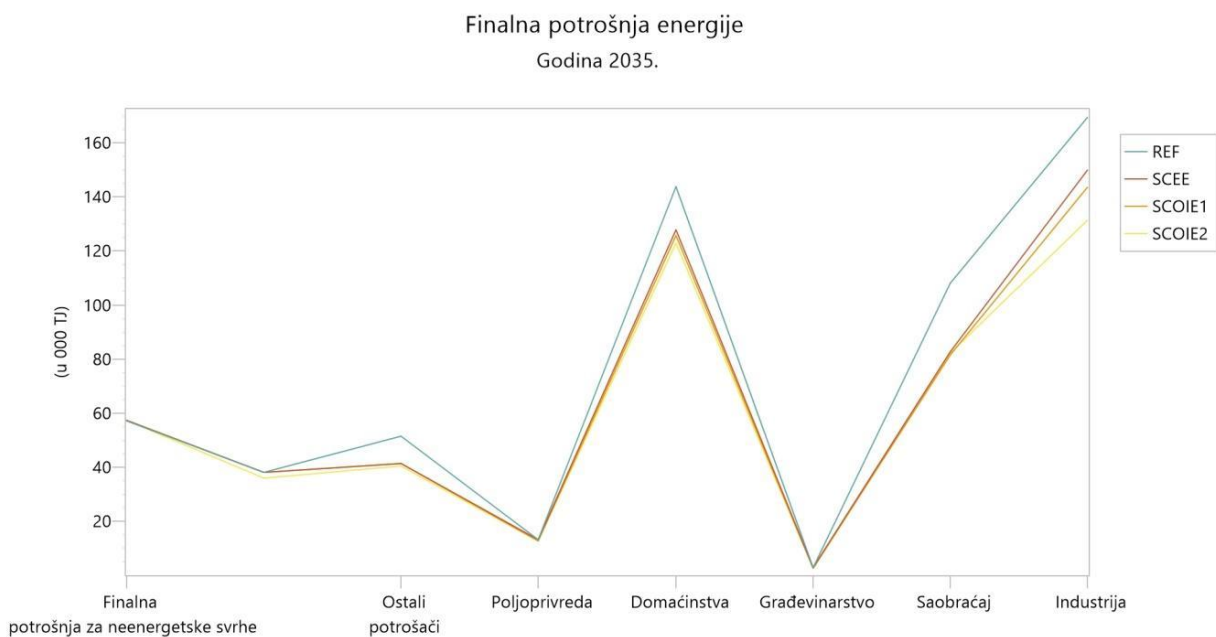
Slika A1.1: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2025. godinu

Izvor: Analiza autora



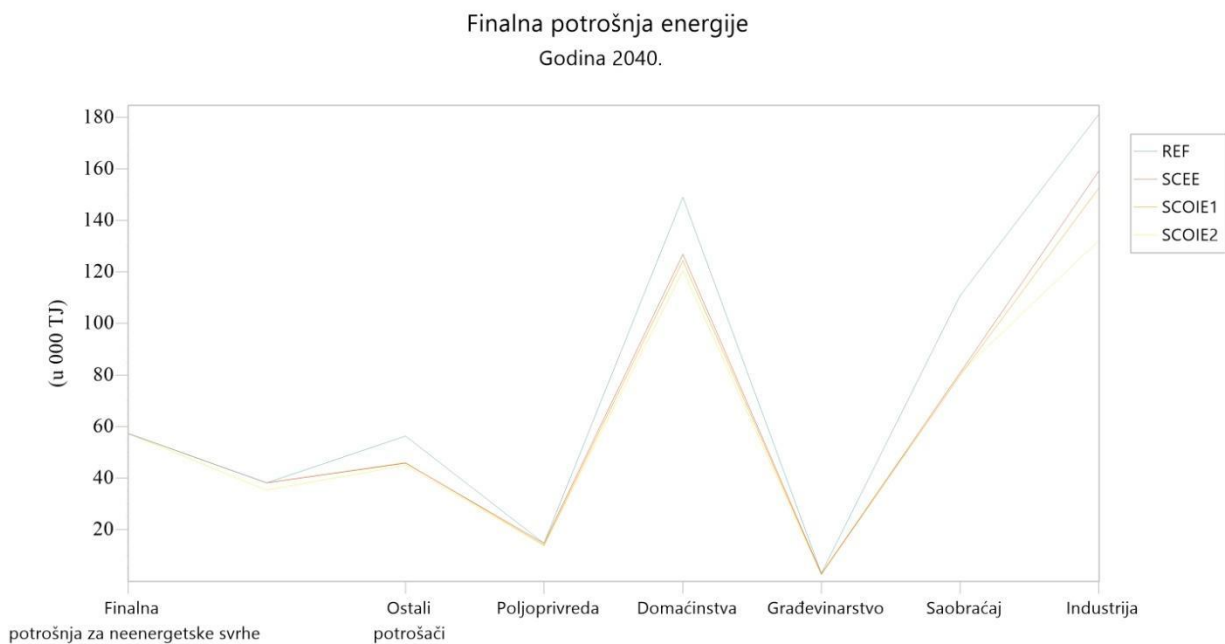
Slika A1.2: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2030. godinu

Izvor: Analiza autora



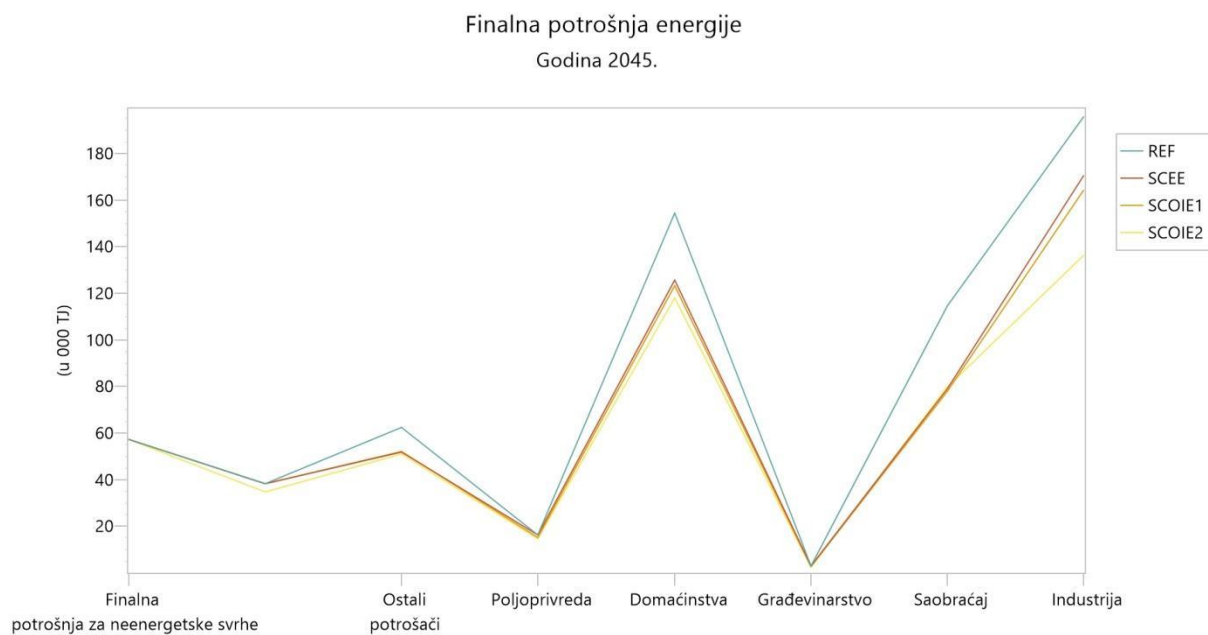
Slika A1.3: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2035. godinu

Izvor: Analiza autora



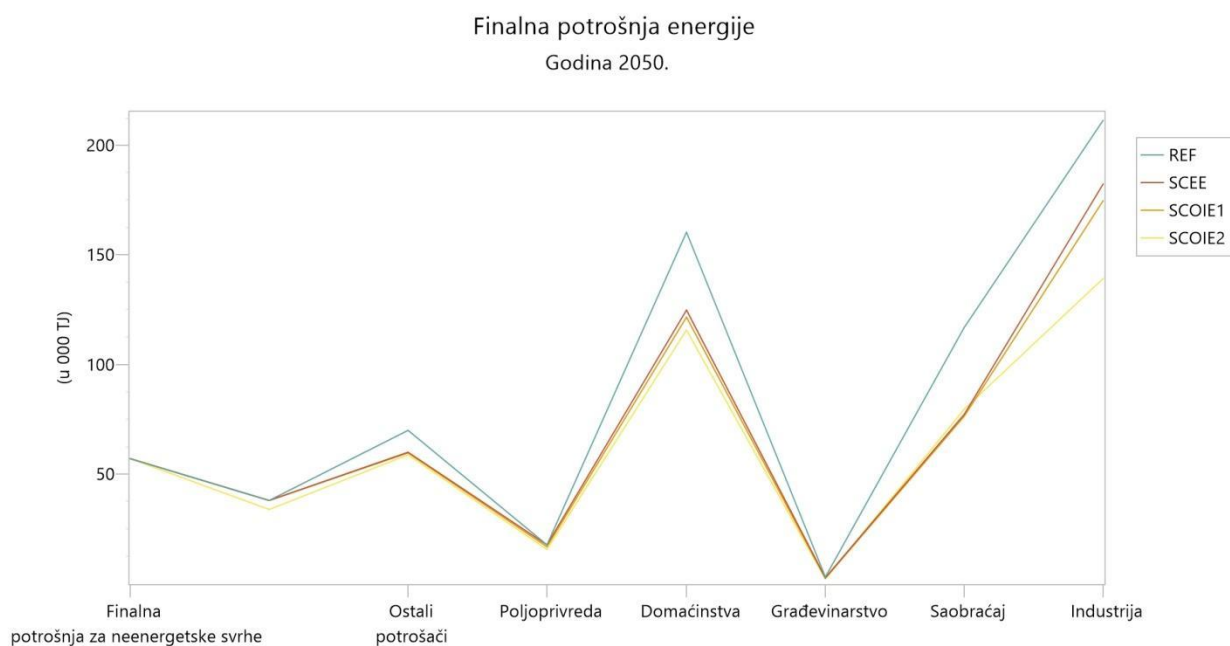
Slika A1.4: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2040. godinu

Izvor: Analiza autora



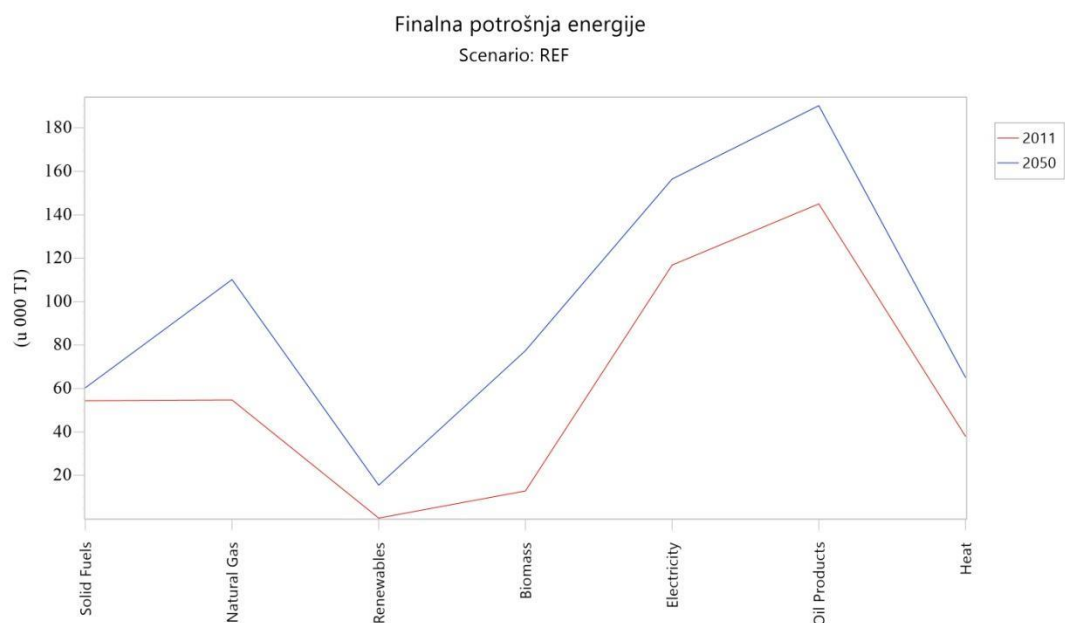
Slika A1.5: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2045. godinu

Izvor: Analiza autora



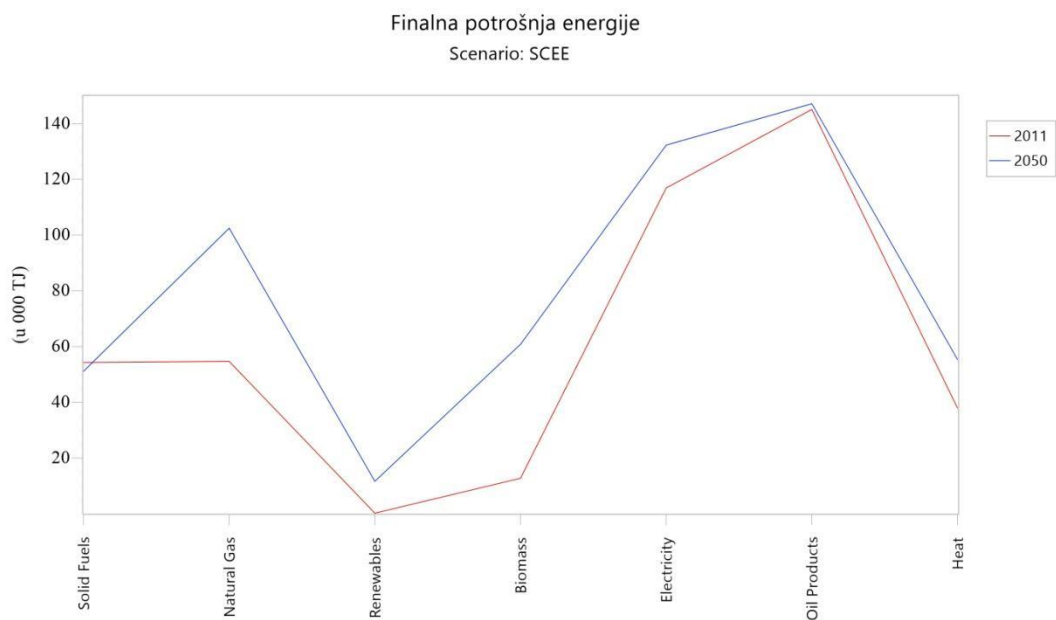
Slika A1.6: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2050. godinu

Izvor: Analiza autora



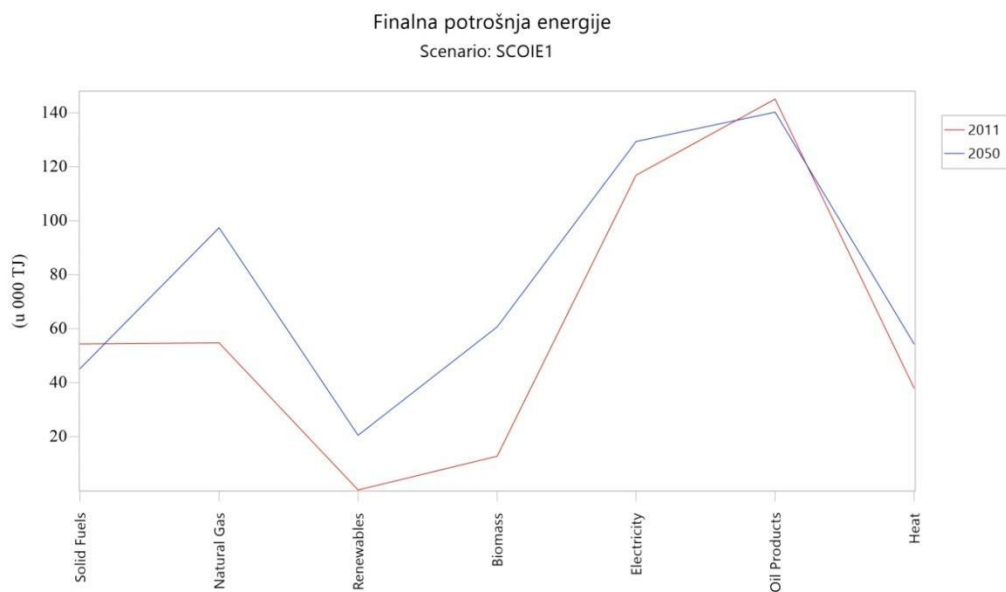
Slika A1.7: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije
(REF scenario – bazna i poslednja godina scenarija)

Izvor: Analiza autora



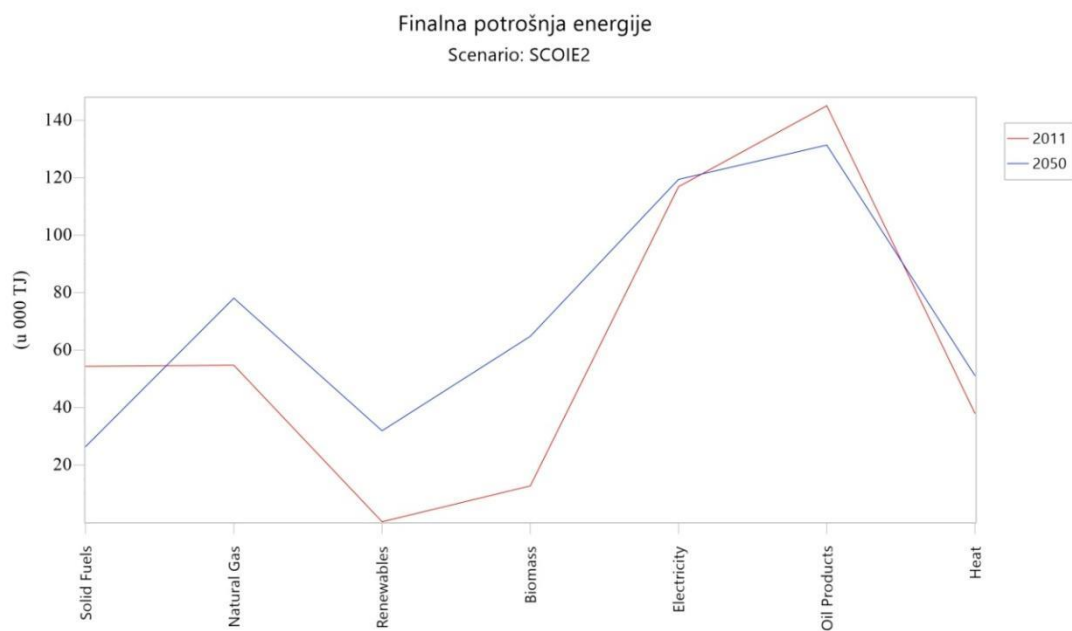
Slika A1.8: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije
(SCEE scenario – bazna i poslednja godina scenarija)

Izvor: Analiza autora



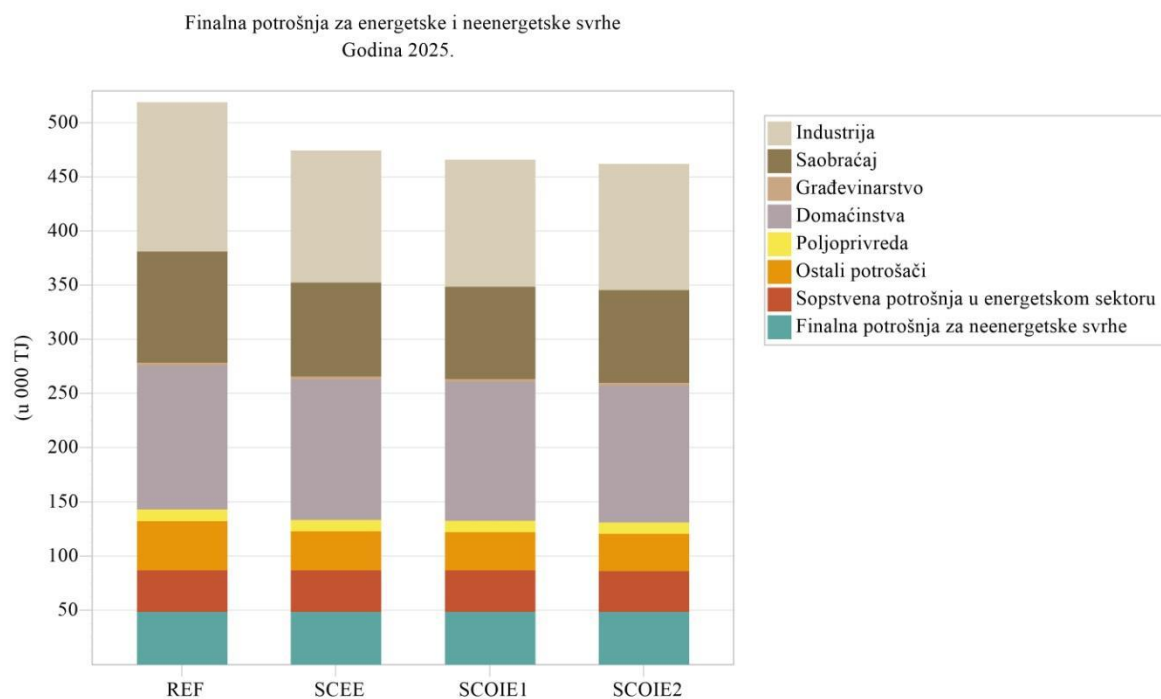
Slika A1.9: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije
(SCOIE1 scenario – bazna i poslednja godina scenarija)

Izvor: Analiza autora



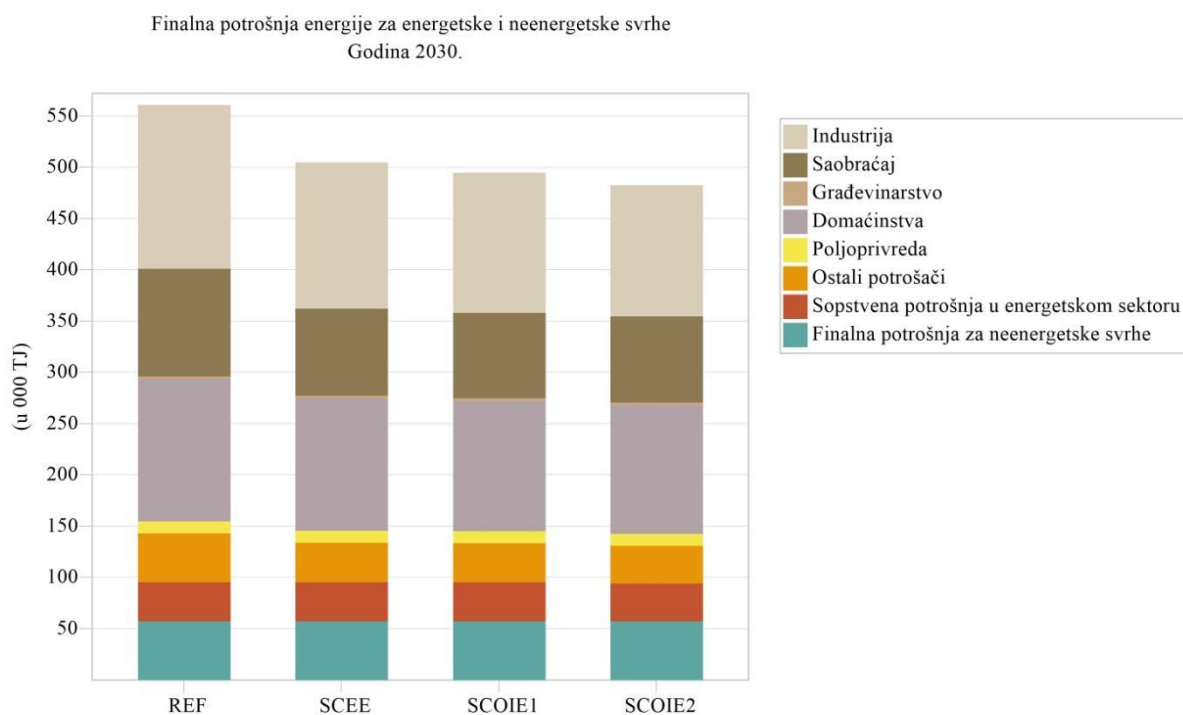
Slika A1.10: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije
(SCOIE2 scenario – bazna i poslednja godina scenarija)

Izvor: Analiza autora



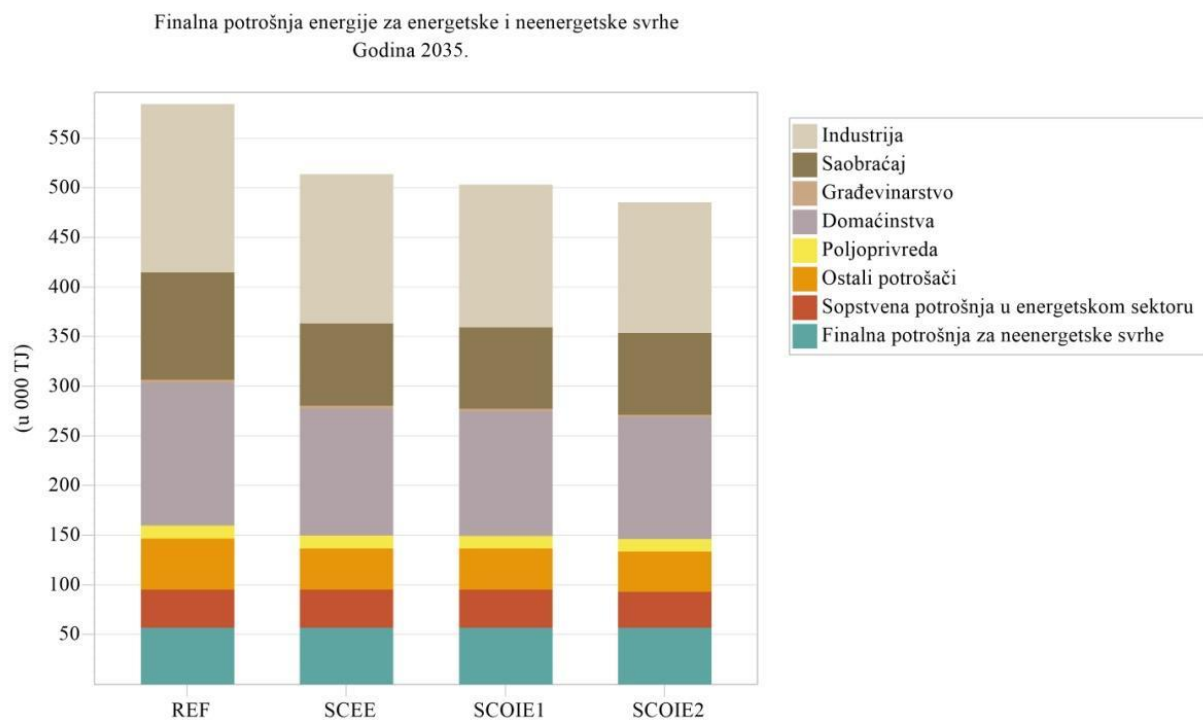
Slika A1.11: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2025. godinu

Izvor: Analiza autora



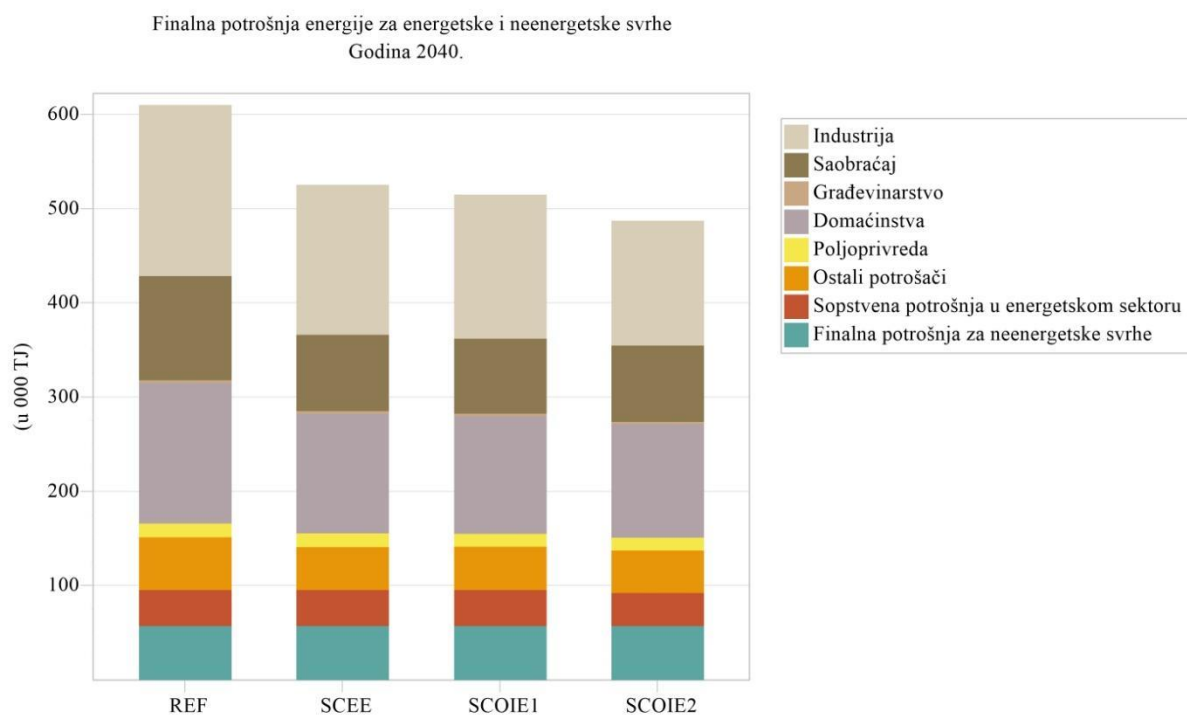
Slika A1.12: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2030. godinu

Izvor: Analiza autora



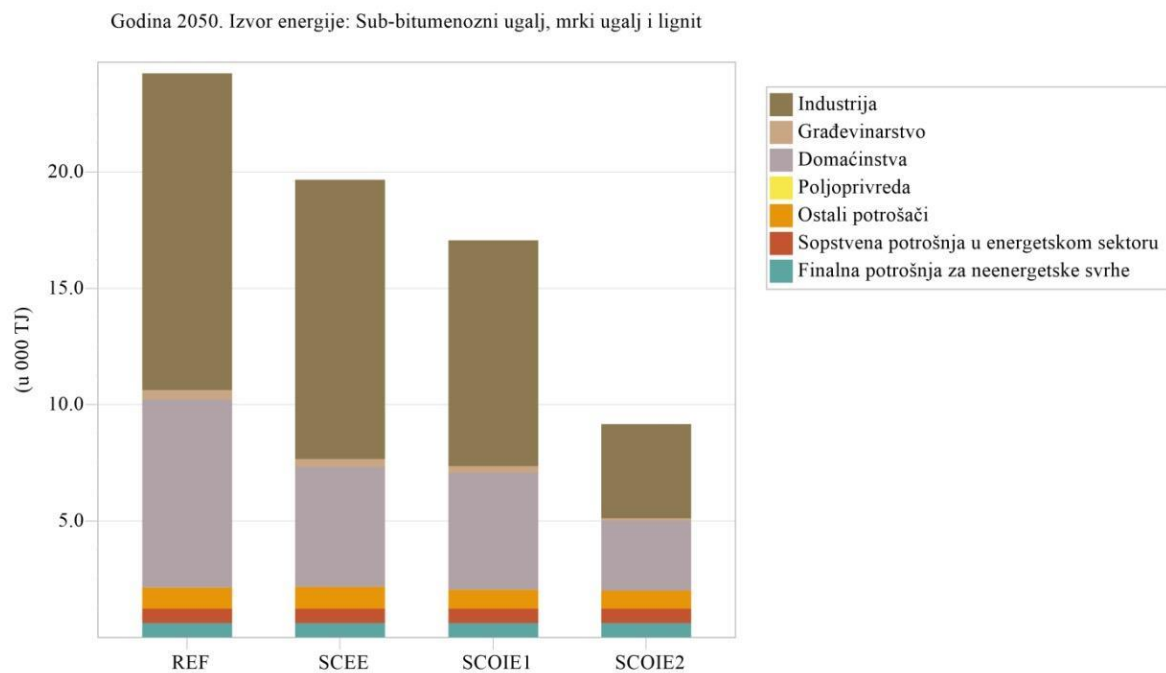
Slika A1.13: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2035. godinu

Izvor: Analiza autora



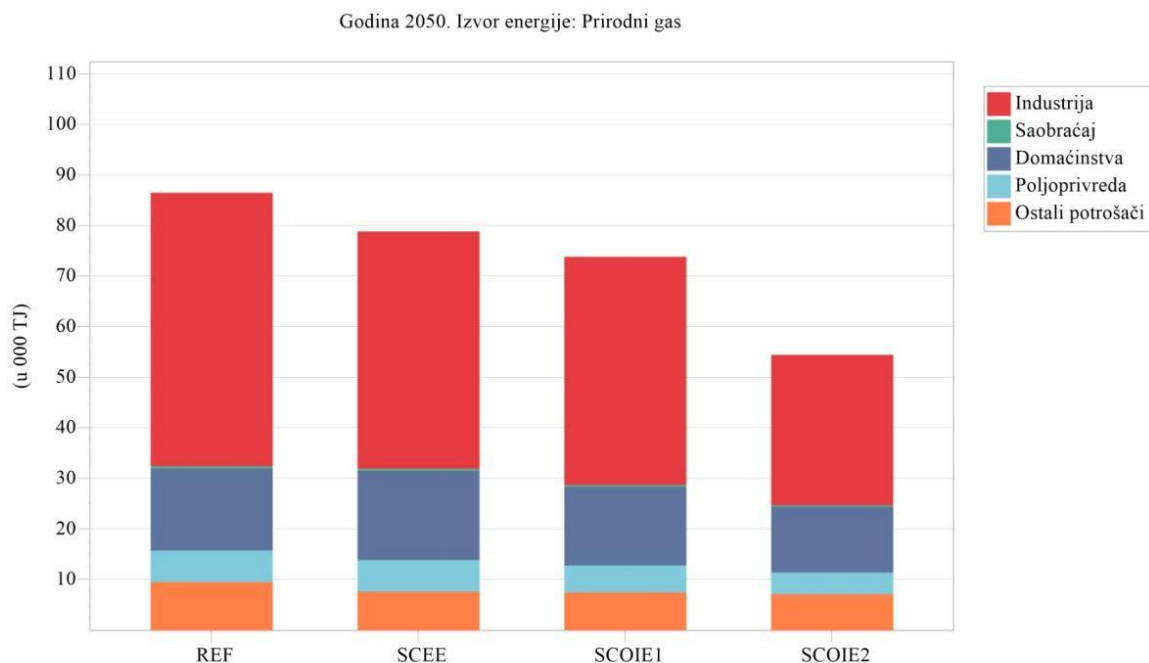
Slika A1.14: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2040. godinu

Izvor: Analiza autora



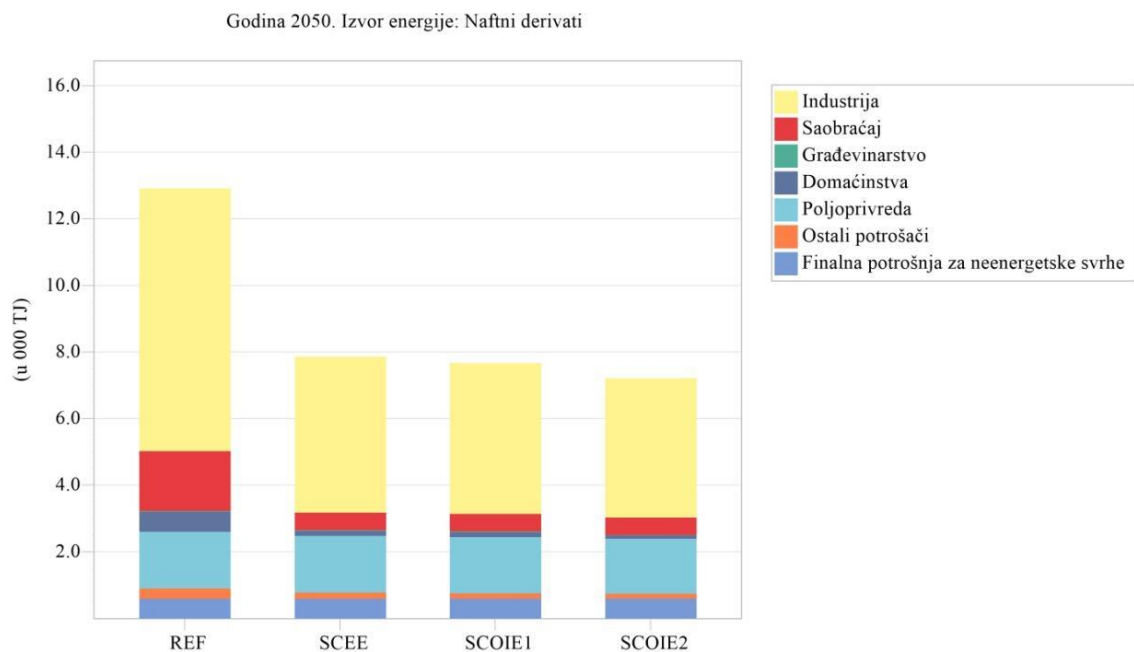
Slika A1.15: Projekcija finalne potrošnje sub-bitumenoznog uglja, mrkog uglja i lignita u Republici Srbiji za 2050. godinu

Izvor: Analiza autora



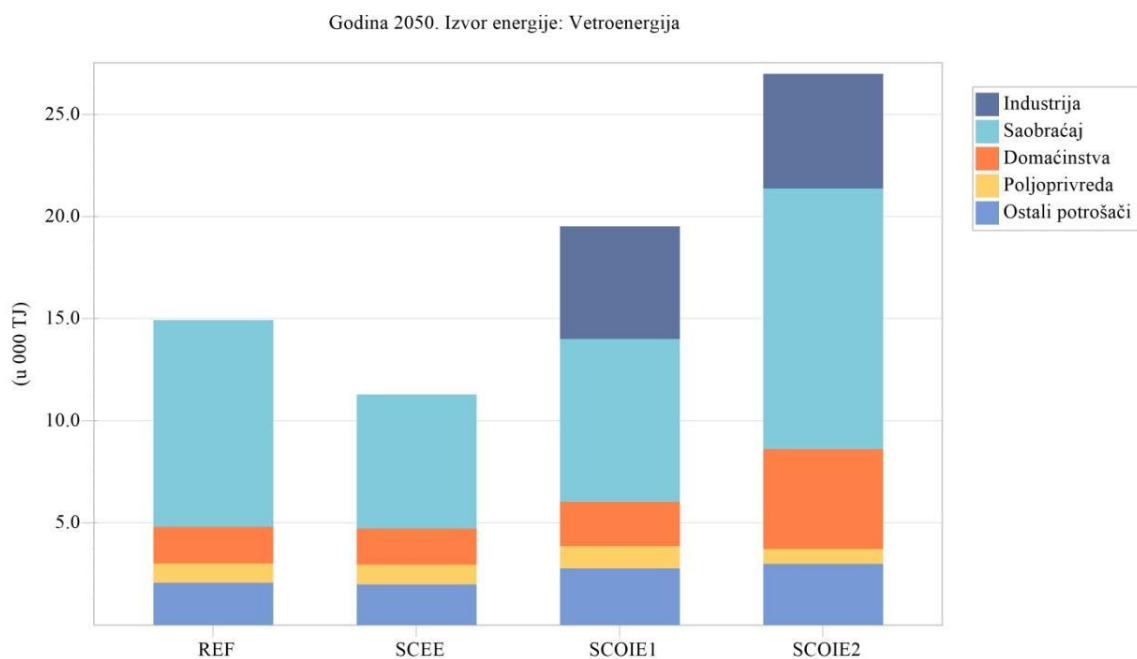
Slika A1.16: Projekcija finalne potrošnje prirodnog gasa u Republici Srbiji za 2050. godinu

Izvor: Analiza autora



Slika A1.17: Projekcija finalne potrošnje naftnih derivata u Republici Srbiji za 2050. godinu

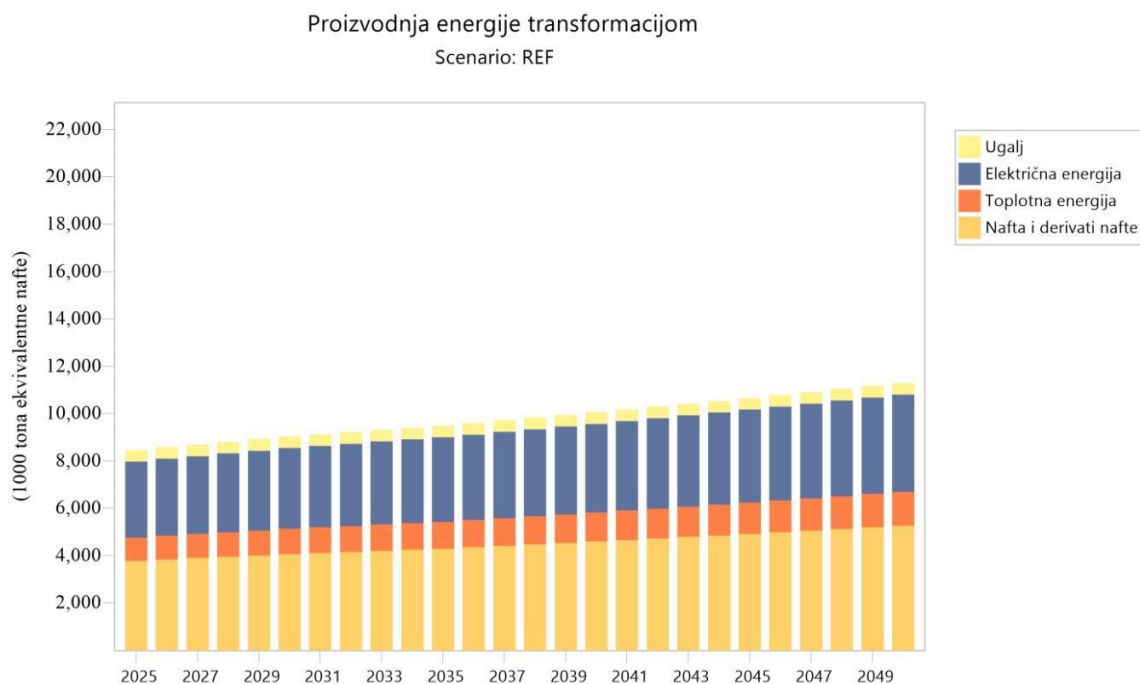
Izvor: Analiza autora



Slika A1.18: Projekcija finalne potrošnje vetroenergije u Republici Srbiji za 2050. godinu

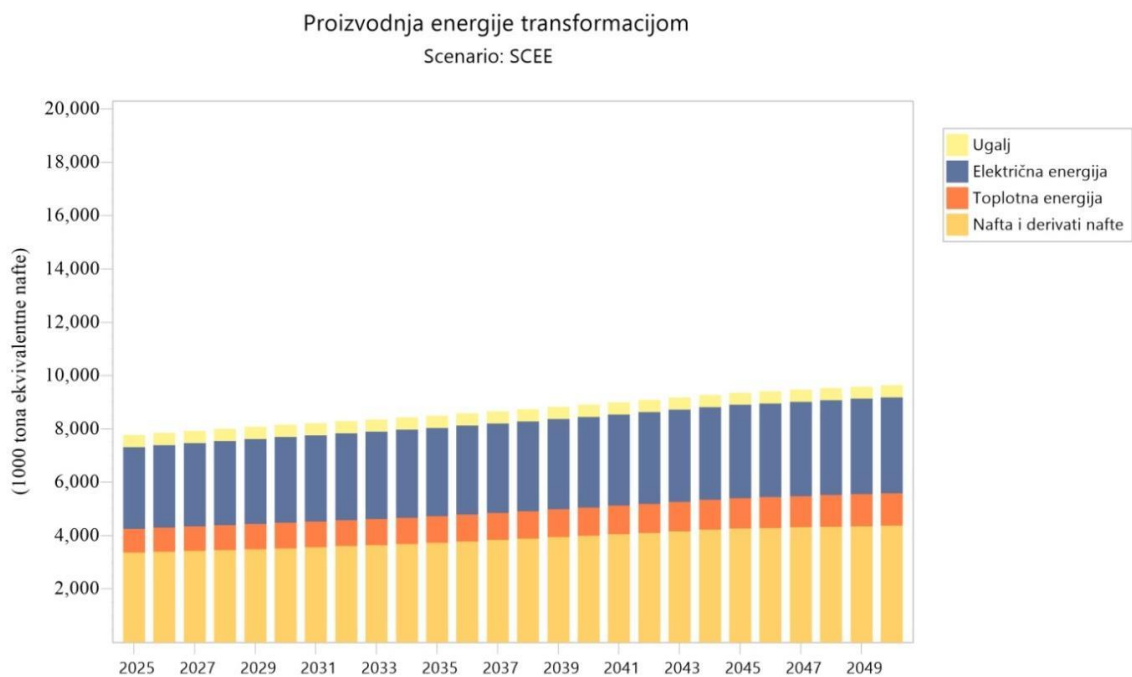
Izvor: Analiza autora

PRILOG 2: Projekcija proizvodnje energije transformacijom u Republici Srbiji do 2050. godine



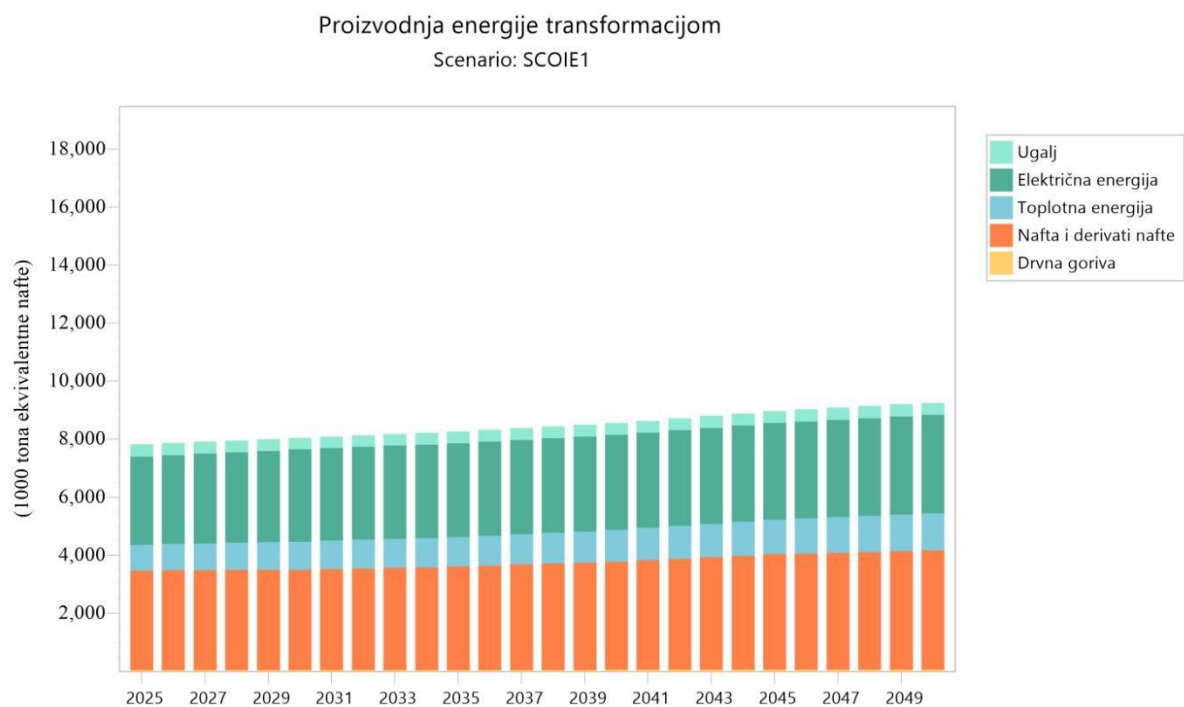
Slika A2.1: Projekcija proizvodnje energije transformacijom od 2025. do 2050. godinu za REF scenario

Izvor: Analiza autora



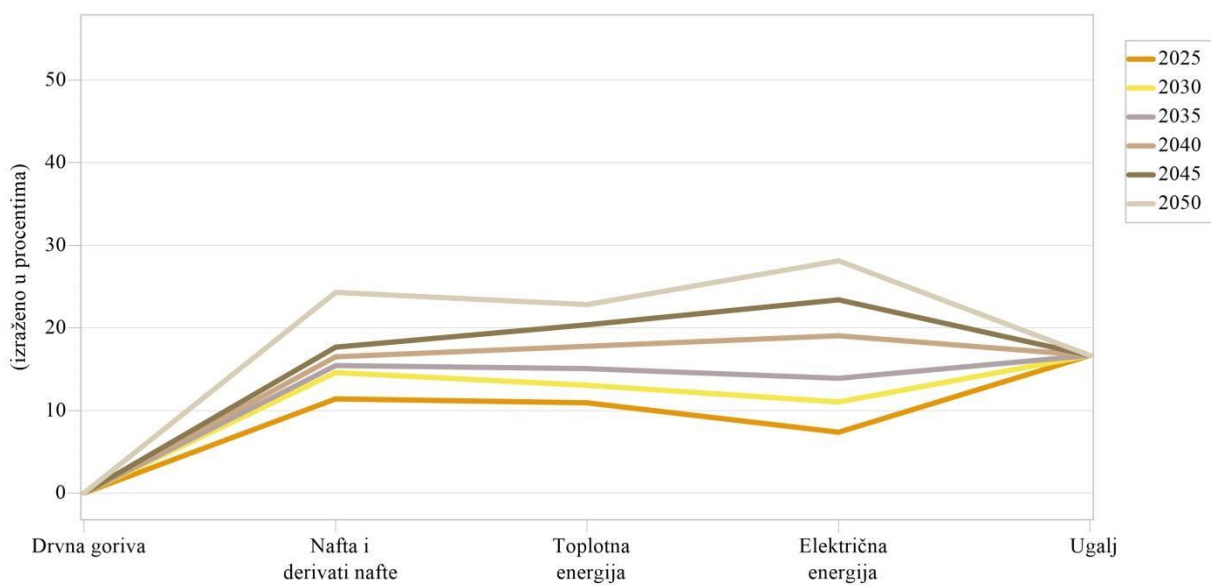
Slika A2.2: Projekcija proizvodnje energije transformacijom od 2025. do 2050. godinu za SCEE scenario

Izvor: Analiza autora



Slika A2.3: Projekcija proizvodnje energije transformacijom od 2025. do 2050. godinu za SCOIE1 scenario

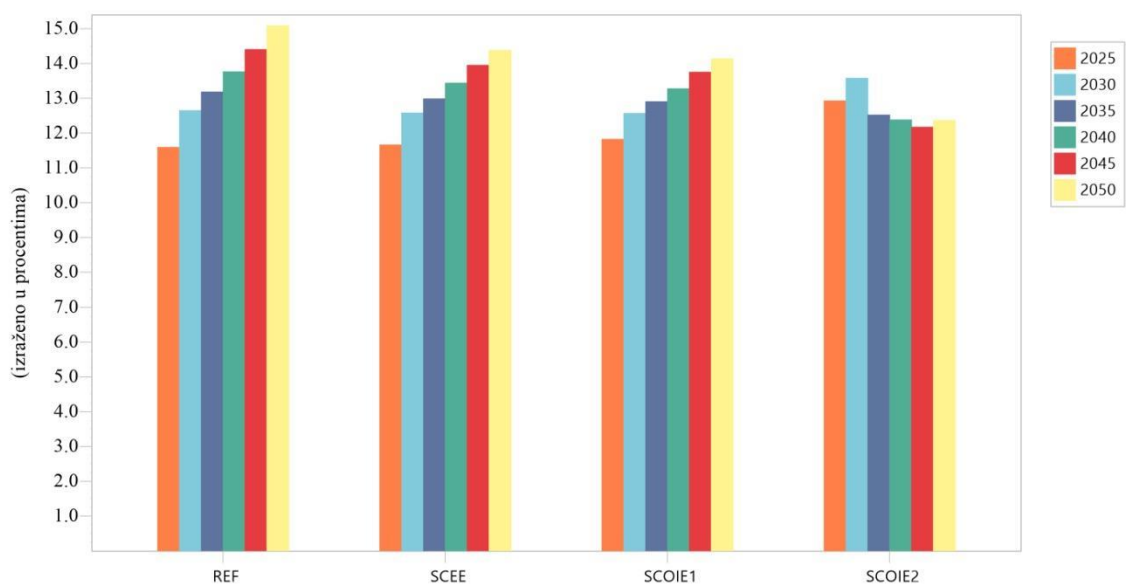
Izvor: Analiza autora



Slika A2.4: Projekcija procentualne promene za svakih pet godina proizvodnje energije transformacijom – poređenje REF i SCEE scenarija

Izvor: Analiza autora

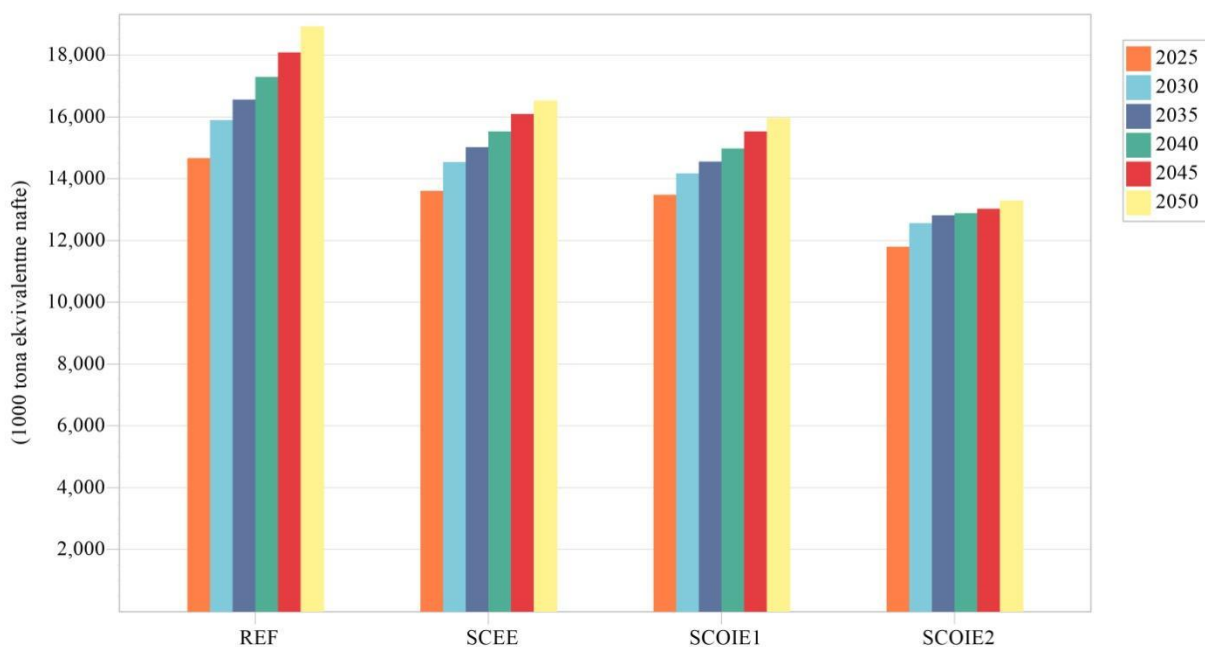
Projekcija rasta proizvodnje energije transformacijom - svi scenariji



Slika A2.5: Projekcija proizvodnje energije transformacijom –svi scenariji (SCOIE2 – pun kapacitet)

Izvor: Analiza autora

Projekcija rasta proizvodnje energije transformacijom - svi scenariji



Slika A2.6: Projekcija proizvodnje energije transformacijom –svi scenariji (SCOIE2 – proporcionalan kapacitet)

Izvor: Analiza autora

PRILOG 3: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji do 2050. godine

Tabela A3.1: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – sirova nafta (1000 ten)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	5,347.1	4,488.3	4,011.5	2,451.3
2049	5,281.0	4,468.9	3,985.4	2,459.2
2048	5,214.9	4,449.6	3,959.3	2,467.0
2047	5,148.8	4,430.2	3,933.2	2,474.9
2046	5,082.6	4,410.8	3,907.1	2,482.8
2045	5,016.5	4,391.4	3,881.0	2,490.6
2044	4,954.8	4,337.8	3,832.9	2,498.5
2043	4,893.0	4,284.3	3,784.8	2,506.4
2042	4,831.3	4,230.7	3,736.8	2,514.2
2041	4,769.5	4,177.1	3,688.7	2,522.1
2040	4,707.8	4,123.5	3,640.7	2,530.0
2039	4,650.0	4,073.4	3,608.4	2,537.8
2038	4,592.2	4,023.2	3,576.2	2,545.7
2037	4,534.5	3,973.0	3,544.0	2,553.6
2036	4,476.7	3,922.9	3,511.8	2,561.5
2035	4,419.0	3,872.7	3,479.6	2,569.3
2034	4,373.2	3,833.0	3,454.4	2,577.2
2033	4,327.4	3,793.3	3,429.2	2,585.1
2032	4,281.6	3,753.6	3,404.0	2,593.0
2031	4,235.8	3,713.9	3,378.8	2,600.9
2030	4,190.0	3,674.2	3,310.5	2,549.6
2029	4,138.0	3,644.7	3,332.5	2,518.6
2028	4,085.9	3,615.3	3,354.1	2,485.6
2027	4,033.8	3,585.8	3,375.6	2,450.5
2026	3,981.8	3,556.4	3,396.8	2,413.3
2025	3,866.6	3,463.8	3,354.6	2,311.0

Izvor: Analiza autora

Tabela A3.2: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – ugalj (1000 ten)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	8,680.4	7,255.8	5,549.6	4,307.0
2049	8,624.5	7,233.5	5,607.2	4,430.8
2048	8,568.6	7,211.2	5,616.1	4,557.1
2047	8,512.7	7,189.0	5,674.8	4,685.8
2046	8,456.8	7,166.8	5,684.6	4,730.1
2045	8,423.1	7,172.4	5,694.8	4,862.8
2044	8,366.4	7,152.9	5,748.4	4,979.6
2043	8,309.7	7,133.5	5,752.6	5,008.9
2042	8,253.0	7,114.1	5,757.0	5,038.6
2041	8,196.3	7,094.9	5,761.7	5,113.9
2040	8,172.3	7,107.2	5,766.3	5,144.7
2039	8,105.6	7,077.4	5,813.8	5,261.0

2038	8,038.7	7,047.5	5,811.4	5,286.6
2037	7,971.7	7,017.5	5,808.9	5,312.6
2036	7,904.7	6,987.3	5,806.4	5,338.9
2035	7,862.9	6,977.9	5,803.9	5,365.6
2034	7,795.4	6,952.5	5,860.6	5,404.5
2033	7,727.7	6,927.1	5,917.7	5,491.8
2032	7,658.7	6,901.5	5,975.1	5,580.6
2031	7,589.6	6,875.8	5,982.9	5,622.3
2030	7,515.7	6,840.0	5,991.0	5,664.7
2029	7,495.8	6,840.0	6,069.2	5,645.9
2028	7,387.1	6,763.5	6,127.1	5,609.9
2027	7,278.5	6,687.8	6,182.8	5,762.9
2026	7,170.8	6,612.7	6,140.9	5,818.2
2025	6,990.1	6,461.3	6,099.1	5,871.4

Izvor: Analiza autora

Tabela A3.3: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – biomasa (1000 ten)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	1,351.4	1,269.1	2,196.2	2,662.7
2049	1,339.3	1,259.3	2,126.0	2,560.7
2048	1,327.2	1,249.4	2,105.0	2,457.0
2047	1,314.9	1,239.3	2,034.9	2,351.6
2046	1,302.6	1,229.3	2,014.2	2,331.4
2045	1,290.2	1,219.3	1,993.5	2,223.6
2044	1,278.4	1,210.0	1,923.4	2,113.0
2043	1,266.6	1,200.8	1,903.1	2,090.6
2042	1,254.8	1,191.5	1,883.1	2,068.7
2041	1,243.0	1,182.3	1,863.3	2,001.7
2040	1,231.2	1,172.7	1,843.2	1,979.8
2039	1,220.9	1,164.7	1,776.9	1,872.0
2038	1,210.6	1,156.8	1,760.5	1,855.5
2037	1,200.1	1,148.8	1,744.1	1,839.3
2036	1,189.5	1,140.8	1,727.9	1,823.2
2035	1,179.0	1,132.7	1,711.6	1,807.4
2034	1,179.7	1,133.1	1,648.9	1,797.8
2033	1,180.4	1,133.4	1,586.0	1,740.5
2032	1,181.1	1,133.8	1,523.0	1,682.4
2031	1,181.7	1,134.2	1,510.1	1,672.1
2030	1,182.3	1,134.6	1,497.1	1,661.9
2029	1,107.3	1,064.9	1,349.5	1,605.2
2028	1,088.5	1,045.3	1,222.8	1,566.9
2027	1,070.1	1,026.4	1,099.2	1,340.9
2026	1,052.1	1,008.1	1,073.8	1,213.6
2025	1,034.7	990.3	1,048.9	1,089.5

Izvor: Analiza autora

Tabela A3.4: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – prirodni gas (1000 ten)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	1,040.5	864.6	781.8	621.9
2049	1,025.8	854.0	779.2	629.6
2048	1,011.0	842.9	776.4	637.2
2047	995.7	831.7	773.4	644.6
2046	980.3	820.5	770.2	651.9
2045	964.9	809.3	766.4	659.1
2044	949.8	798.6	762.1	662.5
2043	934.8	787.8	757.5	665.6
2042	919.7	777.1	752.8	668.3
2041	904.7	766.3	747.8	670.7
2040	889.6	754.9	741.5	672.8
2039	876.8	746.0	736.4	670.3
2038	863.9	737.1	731.2	667.6
2037	850.7	728.2	725.8	664.7
2036	837.4	719.2	720.4	661.7
2035	824.1	710.3	714.8	658.5
2034	817.5	705.7	714.0	665.6
2033	810.9	701.1	713.2	672.8
2032	804.3	696.6	712.3	680.1
2031	797.8	692.0	711.3	687.4
2030	791.2	687.5	710.3	694.9
2029	745.2	651.6	700.7	683.7
2028	741.9	653.3	691.0	672.2
2027	738.1	654.5	681.1	660.4
2026	733.9	655.2	671.0	648.3
2025	729.2	655.2	660.8	635.9
2024	890.9	849.8	870.3	828.3
2023	879.9	848.4	858.9	808.3
2022	867.5	845.3	848.0	787.2
2021	850.7	838.1	837.5	765.1

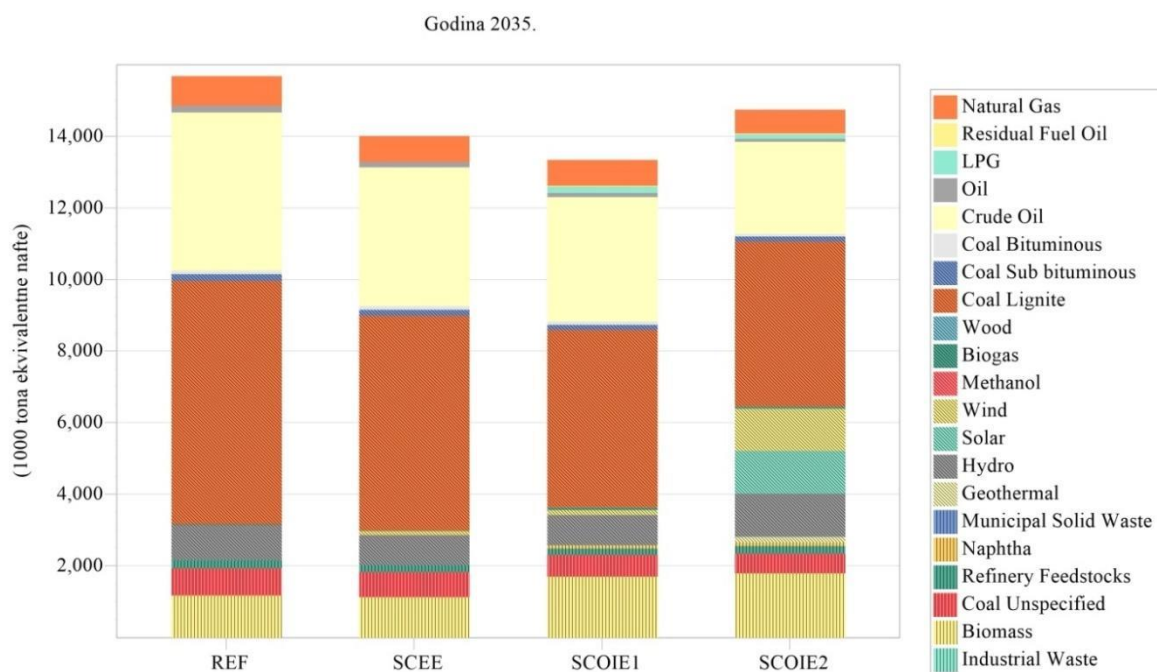
Izvor: Analiza autora

Tabela A3.5: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – hidroenergija
(1000 ten)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	1,030.5	829.5	798.3	1,576.0
2049	1,024.8	828.0	797.1	1,527.2
2048	1,019.1	826.5	795.9	1,478.4
2047	1,013.3	825.1	794.7	1,429.6
2046	1,007.6	823.7	793.5	1,380.8
2045	1,001.9	822.3	792.3	1,332.0
2044	998.0	822.9	793.5	1,317.6

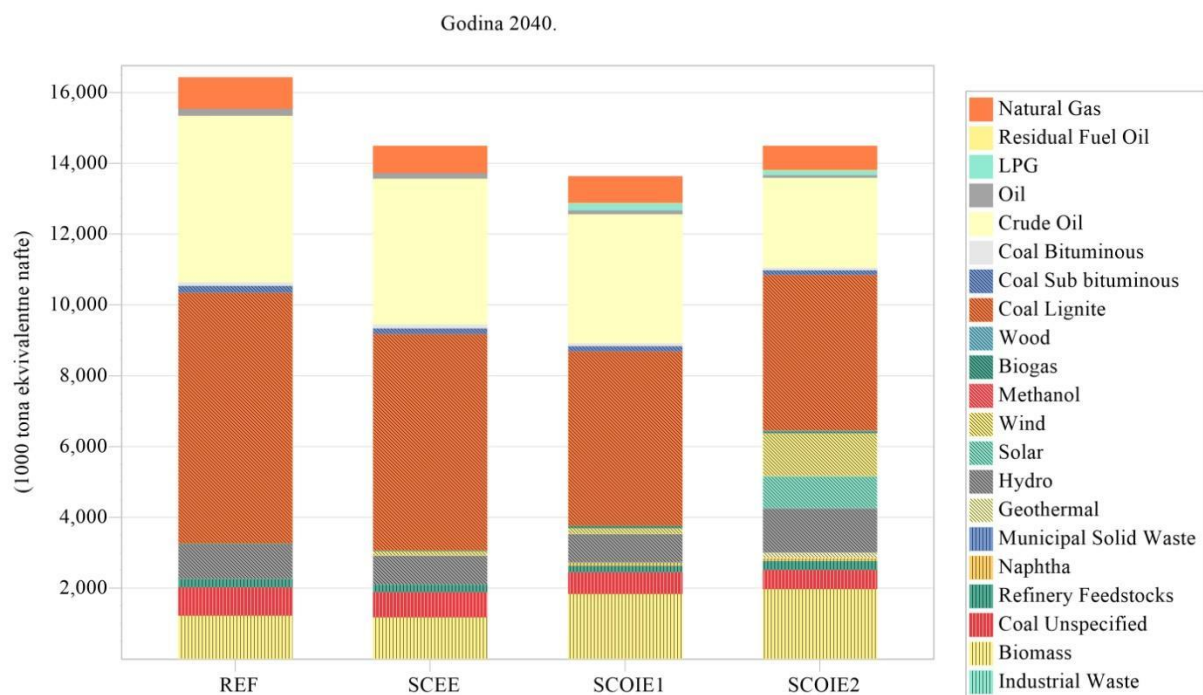
2043	994.1	823.6	794.7	1,303.2
2042	990.2	824.3	796.0	1,288.8
2041	986.3	825.0	797.4	1,274.4
2040	982.4	825.8	798.8	1,260.0
2039	981.9	829.3	804.8	1,249.0
2038	981.5	832.8	811.1	1,238.0
2037	981.2	836.4	817.5	1,227.0
2036	980.9	840.2	824.0	1,216.0
2035	980.6	844.1	830.8	1,205.0
2034	976.9	843.4	834.0	1,176.0
2033	973.1	842.9	837.2	1,147.0
2032	969.1	842.3	840.6	1,118.0
2031	965.1	841.8	844.1	1,089.0
2030	961.1	841.3	847.7	1,060.0
2029	950.8	835.9	845.1	1,056.1
2028	940.2	830.7	842.6	1,052.1
2027	929.5	825.6	840.3	1,048.2
2026	919.0	820.6	838.1	1,044.2
2025	908.5	815.7	836.1	1,040.3

Izvor: Analiza autora



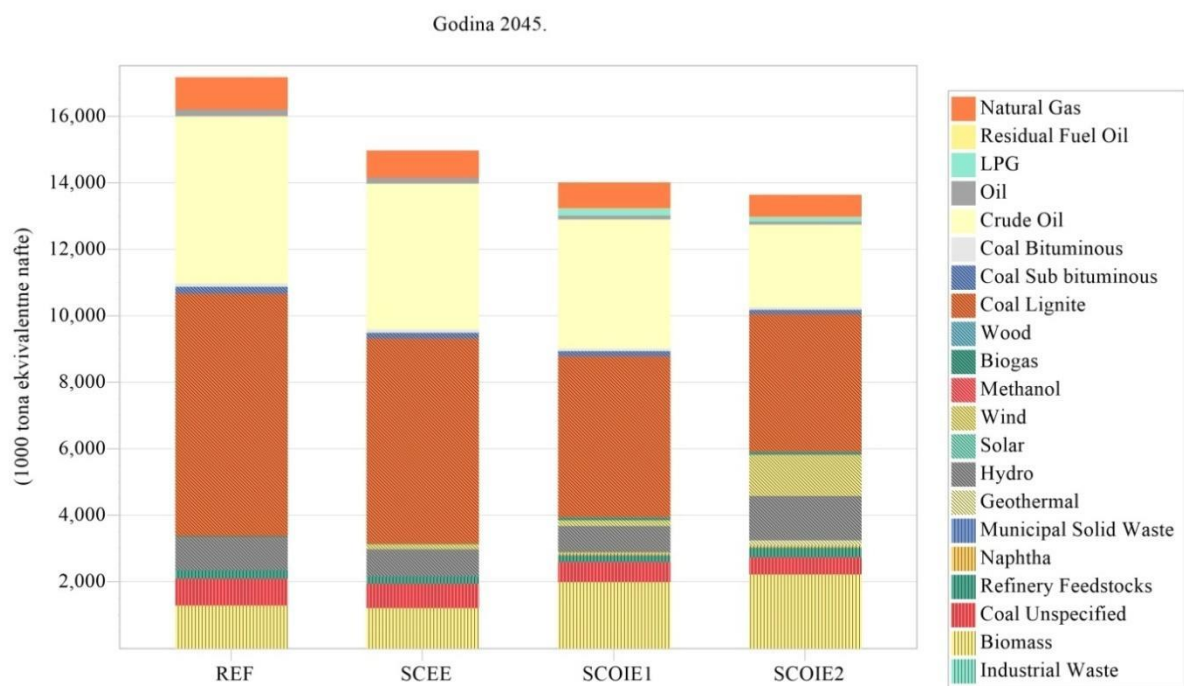
Slika A3.1: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2035. godinu

Izvor: Analiza autora



Slika A3.2: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2040. godinu

Izvor: Analiza autora



Slika A3.3: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2045. godinu

Izvor: Analiza autora

Tabela A3.6: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2030. godinu

Vrsta goriva (1000 ten)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Prirodni gas	791.2	687.5	710.3	694.9
Ulje za loženje (mazut)	-	-	23.5	17.6
Tečni naftni gas	-	-	173.5	134.1
Ostali proizvodi – derivati nafte	166.9	147.8	117.5	91.9
Sirova nafta	4,190.0	3,674.2	3,310.5	2,549.6
Bitumenozni ugalj	103.5	103.5	86.0	75.5
Sub-bitumenozni ugalj	177.3	158.1	150.5	147.1
Lignit	6,495.7	5,886.2	5,142.9	4,884.8
Drvena goriva	-	-	6.7	10.1
Biogas	20.6	15.4	53.5	42.6
Metanol	-	-	3.7	-
Vetroenergija	-	100.3	112.2	2,140.2
Solarna energija	1.2	1.2	2.1	1,202.4
Hidroenergija	961.1	841.3	847.7	1,060.0
Geotermalna energija	-	-	0.8	104.0
Komunalni otpad	-	-	5.0	-
Nafta	-	-	121.2	121.2
Rafinisana osnovna sirovina	205.4	178.3	168.0	179.9
Ugalj – ostali proizvodi	739.2	692.1	611.5	557.2
Biomasa	1,182.3	1,134.6	1,497.1	1,661.9
Industrijski otpad	-	-	0.4	0.4

Izvor: Analiza autora

Tabela A3.7: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2035. godinu

Vrsta goriva (1000 ten)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Prirodni gas	824.1	710.3	714.8	658.5
Ulje za loženje (mazut)	-	-	21.3	14.4
Tečni naftni gas	-	-	179.3	132.8
Ostali proizvodi – derivati nafte	179.1	155.4	115.4	84.6
Sirova nafta	4,419.0	3,872.7	3,479.6	2,569.3
Bitumenozni ugalj	103.5	103.5	86.0	75.5
Sub-bitumenozni ugalj	187.5	161.9	149.4	140.9
Lignit	6,806.1	6,008.1	4,959.5	4,609.8
Drvena goriva	-	-	6.4	10.7
Biogas	22.0	17.3	62.8	51.9
Metanol	-	-	4.6	-
Vetroenergija	-	108.3	131.6	1,174.4
Solarna energija	1.4	2.1	2.7	1,203.2
Hidroenergija	980.6	844.1	830.8	1,205.0
Geotermalna energija	-	-	1.4	154.5
Komunalni otpad	-	-	7.0	-
Nafta	-	-	95.6	95.6
Rafinisana osnovna sirovina	217.5	188.7	175.0	218.4
Ugalj – ostali proizvodi	765.9	704.4	609.1	539.5

Biomasa	1,179.0	1,132.7	1,711.6	1,807.4
Industrijski otpad	-	-	0.4	0.3

Izvor: Analiza autora

Tabela A3.8: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2040. godinu

Vrsta goriva (1000 ten)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Prirodni gas	889.6	754.9	741.5	672.8
Ulje za loženje (mazut)	-	-	19.8	12.6
Tečni naftni gas	-	-	187.8	131.9
Ostali proizvodi – derivati nafte	191.6	163.7	116.6	83.9
Sirova nafta	4,707.8	4,123.5	3,640.7	2,530.0
Bitumenozni ugalj	103.5	103.5	86.0	75.5
Sub-bitumenozni ugalj	197.4	166.3	149.7	136.7
Lignit	7,078.9	6,119.2	4,918.5	4,401.1
Drvena goriva	-	-	6.2	11.8
Biogas	23.1	19.0	71.9	64.3
Metanol	-	-	5.5	-
Vetroenergija	-	120.6	148.9	1,208.6
Solarna energija	1.6	2.6	3.2	904.0
Hidroenergija	982.4	825.8	798.8	1,260.0
Geotermalna energija	-	-	1.7	155.6
Komunalni otpad	-	-	8.7	-
Nafta	-	-	84.8	76.5
Rafinisana osnovna sirovina	232.7	201.9	183.9	256.9
Ugalj – ostali proizvodi	792.5	718.2	612.1	531.3
Biomasa	1,231.2	1,172.7	1,843.2	1,979.8
Industrijski otpad	-	-	0.4	0.3

Izvor: Analiza autora

Tabela A3.9: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2045. godinu

Vrsta goriva (1000 ten)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Prirodni gas	964.9	809.3	766.4	659.1
Ulje za loženje (mazut)	-	-	18.6	10.9
Tečni naftni gas	-	-	200.6	131.0
Ostali proizvodi – derivati nafte	205.9	173.8	119.0	82.6
Sirova nafta	5,016.5	4,391.4	3,881.0	2,490.6
Bitumenozni ugalj	103.5	103.5	86.0	75.5
Sub-bitumenozni ugalj	205.7	169.0	148.9	131.8
Lignit	7,296.3	6,169.2	4,845.6	4,134.4
Drvena goriva	-	-	6.1	12.6
Biogas	24.5	20.7	80.7	76.4
Metanol	-	-	6.3	-
Vetroenergija	-	144.4	165.3	1,242.8
Solarna energija	1.9	3.3	3.6	4.8
Hidroenergija	1,001.9	822.3	792.3	1,332.0
Geotermalna energija	-	-	2.9	156.0

Komunalni otpad	-	-	10.4	-
Nafta	-	-	74.0	57.4
Rafinisana osnovna sirovina	248.9	216.0	197.3	295.3
Ugalj – ostali proizvodi	817.6	730.7	614.4	521.1
Biomasa	1,290.2	1,219.3	1,993.5	2,223.6
Industrijski otpad	-	-	0.4	0.3

Izvor: Analiza autora

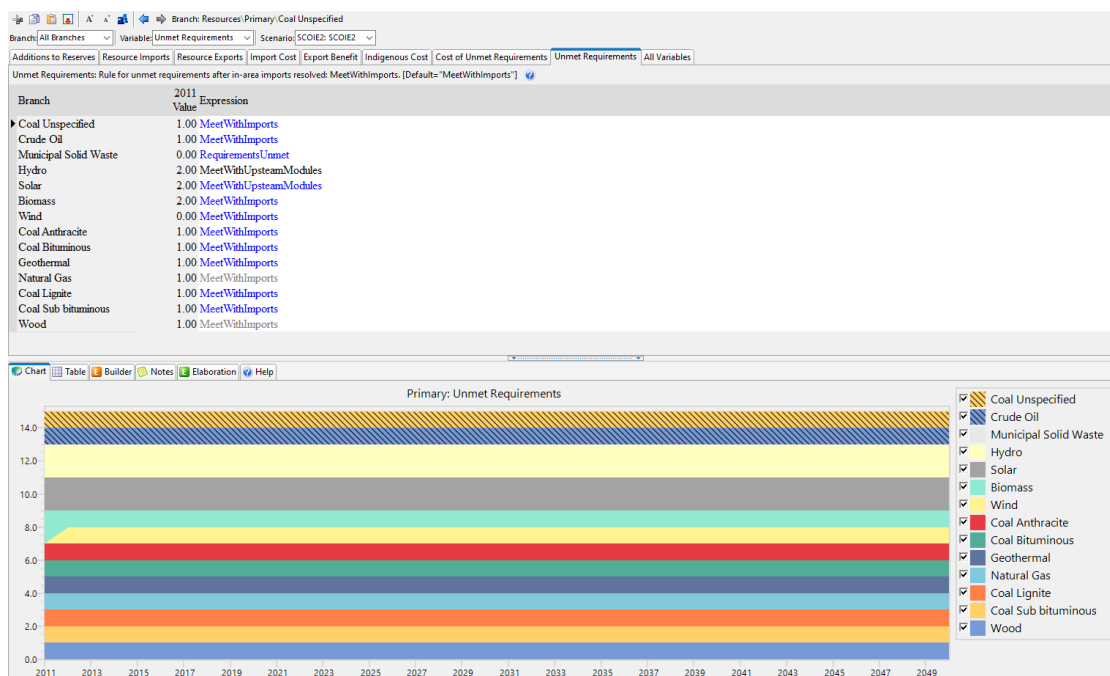
Tabela A3.10: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2050. godinu

Vrsta goriva (1000 ten)	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
Prirodni gas	1,040.5	864.6	781.8	621.9
Ulje za loženje (mazut)	-	-	17.0	8.8
Tečni naftni gas	-	-	207.4	130.1
Ostali proizvodi – derivati nafte	219.8	183.7	118.8	77.2
Sirova nafta	5,347.1	4,488.3	4,011.5	2,451.3
Bitumenozni ugalj	103.5	103.5	86.0	75.5
Sub-bitumenozni ugalj	214.0	172.2	147.2	124.5
Lignit	7,520.5	6,236.4	4,703.1	3,603.8
Drvena goriva	-	-	5.9	12.6
Biogas	25.6	22.3	87.6	84.4
Metanol	-	-	6.9	-
Vetroenergija	-	161.8	178.0	1,277.0
Solarna energija	2.2	4.0	4.0	5.6
Hidroenergija	1,030.5	829.5	798.3	1,576.0
Geotermalna energija	-	-	3.8	163.3
Komunalni otpad	-	-	11.7	-
Nafta	-	-	63.1	38.3
Rafinisana osnovna sirovina	266.3	221.1	204.5	333.7
Ugalj – ostali proizvodi	842.4	743.8	613.3	503.2
Biomasa	1,351.4	1,269.1	2,196.2	2,662.7
Industrijski otpad	-	-	0.4	0.2

Izvor: Analiza autora

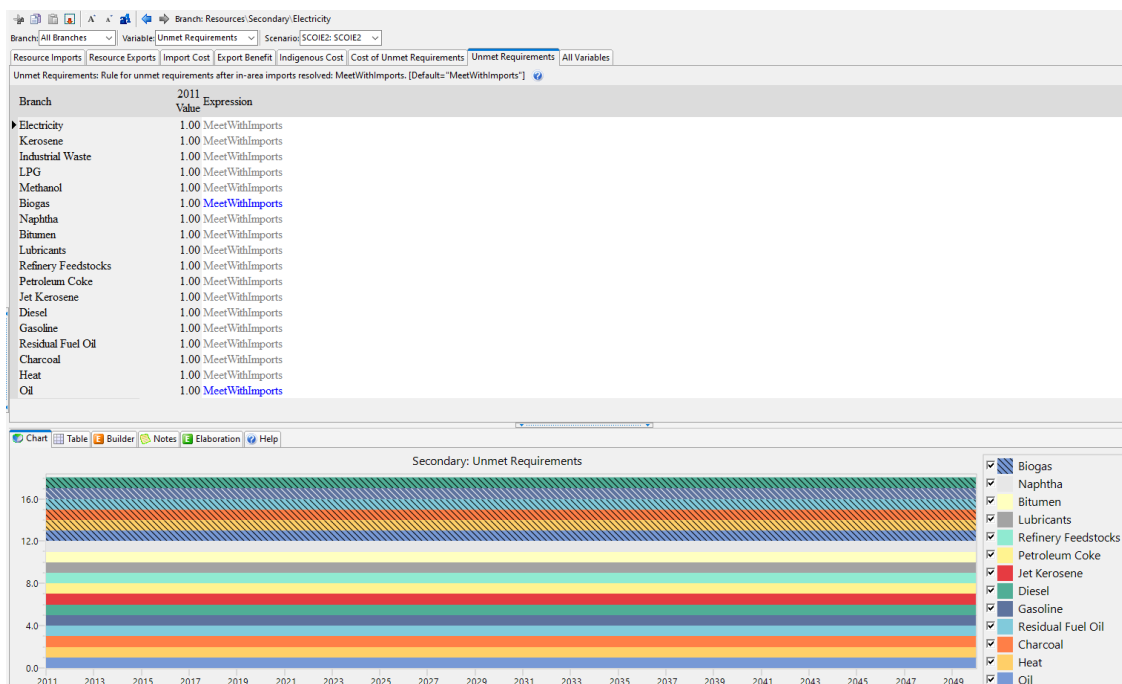
PRILOG 4: Projekcija neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji do 2050. godine

PRILOG 4.1: Testiranje opcije SCOIE2 scenarija: proporcionalan kapacitet OIE



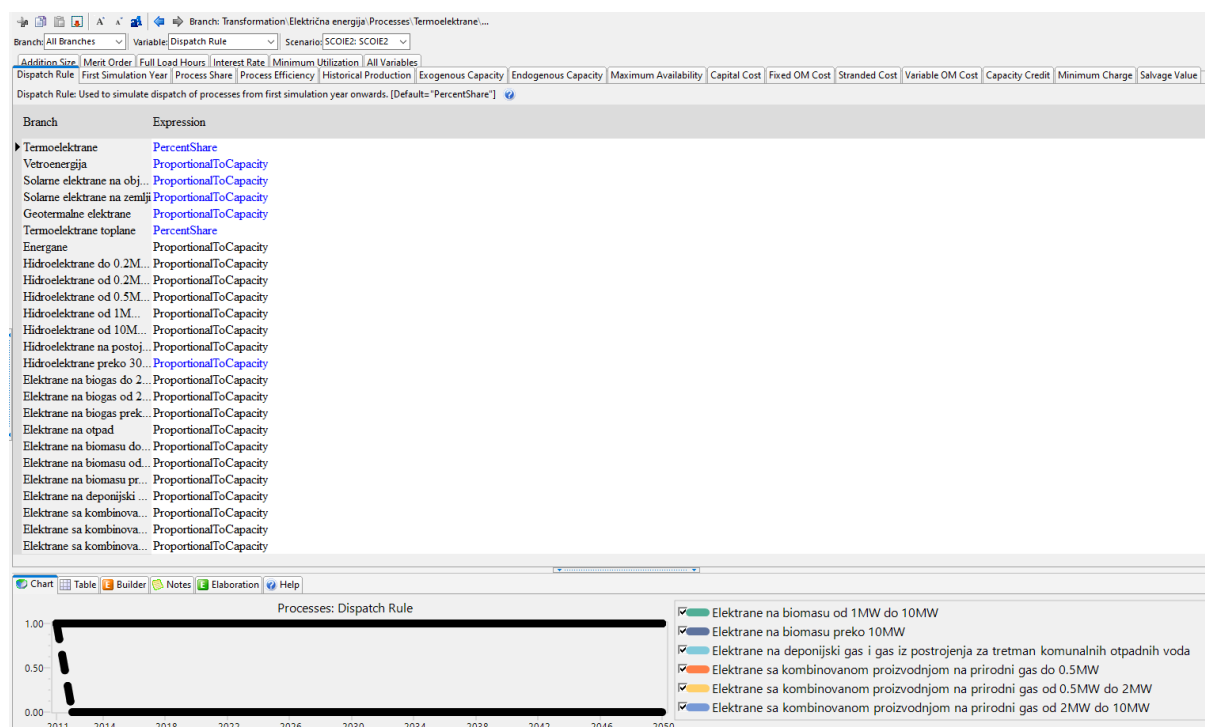
Slika A4.1: Sažet prikaz zadatih funkcija za ispunjenje energetske potrebe - SCOIE2 scenario (opcija proporcionalan kapacitet – 1. prikaz)

Izvor: Analiza autora



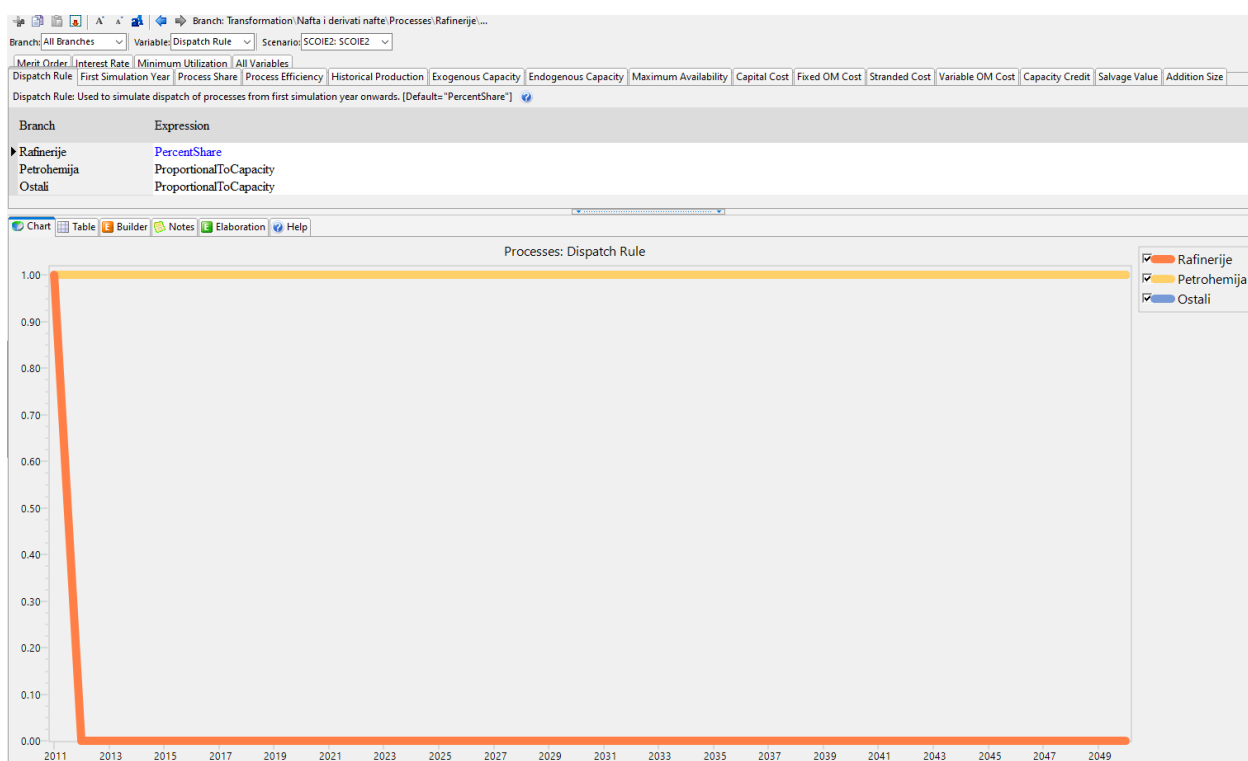
Slika A4.2: Sažet prikaz zadatih funkcija za ispunjenje energetske potrebe - SCOIE2 scenario (opcija proporcionalan kapacitet – 2. prikaz)

Izvor: Analiza autora



Slika A4.3: Sažet prikaz funkcija za pravilo otpremanja energije - SCOIE2 scenario (opcija proporcionalan kapacitet – 1. prikaz)

Izvor: Analiza autora



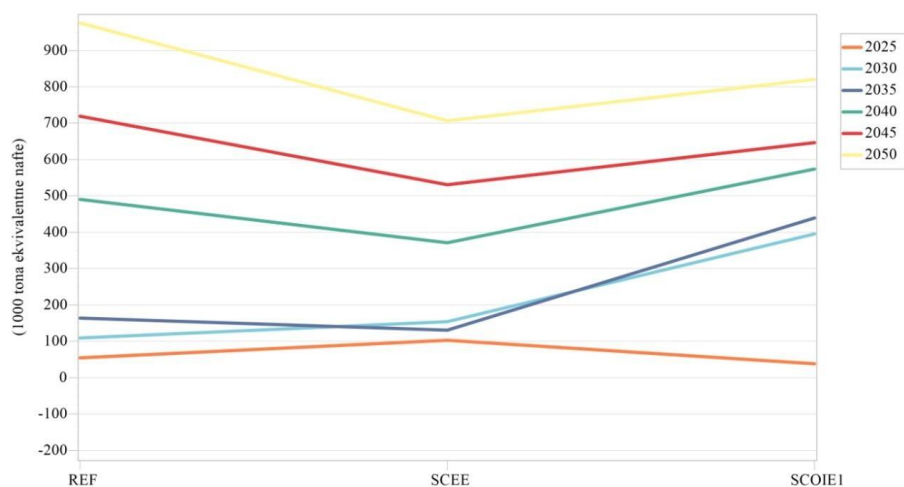
Slika A4.4: Sažet prikaz funkcija za pravilo otpremanja energije - SCOIE2 scenario (opcija proporcionalan kapacitet – 2. prikaz)

Izvor: Analiza autora

Tabela A4.1: Projekcija neispunjenih zahteva za vetroenergijom u Republici Srbiji (1000 ten)

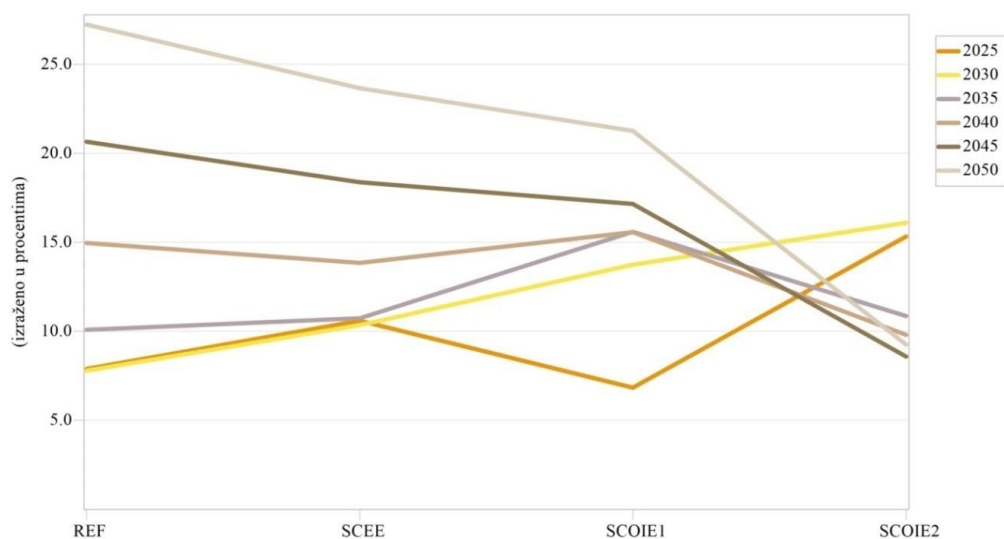
Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	215.5	313.7	-	-
2049	211.2	307.4	-	-
2048	206.9	301.1	-	-
2047	202.6	294.7	-	-
2046	198.4	288.3	-	-
2045	194.1	281.9	-	-
2044	190.5	275.0	-	-
2043	187.0	268.1	0.7	-
2042	183.5	261.2	10.1	-
2041	179.9	254.2	19.5	-
2040	176.4	247.1	28.7	-
2039	173.4	243.5	39.8	-
2038	170.5	239.8	50.7	-
2037	167.5	236.1	61.6	-
2036	164.6	232.3	72.3	-
2035	161.6	228.5	83.0	-
2034	159.1	226.0	93.2	-
2033	156.5	223.5	103.3	-
2032	154.0	220.9	113.3	-
2031	151.5	218.4	123.0	-
2030	149.0	215.8	132.5	-
2029	151.8	217.4	140.2	-
2028	154.6	219.0	148.0	-
2027	157.4	220.7	155.7	-
2026	160.2	222.3	163.4	-
2025	163.0	223.9	171.1	-

Izvor: Analiza autora



Slika A4.5: Projekcija kretanja neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji – razlika u odnosu na SCOIE2 scenario

Izvor: Analiza autora



Slika A4.6: Projekcija kretanja neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji (izraženo u procentima)

Izvor: Analiza autora

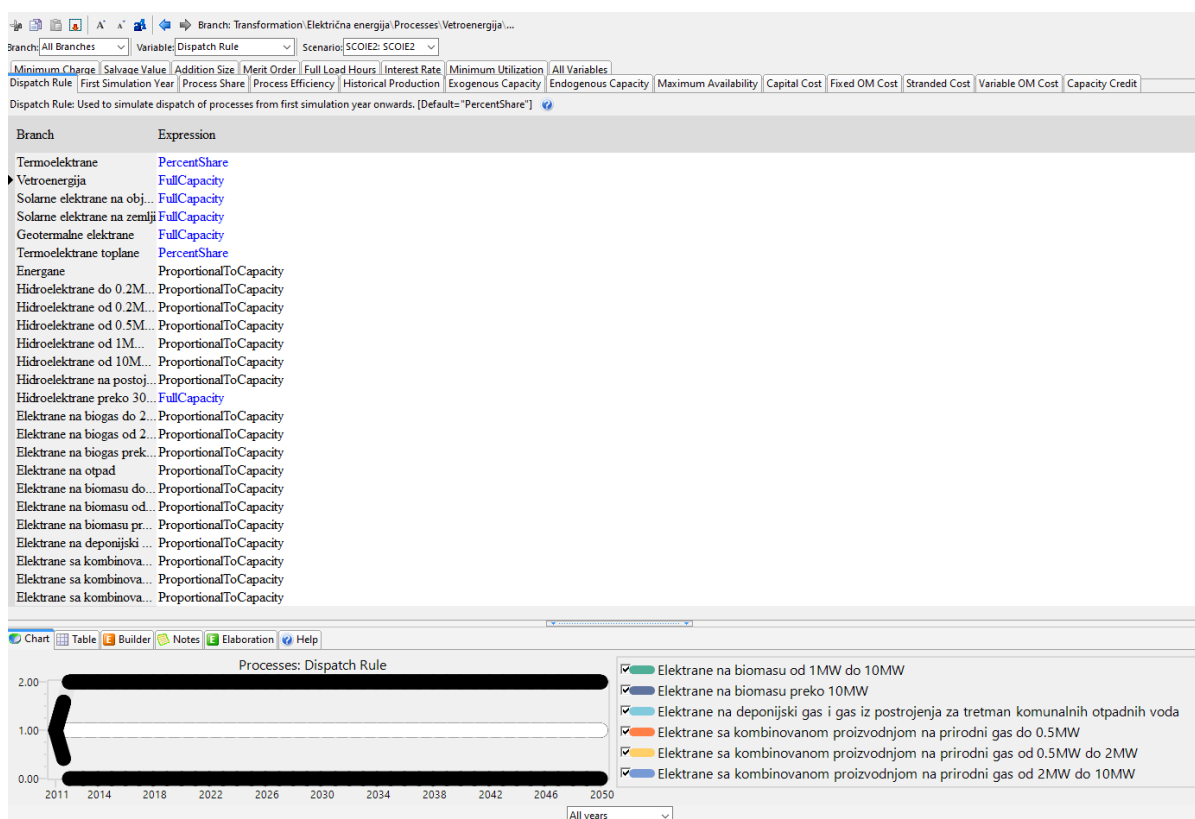
PRILOG 4.2: Testiranje opcije SCOIE2 scenarija: pun kapacitet OIE

Tabela A4.2: Projekcija neispunjenih zahteva za vetroenergijom u Republici Srbiji (1000 ten)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	215.5	313.7	-	891.9
2049	211.2	307.4	-	901.8
2048	206.9	301.1	-	911.7
2047	202.6	294.7	-	921.6
2046	198.4	288.3	-	931.5
2045	194.1	281.9	-	941.3
2044	190.5	275.0	-	954.6
2043	187.0	268.1	0.7	967.9
2042	183.5	261.2	10.1	981.2
2041	179.9	254.2	19.5	994.5
2040	176.4	247.1	28.7	1,007.7
2039	173.4	243.5	39.8	1,027.4
2038	170.5	239.8	50.7	1,047.0
2037	167.5	236.1	61.6	1,066.6
2036	164.6	232.3	72.3	1,086.2
2035	161.6	228.5	83.0	1,105.9
2034	159.1	226.0	93.2	1,125.5

2033	156.5	223.5	103.3	1,145.1
2032	154.0	220.9	113.3	1,164.7
2031	151.5	218.4	123.0	3,184.3
2030	149.0	215.8	132.5	3,203.9
2029	151.8	217.4	140.2	3,210.9
2028	154.6	219.0	148.0	3,217.8
2027	157.4	220.7	155.7	3,224.7
2026	160.2	222.3	163.4	3,231.6
2025	163.0	223.9	171.1	3,238.5

Izvor: Analiza autora



Slika A4.7: Sažet prikaz zadatih funkcija za pravilo otpremanja oblika energije - SCOIE2 scenario (opcija “pun kapacitet”)

Izvor: Analiza autora

PRILOG 5: Projekcija kretanja potencijala globalnog zagrevanja iz sektora energetike Republike Srbije do 2050. godine

Tabela A5.1: Potencijal globalnog zagrevanja iz sektora energetike Republike Srbije – dvadesetogodišnji direktni GWP (u metričkim tonama ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	87,407,608.9	69,085,788.4	55,461,891.9	41,848,134.4
2048	85,896,354.5	68,309,262.5	55,565,116.7	43,188,838.7
2046	84,386,304.0	67,535,000.2	55,678,021.6	44,204,396.3
2044	82,958,406.8	66,790,258.1	55,691,191.5	45,563,643.7
2042	81,438,552.1	65,859,100.7	55,385,364.3	46,123,465.6
2040	80,047,921.8	65,053,235.5	55,083,976.7	46,887,695.9
2038	78,529,783.3	64,091,052.0	55,085,047.7	47,809,629.9
2036	77,011,717.7	63,127,738.8	54,869,667.5	48,347,035.4
2034	75,643,866.8	62,259,729.6	54,951,780.7	48,886,378.6
2032	74,242,287.7	61,343,728.7	55,337,166.0	49,809,475.1
2030	72,820,591.5	60,389,731.4	55,219,516.0	50,201,504.3
2028	70,923,525.7	59,390,808.9	55,647,327.1	49,629,743.2
2026	68,942,998.2	58,313,866.1	55,539,615.1	50,169,642.5
2024	67,070,016.8	58,823,956.9	56,795,997.8	51,099,434.2

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.2: Potencijal globalnog zagrevanja iz sektora energetike Republike Srbije – stogodišnji direktni GWP (u metričkim tonama ekvivalentnog CO₂)

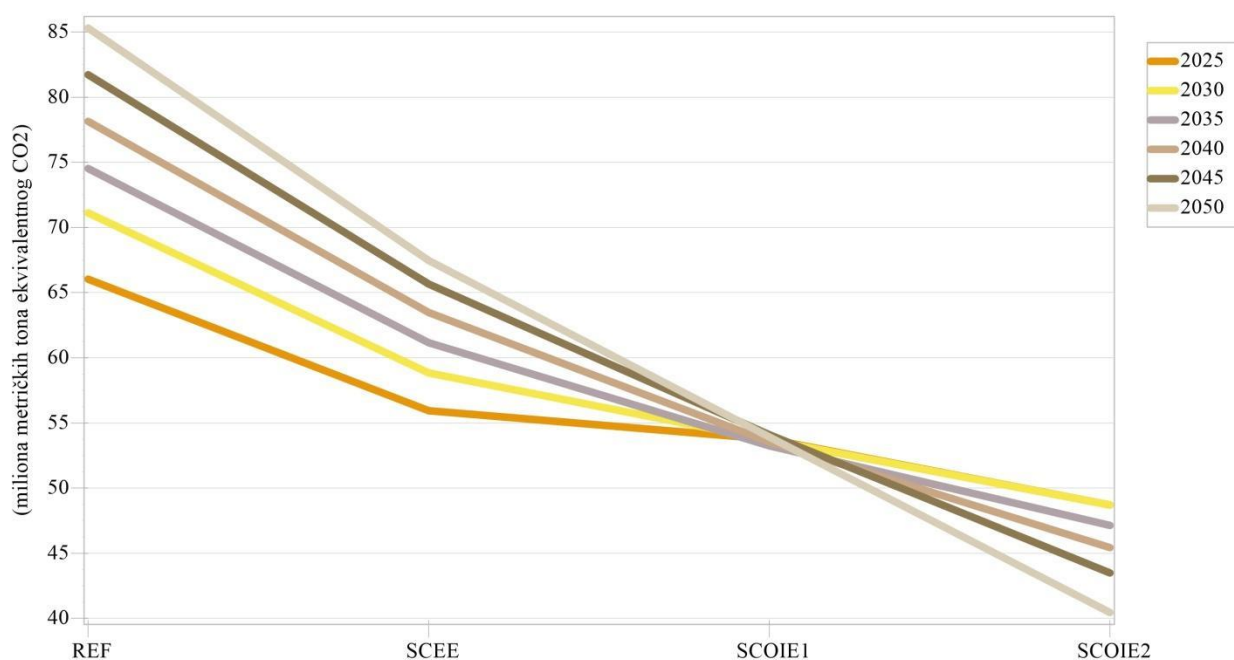
Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	86,021,954.6	68,032,268.6	54,459,707.7	40,931,574.7
2048	84,538,846.1	67,256,851.4	54,559,338.4	42,261,725.4
2046	83,056,933.6	66,483,685.6	54,668,588.2	43,268,508.9
2044	81,656,116.9	65,740,398.7	54,679,231.5	44,616,931.9
2042	80,162,384.0	64,811,179.0	54,373,237.1	45,170,302.4
2040	78,797,795.9	64,007,170.8	54,071,649.7	45,926,898.3
2038	77,304,225.5	63,047,321.6	54,072,051.9	46,841,018.9
2036	75,810,726.6	62,086,348.8	53,857,209.7	47,372,739.9
2034	74,466,855.8	61,221,002.3	53,938,253.3	47,906,565.4
2032	73,088,706.6	60,307,976.9	54,320,930.4	48,822,152.6
2030	71,690,458.1	59,356,971.2	54,203,358.2	49,209,572.9
2028	69,811,202.7	58,363,351.1	54,629,477.7	48,638,743.9
2026	67,848,496.0	57,291,715.6	54,522,661.3	49,172,855.9
2024	65,940,581.5	57,747,670.4	55,723,374.9	50,044,924.2

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.3: Potencijal globalnog zagrevanja iz sektora energetike Republike Srbije – petstogodišnji direktni GWP (u metričkim tonama ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	85,296,932.2	67,471,751.9	53,942,245.8	40,467,171.3
2048	83,829,527.3	66,699,658.9	54,041,188.9	41,791,885.7
2046	82,363,312.2	65,929,807.3	54,149,703.5	42,794,576.0
2044	80,977,434.7	65,189,699.3	54,160,741.2	44,137,937.8
2042	79,498,294.4	64,264,034.0	53,857,201.8	44,690,132.9
2040	78,147,991.4	63,463,280.1	53,558,043.9	45,444,658.7
2038	76,668,290.1	62,507,042.4	53,559,511.3	46,355,695.1
2036	75,188,659.3	61,549,685.6	53,346,646.0	46,885,939.6
2034	73,858,093.3	60,687,852.3	53,428,160.7	47,417,899.4
2032	72,493,095.3	59,778,542.3	53,809,779.3	48,329,607.0
2030	71,108,047.5	58,831,339.9	53,693,264.8	48,715,360.4
2028	69,240,248.0	57,842,621.9	54,119,020.9	48,147,053.9
2026	67,289,171.6	56,776,045.6	54,013,944.6	48,678,758.0
2024	65,368,173.5	57,207,791.0	55,188,426.1	49,524,019.4

Izvor: Analiza autora



Slika A5.1: Prikaz kretanja potencijala globalnog zagrevanja iz sektora energetike Republike Srbije – petstogodišnji direktni GWP

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.4: Sažet izveštaj – Projekcija GWP i finalne potrošnje energije za REF scenario

Oblast	Varijabla	Jedinica mere	2025	2035	2045	2050
Sektor energetike Republike Srbije	Stogodišnji GWP (<i>Global Warming Potential</i>)	metrička tona	66,581,444	75,155,847	82,403,535	86,021,955
Potrošnja energije u Republici Srbiji	Finalna potrošnja energije	GJ	518,951,342	584,456,305	641,924,568	675,225,900

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.5: Sažet izveštaj – Projekcija GWP i finalne potrošnje energije za SCEE scenario

Oblast	Varijabla	Jedinica mere	2025	2035	2045	2050
Sektor energetike Republike Srbije	Stogodišnji GWP (<i>Global Warming Potential</i>)	metrička tona	56,457,599	61,677,981.	66,205,790	68,032,269
Potrošnja energije u Republici Srbiji	Finalna potrošnja energije	GJ	474,424,214	513,599,204	541,639,768	561,082,500

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.6: Sažet izveštaj – Projekcija GWP i finalne potrošnje energije za SCOIE1 scenario

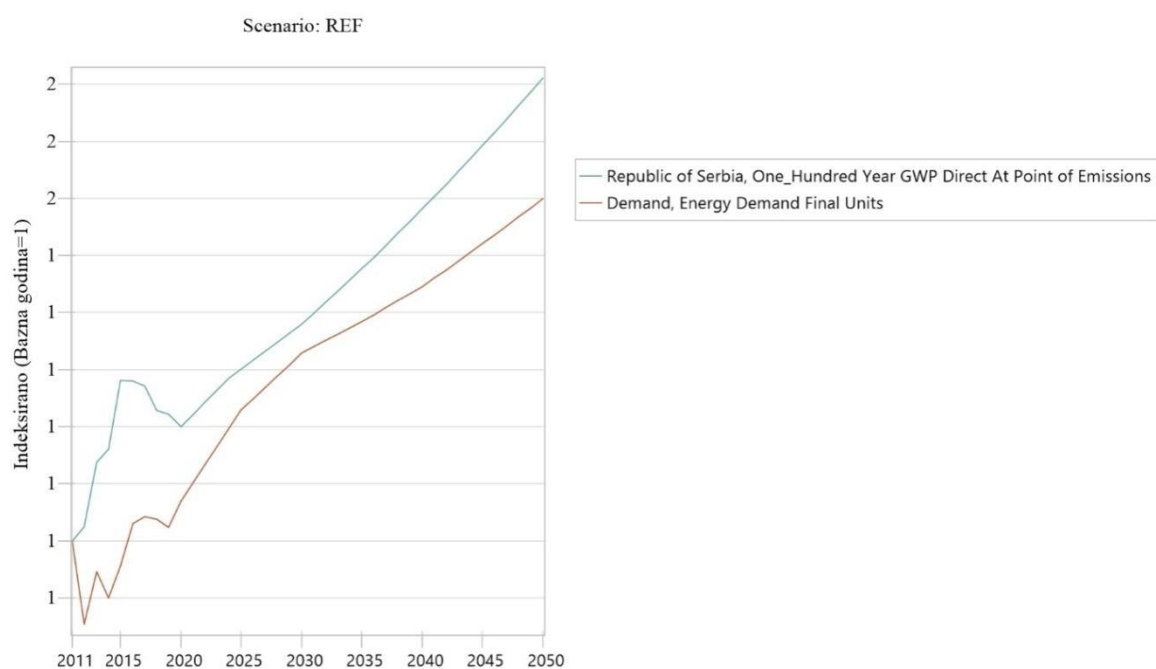
Oblast	Varijabla	Jedinica mere	2025	2035	2045	2050
Sektor energetike Republike Srbije	Stogodišnji GWP (<i>Global Warming Potential</i>)	metrička tona	54,258,156	53,749,830	54,620,265	54,459,708
Potrošnja energije u Republici Srbiji	Finalna potrošnja energije	GJ	465,644,816	503,254,710	530,989,091	547,638,762

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.7: Sažet izveštaj – Projekcija GWP i finalne potrošnje energije za SCOIE2 scenario

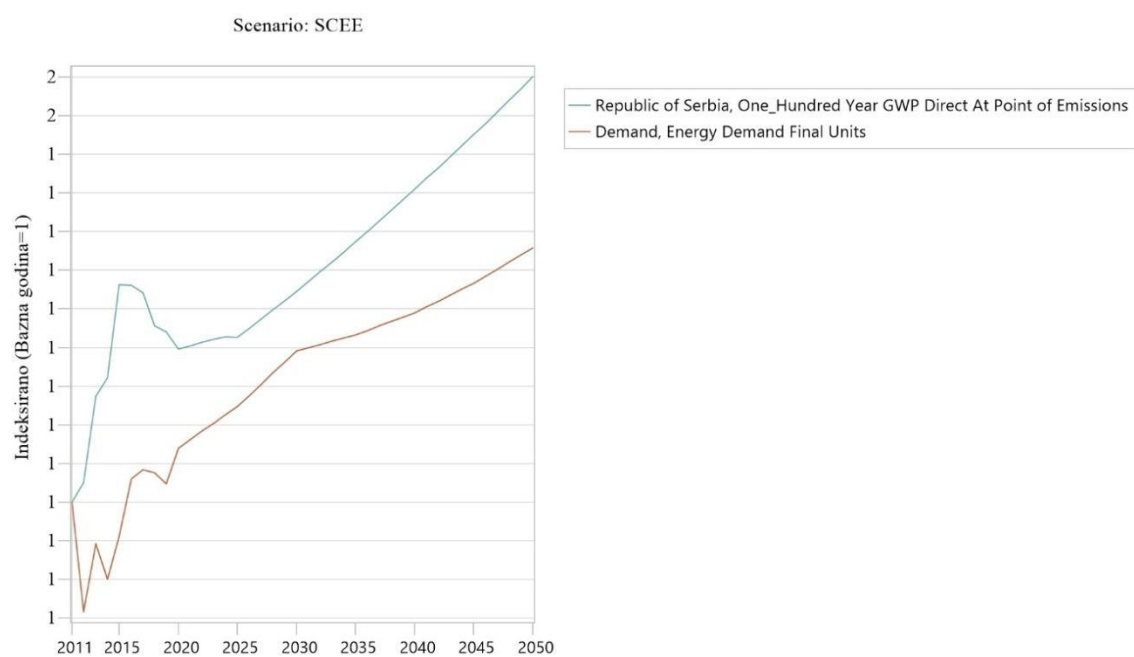
Oblast	Varijabla	Jedinica mere	2025	2035	2045	2050
Sektor energetike Republike Srbije	Stogodišnji GWP (<i>Global Warming Potential</i>)	metrička tona	49,213,400	47,641,617	43,969,414	40,931,575
Potrošnja energije u Republici Srbiji	Finalna potrošnja energije	GJ	462,096,926	485,351,890	494,369,544	503,142,342

Izvor: Analiza autora



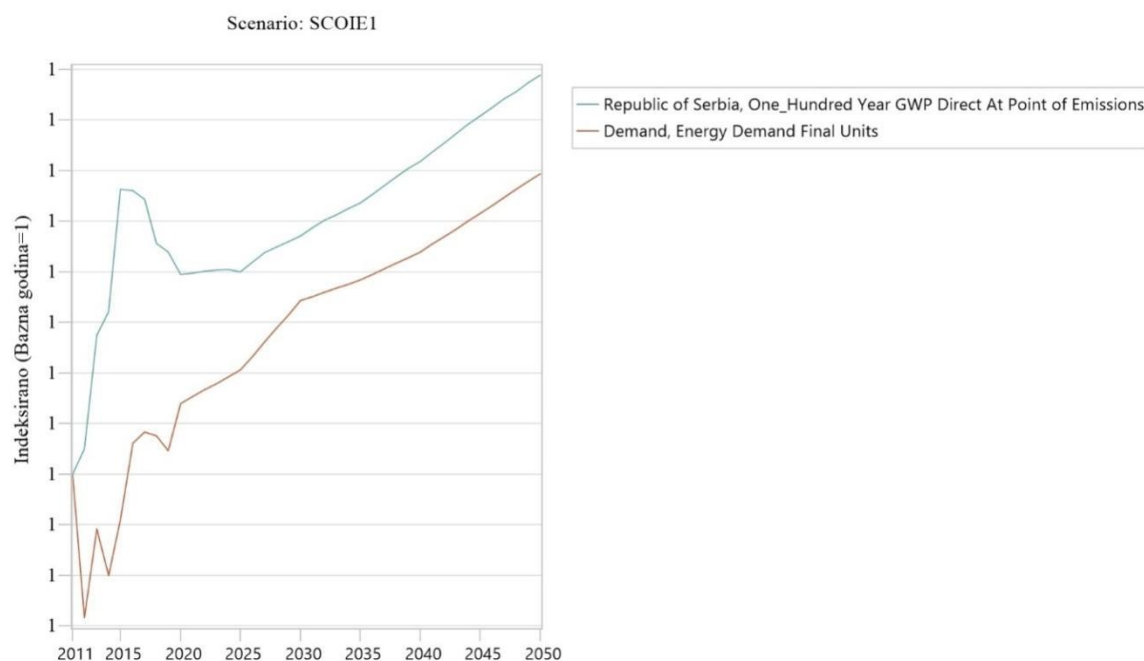
Slika A5.2: Projekcija kretanja zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Stogodišnji GWP (REF scenario)

Izvor: Analiza autora



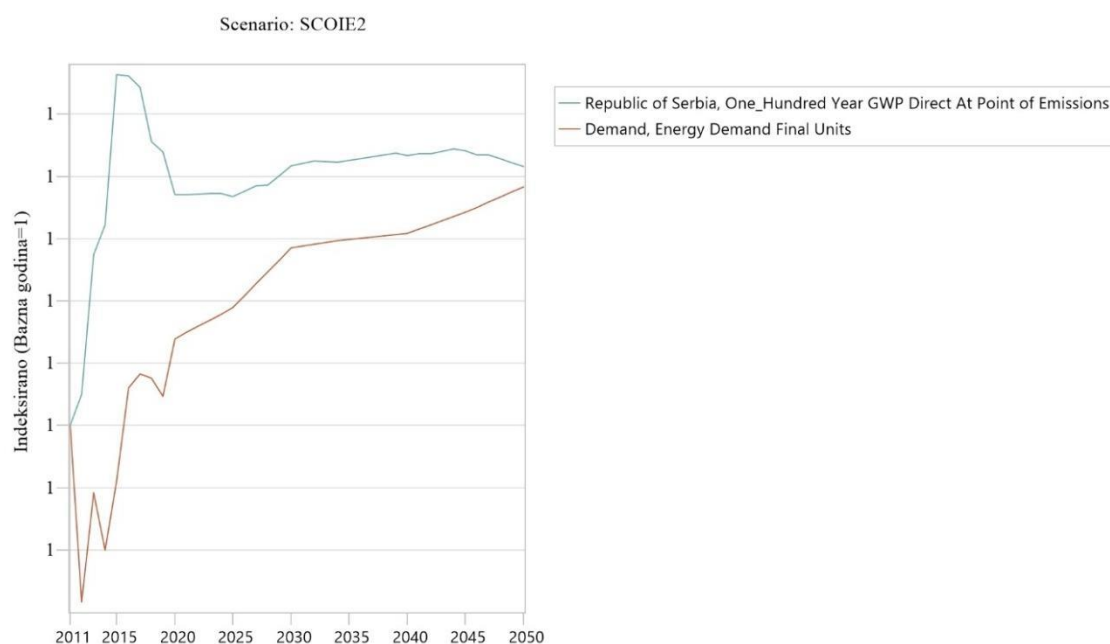
Slika A5.3: Projekcija kretanja zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Stogodišnji GWP – (SCEE scenario)

Izvor: Analiza autora



Slika A5.4: Projekcija kretanja zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije
Stogodišnji GWP – (SCOIE1 scenario)

Izvor: Analiza autora



Slika A5.5: Projekcija kretanja zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije
Stogodišnji GWP – (SCOIE2 scenario)

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.8: Projekcija zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija ugljen dioksida iz toplotne energije (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	295.7	265.9	147.8	117.9
2049	289.0	259.7	146.1	117.3
2048	282.3	253.4	144.3	116.5
2047	275.4	247.0	142.6	115.4
2046	268.5	240.7	140.8	114.1
2045	261.6	234.4	138.8	112.5
2044	255.1	228.6	136.9	113.1
2043	248.7	222.8	134.8	113.6
2042	242.2	217.0	132.8	114.0
2041	235.8	211.2	130.7	114.3
2040	229.4	205.3	128.4	114.5
2039	224.0	200.4	127.9	115.0
2038	218.5	195.6	127.3	115.4
2037	212.9	190.7	126.6	115.7
2036	207.3	185.9	125.9	115.9
2035	201.8	181.0	125.1	116.0
2034	204.7	182.4	123.9	116.7
2033	207.7	183.9	122.5	117.4
2032	210.6	185.3	121.2	118.0
2031	213.5	186.7	119.7	118.5
2030	216.3	188.1	118.1	118.9
2029	221.2	195.5	122.8	123.5
2028	225.6	201.9	127.0	127.6
2027	229.4	207.3	130.6	131.2
2026	232.6	211.7	133.8	134.2
2025	235.3	215.1	136.4	136.7

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.9: Projekcija zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija ugljen dioksida iz proizvodnje energije transformacijom (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	53,104.9	45,151.7	35,334.4	25,547.8
2049	52,610.4	44,965.0	35,506.1	26,082.9
2048	52,116.3	44,778.7	35,470.3	26,629.2
2047	51,622.5	44,593.0	35,647.1	27,186.8
2046	51,129.0	44,408.0	35,615.7	27,389.6
2045	50,722.4	44,330.8	35,586.2	27,965.8
2044	50,253.0	44,049.2	35,674.5	28,483.1
2043	49,784.0	43,768.2	35,551.8	28,631.1
2042	49,315.3	43,487.6	35,430.3	28,781.2
2041	48,847.0	43,207.6	35,309.8	29,125.2
2040	48,506.1	43,050.6	35,190.4	29,281.0

2039	47,997.2	42,736.3	35,304.4	29,801.9
2038	47,488.5	42,421.6	35,204.7	29,937.3
2037	46,979.8	42,106.7	35,104.9	30,074.7
2036	46,470.9	41,791.5	35,005.2	30,214.0
2035	46,053.6	41,548.3	34,905.5	30,355.3
2034	45,594.8	41,244.3	35,086.6	30,546.7
2033	45,136.6	40,940.6	35,269.5	30,945.8
2032	44,677.1	40,637.2	35,454.5	31,312.3
2031	44,217.0	40,334.1	35,396.7	31,455.2
2030	43,739.3	39,992.3	35,325.7	31,553.5
2029	43,248.1	39,671.2	35,723.4	31,315.1
2028	42,670.1	39,269.7	36,032.8	30,997.9
2027	42,093.3	38,869.1	36,331.3	31,478.9
2026	41,517.7	38,469.3	36,210.5	31,538.9
2025	40,657.1	37,772.2	36,089.8	31,584.4

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.10: Projekcija zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija metana (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	783.5	595.7	566.7	518.3
2049	775.6	595.4	568.0	521.2
2048	767.6	595.1	568.7	524.3
2047	759.7	594.8	570.1	527.3
2046	751.7	594.5	570.8	529.2
2045	743.8	594.2	571.5	532.3
2044	736.4	593.7	572.2	535.3
2043	729.0	593.1	572.3	537.2
2042	721.6	592.6	572.3	539.0
2041	714.2	592.0	572.4	541.4
2040	706.9	591.5	572.4	543.3
2039	700.0	590.9	573.0	546.1
2038	693.0	590.2	572.8	547.7
2037	686.1	589.5	572.7	549.3
2036	679.1	588.9	572.5	550.9
2035	672.2	588.2	572.4	552.6
2034	665.6	587.4	573.1	554.0
2033	658.9	586.5	573.9	556.2
2032	652.3	585.7	574.6	558.3
2031	645.7	584.8	574.6	559.7
2030	639.1	584.0	574.6	560.9
2029	634.0	582.5	575.1	560.6
2028	629.0	581.0	575.6	560.4
2027	623.9	579.5	576.0	562.7
2026	618.9	578.0	575.1	563.6
2025	613.8	576.4	574.1	564.6

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.11: Projekcija zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija ugljen monoksida iz finalne potrošnje energije (u 1000 metričkih tona)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	725.8	494.6	465.0	445.8
2049	718.8	493.9	466.5	447.4
2048	711.8	493.3	467.7	449.1
2047	704.8	492.6	469.2	450.8
2046	697.9	492.0	470.3	451.9
2045	690.9	491.4	471.5	453.7
2044	684.1	490.5	471.9	456.2
2043	677.2	489.7	471.9	458.2
2042	670.4	488.9	472.0	460.2
2041	663.6	488.0	472.0	462.5
2040	656.8	487.2	472.1	464.5
2039	651.1	486.5	472.6	465.5
2038	645.4	485.7	472.8	466.0
2037	639.7	484.9	473.0	466.4
2036	634.1	484.2	473.3	466.9
2035	628.4	483.4	473.5	467.4
2034	623.0	482.7	473.7	467.6
2033	617.6	482.0	473.9	468.1
2032	612.2	481.3	474.2	468.6
2031	606.8	480.6	474.0	468.8
2030	601.4	480.0	473.8	468.9
2029	595.8	479.8	474.5	468.9
2028	590.3	479.7	475.2	469.0
2027	584.7	479.5	475.8	470.3
2026	579.2	479.3	475.8	471.0
2025	573.6	479.1	475.7	471.7

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.12: Projekcija zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija azot-suboksida (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	390.2	314.4	269.0	229.2
2049	385.4	311.6	268.8	230.5
2048	380.5	308.9	267.8	232.0
2047	375.6	306.1	267.6	233.5
2046	370.7	303.3	266.6	233.5
2045	366.1	301.0	265.5	235.1
2044	361.6	298.3	264.0	235.4
2043	357.0	295.6	261.6	234.2
2042	352.5	292.9	259.2	233.0
2041	347.9	290.2	256.8	232.6
2040	343.9	288.0	254.4	231.5
2039	339.4	285.4	253.6	232.4

2038	335.0	282.8	251.9	231.8
2037	330.6	280.2	250.2	231.1
2036	326.2	277.6	248.5	230.5
2035	322.1	275.3	246.8	229.9
2034	318.0	272.8	246.8	230.1
2033	313.8	270.3	246.9	231.2
2032	309.6	267.8	246.9	232.1
2031	305.5	265.3	246.0	232.2
2030	301.3	262.7	245.0	232.0
2029	296.9	260.1	244.9	230.1
2028	292.2	257.2	244.4	227.9
2027	287.5	254.2	244.0	229.0
2026	282.8	251.3	241.8	228.3
2025	276.9	247.2	239.6	227.6

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.13: Projekcija zagađenja životne sredine od uglja lignita u Republici Srbiji –
Emisija svih GHG gasova (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	34,030.2	28,841.6	21,151.9	15,607.4
2049	33,753.1	28,714.6	21,391.2	16,143.6
2048	33,476.4	28,588.1	21,421.4	16,691.1
2047	33,200.0	28,462.2	21,665.8	17,249.9
2046	32,924.0	28,336.9	21,700.2	17,451.3
2045	32,735.3	28,320.0	21,736.6	18,029.0
2044	32,470.8	28,207.8	21,966.5	18,554.0
2043	32,206.6	28,096.1	21,983.8	18,707.0
2042	31,942.7	27,985.0	22,002.2	18,861.9
2041	31,679.1	27,874.3	22,021.6	19,212.2
2040	31,543.5	27,887.3	22,042.2	19,372.7
2039	31,231.2	27,734.8	22,248.1	19,898.7
2038	30,919.1	27,582.0	22,238.8	20,036.4
2037	30,607.2	27,428.9	22,229.6	20,175.9
2036	30,295.0	27,275.6	22,220.5	20,317.3
2035	30,075.5	27,195.4	22,211.4	20,460.7
2034	29,759.5	27,014.1	22,451.9	20,648.1
2033	29,444.1	26,833.1	22,694.2	21,044.6
2032	29,127.5	26,652.3	22,938.5	21,411.7
2031	28,810.6	26,471.8	22,941.0	21,555.2
2030	28,475.8	26,252.4	22,931.5	21,658.0
2029	28,072.2	25,931.0	23,114.1	21,419.3
2028	27,670.9	25,611.8	23,287.2	21,182.5
2027	27,271.9	25,295.0	23,450.9	21,755.5
2026	26,875.0	24,980.3	23,193.8	21,910.0
2025	26,192.7	24,368.3	22,938.2	22,055.6

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.14: Projekcija zagađenja životne sredine od sub-bitumenoznog uglja u Republici Srbiji – Emisija svih GHG gasova (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	1,688.2	1,509.4	1,289.4	996.5
2049	1,667.2	1,503.0	1,294.0	1,008.9
2048	1,646.1	1,496.6	1,298.6	1,021.5
2047	1,625.0	1,490.3	1,303.2	1,034.1
2046	1,604.0	1,484.0	1,308.0	1,046.8
2045	1,583.0	1,477.6	1,312.8	1,059.6
2044	1,563.3	1,471.4	1,312.7	1,070.5
2043	1,543.7	1,465.3	1,312.8	1,081.5
2042	1,524.1	1,459.1	1,312.8	1,092.5
2041	1,504.5	1,453.0	1,312.9	1,103.7
2040	1,484.9	1,446.8	1,313.0	1,114.9
2039	1,464.7	1,439.8	1,310.5	1,123.5
2038	1,444.6	1,432.7	1,308.0	1,132.1
2037	1,424.4	1,425.6	1,305.5	1,140.8
2036	1,404.3	1,418.5	1,302.9	1,149.6
2035	1,383.9	1,411.1	1,300.4	1,158.5
2034	1,364.5	1,402.8	1,300.7	1,167.2
2033	1,345.2	1,394.5	1,301.0	1,176.1
2032	1,325.8	1,386.2	1,301.3	1,183.7
2031	1,306.4	1,377.9	1,300.8	1,190.7
2030	1,287.0	1,369.6	1,299.8	1,196.2
2029	1,267.9	1,351.3	1,283.0	1,183.8
2028	1,248.8	1,333.0	1,266.3	1,171.4
2027	1,229.9	1,314.9	1,249.6	1,159.1
2026	1,211.0	1,296.8	1,233.0	1,146.9
2025	1,192.2	1,278.8	1,216.5	1,134.8

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.15: Projekcija zagađenja životne sredine od bitumenoznog uglja u Republici Srbiji – Emisija svih GHG gasova (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	674.0	569.2	526.6	54.5
2049	657.5	556.7	515.2	60.0
2048	641.1	544.2	503.7	65.4
2047	624.7	531.8	492.3	70.9
2046	608.2	519.3	480.9	76.4
2045	591.8	506.8	469.4	81.8
2044	577.3	495.8	459.2	90.4
2043	562.9	484.7	449.0	99.0
2042	548.5	473.6	438.8	107.5
2041	534.1	462.5	428.7	116.1
2040	519.6	451.4	418.5	124.7
2039	507.0	441.5	409.4	136.2

2038	494.3	431.7	400.3	147.8
2037	481.6	421.8	391.2	159.3
2036	468.9	411.9	382.1	170.8
2035	456.3	402.0	373.0	182.4
2034	445.1	393.3	364.9	193.0
2033	434.0	384.5	356.8	203.6
2032	422.9	375.7	348.7	214.3
2031	411.8	366.9	340.5	224.9
2030	400.6	358.1	332.4	235.5
2029	389.5	347.7	324.5	246.4
2028	378.4	337.2	316.7	257.3
2027	367.3	326.8	308.8	268.2
2026	356.2	316.4	300.9	279.0
2025	345.1	305.9	293.0	289.9

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.16: Projekcija zagađenja životne sredine od uglja (ostale vrste) u Republici Srbiji – Emisija svih GHG gasova (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	5,281.4	4,727.2	3,936.6	3,177.5
2049	5,236.6	4,701.9	3,927.3	3,190.9
2048	5,191.9	4,676.7	3,918.2	3,204.4
2047	5,147.2	4,651.5	3,909.2	3,218.0
2046	5,102.5	4,626.4	3,900.3	3,231.9
2045	5,057.9	4,601.2	3,891.5	3,245.9
2044	5,016.2	4,577.7	3,882.0	3,256.0
2043	4,974.5	4,554.2	3,872.6	3,266.3
2042	4,932.9	4,530.7	3,863.2	3,276.7
2041	4,891.2	4,507.3	3,853.9	3,287.2
2040	4,849.6	4,483.8	3,844.7	3,297.9
2039	4,808.1	4,459.5	3,834.2	3,304.1
2038	4,766.6	4,435.2	3,823.8	3,310.4
2037	4,725.0	4,410.9	3,813.4	3,316.9
2036	4,683.5	4,386.5	3,803.0	3,323.4
2035	4,641.6	4,361.7	3,792.6	3,330.1
2034	4,602.5	4,337.1	3,784.9	3,339.5
2033	4,563.5	4,312.5	3,777.3	3,349.1
2032	4,524.4	4,287.9	3,769.7	3,356.6
2031	4,485.2	4,263.3	3,760.6	3,363.0
2030	4,446.1	4,238.8	3,750.8	3,366.9
2029	4,484.4	4,277.3	3,847.7	3,467.6
2028	4,434.1	4,234.2	3,867.0	3,492.9
2027	4,384.0	4,191.3	3,886.3	3,518.3
2026	4,334.0	4,148.5	3,905.7	3,543.8
2025	4,284.1	4,105.9	3,925.3	3,569.5

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.17: Projekcija zagađenja životne sredine od sirove nafte u Republici Srbiji –
Emisija svih GHG gasova (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	15,422.6	12,804.9	11,220.1	6,415.4
2049	15,221.1	12,745.8	11,140.6	6,439.4
2048	15,019.5	12,686.7	11,061.0	6,463.4
2047	14,818.0	12,627.6	10,981.5	6,487.3
2046	14,616.4	12,568.6	10,901.9	6,511.3
2045	14,414.9	12,509.5	10,822.4	6,535.3
2044	14,226.7	12,346.2	10,675.9	6,559.2
2043	14,038.4	12,182.9	10,529.4	6,583.2
2042	13,850.2	12,019.5	10,382.9	6,607.2
2041	13,662.0	11,856.2	10,236.4	6,631.2
2040	13,473.8	11,692.9	10,089.9	6,655.2
2039	13,297.7	11,540.0	9,991.7	6,679.2
2038	13,121.7	11,387.1	9,893.5	6,703.2
2037	12,945.6	11,234.2	9,795.3	6,727.2
2036	12,769.5	11,081.3	9,697.1	6,751.2
2035	12,593.5	10,928.4	9,598.8	6,775.2
2034	12,453.9	10,807.4	9,522.0	6,799.2
2033	12,314.3	10,686.4	9,445.2	6,823.2
2032	12,174.8	10,565.3	9,368.4	6,847.2
2031	12,035.2	10,444.3	9,291.6	6,871.3
2030	11,895.6	10,323.2	9,214.8	6,895.3
2029	11,736.9	10,233.5	9,281.7	6,801.0
2028	11,578.2	10,143.7	9,347.8	6,700.4
2027	11,419.6	10,053.9	9,413.1	6,593.4
2026	11,260.9	9,964.2	9,477.6	6,480.1
2025	11,102.2	9,874.4	9,541.4	6,360.4

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.18: Projekcija zagađenja životne sredine od tečnog naftnog gasa u Republici Srbiji –
Emisija svih GHG gasova (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	13,704.8	7,621.7	5,024.2	4,599.9
2049	13,643.7	7,520.2	5,050.2	4,657.7
2048	13,582.6	7,418.6	5,076.3	4,715.6
2047	13,521.5	7,317.1	5,102.3	4,773.5
2046	13,460.4	7,215.5	5,128.3	4,831.3
2045	13,399.3	7,114.0	5,154.3	4,889.2
2044	13,312.9	7,019.8	5,191.6	4,950.6
2043	13,226.4	6,925.5	5,228.8	5,011.9
2042	13,140.0	6,831.3	5,266.1	5,073.2
2041	13,053.5	6,737.1	5,303.4	5,134.6
2040	12,967.1	6,642.9	5,340.6	5,195.9
2039	12,885.2	6,555.3	5,378.2	5,237.6

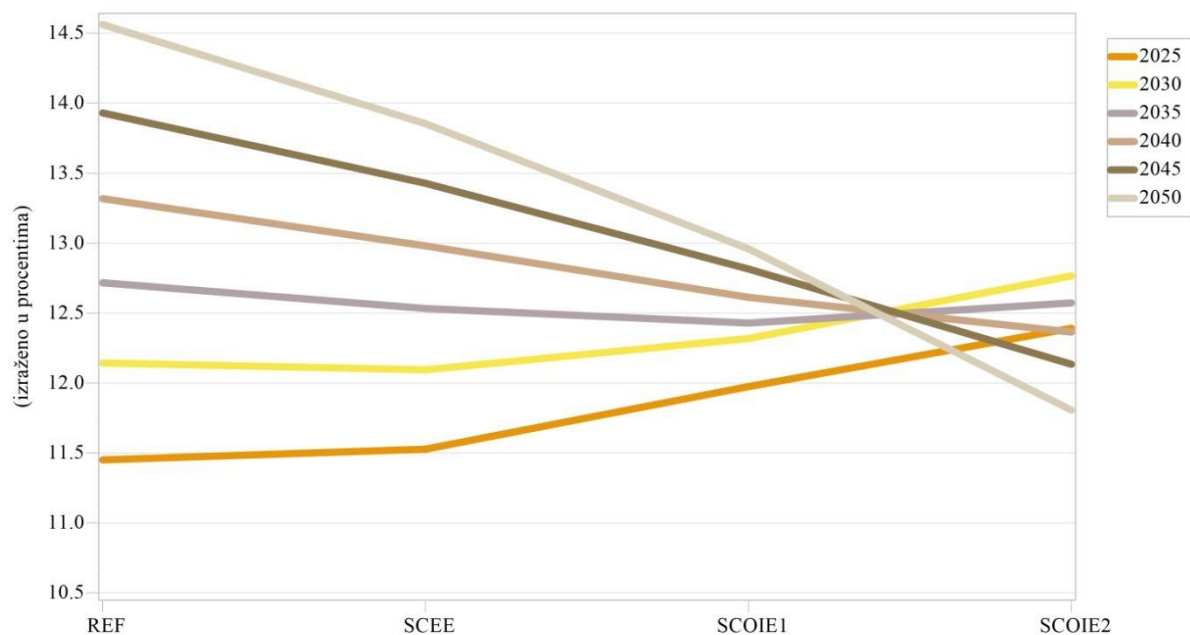
2038	12,803.3	6,467.8	5,415.7	5,279.3
2037	12,721.5	6,380.2	5,453.3	5,321.0
2036	12,639.6	6,292.6	5,490.8	5,362.6
2035	12,557.7	6,205.0	5,528.4	5,404.3
2034	12,491.7	6,123.7	5,572.9	5,446.3
2033	12,425.7	6,042.4	5,617.4	5,488.2
2032	12,359.7	5,961.1	5,661.8	5,530.2
2031	12,293.6	5,879.8	5,706.3	5,572.2
2030	12,227.6	5,798.5	5,750.8	5,614.1
2029	12,052.9	5,827.1	5,743.3	5,607.1
2028	11,878.1	5,855.7	5,735.8	5,600.1
2027	11,703.3	5,884.3	5,728.2	5,593.1
2026	11,528.6	5,912.9	5,720.7	5,586.1
2025	11,353.8	5,941.5	5,713.2	5,579.0

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.19: Projekcija zagađenja životne sredine od bezolovnog i olovnog benzina u Republici Srbiji – Emisija svih GHG gasova (u 1000 metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

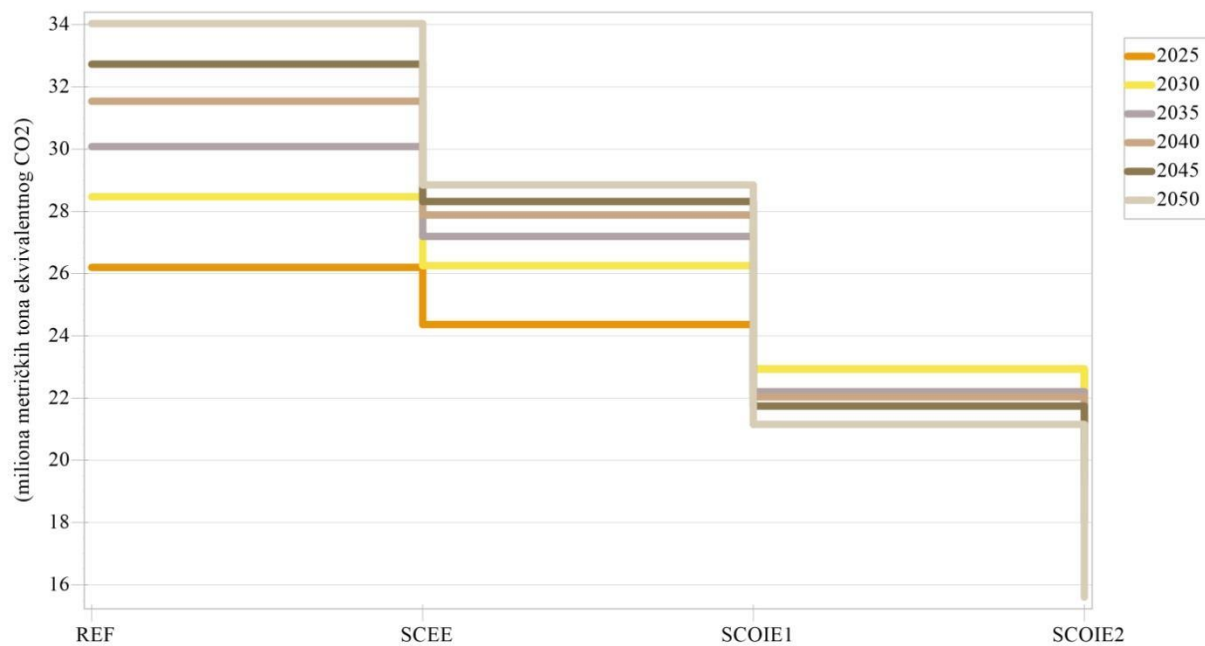
Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	1,803.6	969.5	938.8	898.6
2049	1,787.1	973.4	945.8	905.5
2048	1,770.5	977.2	952.8	912.4
2047	1,753.9	981.0	959.8	919.4
2046	1,737.3	984.9	966.8	926.3
2045	1,720.7	988.7	973.9	933.2
2044	1,704.7	992.2	978.9	945.2
2043	1,688.6	995.6	983.9	957.2
2042	1,672.6	999.0	988.9	969.2
2041	1,656.5	1,002.4	994.0	981.2
2040	1,640.5	1,005.9	999.0	993.2
2039	1,631.5	1,009.6	1,002.3	993.7
2038	1,622.6	1,013.3	1,005.5	994.1
2037	1,613.7	1,017.0	1,008.8	994.5
2036	1,604.7	1,020.7	1,012.1	995.0
2035	1,595.8	1,024.4	1,015.3	995.4
2034	1,587.1	1,028.5	1,017.5	997.6
2033	1,578.5	1,032.6	1,019.8	999.7
2032	1,569.9	1,036.8	1,022.0	1,001.8
2031	1,561.2	1,040.9	1,024.2	1,004.0
2030	1,552.6	1,045.0	1,026.4	1,006.1
2029	1,543.1	1,050.8	1,031.6	1,011.2
2028	1,533.7	1,056.5	1,036.9	1,016.3
2027	1,524.2	1,062.3	1,042.1	1,021.4
2026	1,514.7	1,068.1	1,047.3	1,026.6
2025	1,505.3	1,073.8	1,052.6	1,031.7

Izvor: Analiza autora



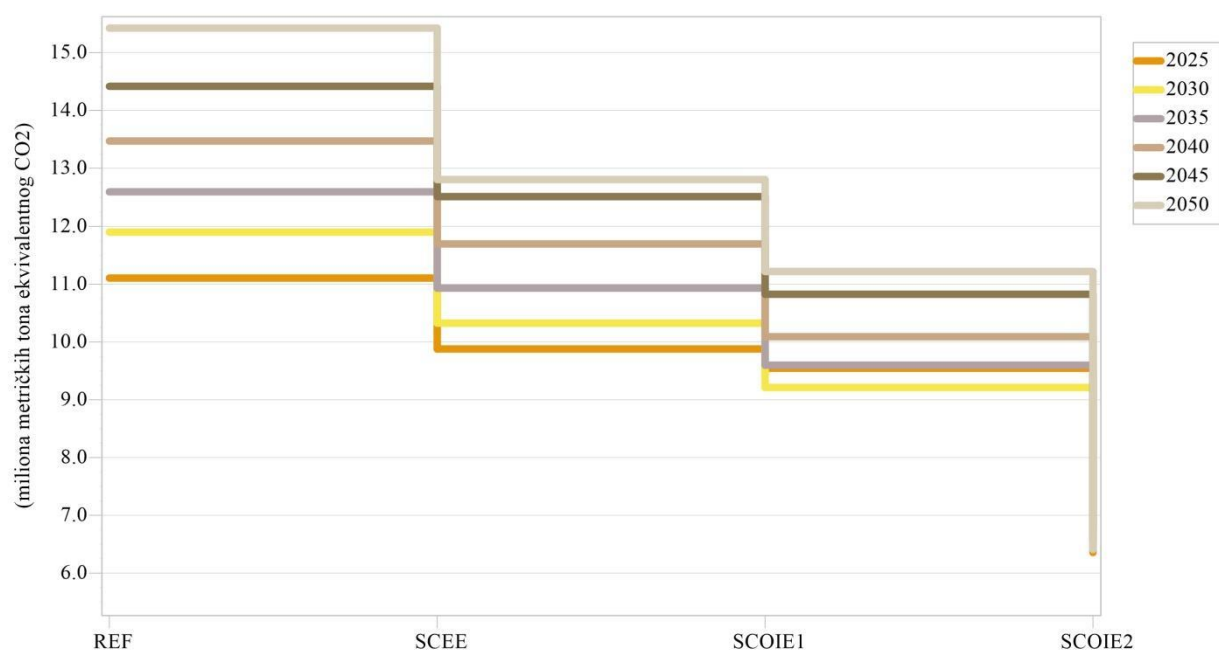
Slika A5.6: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije (rast GWP potencijala izražen u procentima)

Izvor: Analiza autora



Slika A5.7: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije Emisija svih GHG gasova od upotrebe uglja lignita (miliona metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Izvor: Analiza autora



Slika A5.8: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije
Emisija svih GHG gasova od upotrebe sirove nafte (miliona metričkih tona ekvivalentnog CO₂)

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.20: Projekcija opterećenja eko-sistema Republike Srbije zagađivačima iz izdvojenih kategorija sektora energetike – REF scenario (u 1000 metričkih tona) (eng. *Pollutant loading*)

Kategorija	Oblast/Sektor	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Transformacija energije	Nafta i derivati nafte	11,758	12,598	13,338	14,270	15,267	16,334
Transformacija energije	Električna energija	22,397	24,391	25,978	27,587	28,919	30,305
Finalna potrošnja energije	Industrija	6,068	7,048	7,610	8,158	8,820	9,549
Finalna potrošnja energije	Saobraćaj	17,422	18,391	18,858	19,377	19,979	20,344
Finalna potrošnja energije	Građevinarstvo	134	148	163	181	202	227
Finalna potrošnja energije	Domaćinstva	6,777	7,040	7,374	7,728	8,114	8,535
Finalna potrošnja energije	Poljoprivreda	527	598	659	723	792	866

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.21: Projekcija opterećenja eko-sistema Republike Srbije zagađivačima iz izdvojenih kategorija sektora energetike – SCEE scenario (u 1000 metričkih tona)

Kategorija	Oblast/Sektor	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Transformacija energije	Nafta i derivati nafte	10,458	10,933	11,574	12,384	13,249	13,561
Transformacija energije	Električna energija	20,962	22,448	23,343	24,104	24,624	25,215
Finalna potrošnja energije	Industrija	4,944	5,799	6,280	6,790	7,358	7,976
Finalna potrošnja energije	Saobraćaj	11,190	10,892	11,122	11,384	11,679	12,009
Finalna potrošnja energije	Građevinarstvo	152	161	166	178	188	204
Finalna potrošnja energije	Domaćinstva	6,643	6,704	6,717	6,724	6,731	6,731
Finalna potrošnja energije	Poljoprivreda	527	598	659	723	792	866

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.22: Projekcija opterećenja eko-sistema Republike Srbije zagađivačima iz izdvojenih kategorija sektora energetike – SCOIE1 scenario (u 1000 metričkih tona)

Kategorija	Oblast/Sektor	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Transformacija energije	Nafta i derivati nafte	10,472	10,069	10,417	10,913	11,666	12,063
Transformacija energije	Električna energija	20,108	20,030	19,255	19,044	18,682	18,024
Finalna potrošnja energije	Industrija	4,802	5,535	5,858	6,195	6,666	7,041
Finalna potrošnja energije	Saobraćaj	10,913	10,825	10,464	10,115	9,767	9,473
Finalna potrošnja energije	Građevinarstvo	150	153	152	166	174	185
Finalna potrošnja energije	Domaćinstva	6,600	6,618	6,601	6,596	6,578	6,531
Finalna potrošnja energije	Poljoprivreda	525	595	642	696	748	807

Izvor: Analiza autora

Tabela A5.23: Projekcija opterećenja eko-sistema Republike Srbije zagađivačima iz izdvojenih kategorija sektora energetike – SCOIE2 scenario (u 1000 metričkih tona)

Kategorija	Oblast/Sektor	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Transformacija energije	Nafta i derivati nafte	7,103	7,772	7,709	7,662	7,614	7,567
Transformacija energije	Električna energija	19,428	18,973	17,850	16,836	15,579	13,237
Finalna potrošnja energije	Industrija	4,652.	4,753.	4,854.	4,659.	4,623.	4,596.

Finalna potrošnja energije	Saobraćaj	10,674.	10,588.	10,234.	9,913.	9,448.	9,023.
Finalna potrošnja energije	Građevinarstvo	146	148	142	151	156	163
Finalna potrošnja energije	Domaćinstva	6,566	6,558	6,474	6,369	6,257	6,145
Finalna potrošnja energije	Poljoprivreda	523	592	625	665	703	748

Izvor: Analiza autora

PRILOG 6: Prognoza proizvodnje primarne energije u Republici Srbiji do 2050. godine

Tabela A6.1: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije u hidroelektranama u Republici Srbiji (u GWh)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	13,191.7	10,990.3	10,204.2	18,348.3
2049	13,100.0	10,960.1	10,193.4	17,780.8
2048	13,008.6	10,930.5	10,182.7	17,213.2
2047	12,917.3	10,901.3	10,172.2	16,645.7
2046	12,826.2	10,872.7	10,161.8	16,078.1
2045	12,735.4	10,844.6	10,151.5	15,510.6
2044	12,672.3	10,842.5	10,171.6	15,342.0
2043	12,609.4	10,841.0	10,192.3	15,173.4
2042	12,546.7	10,840.2	10,213.8	15,004.9
2041	12,484.1	10,840.2	10,236.0	14,836.3
2040	12,421.7	10,840.8	10,259.0	14,667.7
2039	12,397.5	10,876.0	10,342.0	14,539.2
2038	12,373.7	10,912.4	10,427.2	14,410.7
2037	12,350.3	10,950.1	10,514.7	14,282.2
2036	12,327.1	10,989.1	10,604.5	14,153.7
2035	12,300.8	11,025.4	10,696.7	14,025.3
2034	12,232.0	10,981.7	10,742.6	13,687.5
2033	12,163.5	10,938.5	10,789.9	13,349.8
2032	12,094.3	10,895.8	10,838.6	13,012.1
2031	12,024.7	10,853.6	10,872.8	12,674.3
2030	11,955.5	10,812.0	10,900.5	12,336.6
2029	11,833.8	10,743.2	10,864.2	12,290.3
2028	11,713.0	10,675.7	10,829.4	12,244.0
2027	11,592.9	10,609.6	10,796.0	12,197.7
2026	11,473.7	10,545.0	10,764.2	11,960.3
2025	11,355.4	10,481.7	10,705.4	11,591.2

Izvor: Analiza autora

Tabela A6.2: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije eksploatacijom uglja lignita u Republici Srbiji (u GWh)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	92,006.8	78,289.6	56,690.3	43,913.5
2049	91,262.6	77,973.1	57,443.0	45,424.8
2048	90,519.4	77,658.3	57,573.4	46,969.5
2047	89,777.3	77,345.1	58,341.1	48,548.4
2046	89,036.2	77,033.6	58,483.9	49,063.9
2045	88,555.8	77,045.5	58,632.2	50,699.3
2044	87,839.9	76,766.9	59,346.4	52,183.7
2043	87,124.9	76,489.6	59,427.9	52,561.2
2042	86,410.9	76,213.8	59,512.3	52,944.3
2041	85,697.8	75,939.5	59,599.9	53,908.8
2040	85,366.8	76,034.5	59,690.3	54,308.6
2039	84,502.8	75,631.5	60,333.1	55,808.4
2038	83,639.3	75,227.7	60,335.3	56,152.3
2037	82,776.3	74,823.3	60,337.7	56,501.7
2036	81,912.7	74,418.0	60,340.3	56,856.8
2035	81,325.5	74,231.0	60,343.1	57,217.8
2034	80,449.4	73,737.0	61,088.7	57,707.0
2033	79,575.0	73,243.8	61,839.9	58,819.0
2032	78,696.9	72,751.4	62,597.0	59,843.6
2031	77,817.8	72,259.7	62,634.2	60,203.6
2030	76,885.3	71,652.0	62,635.8	60,442.6
2029	75,727.7	70,761.7	63,220.6	59,768.6
2028	74,576.8	69,878.3	63,777.1	59,100.5
2027	73,432.5	69,001.5	64,305.5	60,842.5
2026	72,294.8	68,131.4	63,581.4	61,339.1
2025	70,305.0	66,373.5	62,861.8	61,809.2

Izvor: Analiza autora

Tabela A6.3: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije eksploatacijom sub-bitumenoznog uglja u Republici Srbiji (u GWh)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	4,155.2	1,475.6	2,913.4	2,076.0
2049	4,107.1	1,465.1	2,926.7	2,112.7
2048	4,059.1	1,454.6	2,940.3	2,149.8
2047	4,011.1	1,444.2	2,954.0	2,187.1
2046	3,963.1	1,433.8	2,968.0	2,224.7
2045	3,910.0	1,423.5	2,982.1	2,262.6
2044	3,867.9	1,414.2	2,983.1	2,295.1
2043	3,825.8	1,404.9	2,984.3	2,327.7
2042	3,783.7	1,395.7	2,985.5	2,360.6
2041	3,741.7	1,386.6	2,986.9	2,393.6
2040	3,692.0	1,377.5	2,988.4	2,427.0
2039	3,651.5	1,395.5	2,982.3	2,453.9

2038	3,610.9	1,413.4	2,976.2	2,481.1
2037	3,570.4	1,431.4	2,970.1	2,508.5
2036	3,529.8	1,449.3	2,964.0	2,536.1
2035	3,482.7	1,466.3	2,957.9	2,564.0
2034	3,448.3	1,481.3	2,960.8	2,592.8
2033	3,413.9	1,496.3	2,963.7	2,621.9
2032	3,379.5	1,511.3	2,966.8	2,647.4
2031	3,344.9	1,526.3	2,967.2	2,671.0
2030	3,311.6	1,541.3	2,966.3	2,690.2
2029	3,261.1	1,528.0	2,922.2	2,652.6
2028	3,210.7	1,515.0	2,878.2	2,615.2
2027	3,160.6	1,502.1	2,834.5	2,578.0
2026	3,110.7	1,489.5	2,790.8	2,541.0
2025	3,078.2	1,477.1	2,747.4	2,504.2

Izvor: Analiza autora

Tabela A6.4: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije eksploatacijom bitumenoznog uglja u Republici Srbiji (u GWh)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	1,869.3	1,971.6	1,722.9	227.3
2049	1,837.5	1,947.1	1,693.8	246.8
2048	1,805.6	1,922.6	1,664.6	266.3
2047	1,773.5	1,898.0	1,635.4	285.8
2046	1,741.3	1,873.3	1,606.2	305.2
2045	1,708.8	1,848.6	1,577.0	324.7
2044	1,682.3	1,827.9	1,551.5	353.3
2043	1,655.5	1,807.1	1,525.9	382.0
2042	1,628.6	1,786.2	1,500.4	410.6
2041	1,601.6	1,765.3	1,474.8	439.3
2040	1,574.3	1,744.4	1,449.2	467.9
2039	1,552.2	1,726.9	1,426.8	505.4
2038	1,529.9	1,709.5	1,404.5	542.8
2037	1,507.5	1,691.9	1,382.1	580.3
2036	1,484.9	1,674.3	1,359.7	617.7
2035	1,462.1	1,656.6	1,337.2	655.1
2034	1,443.8	1,642.1	1,317.7	689.9
2033	1,425.4	1,627.5	1,298.1	724.6
2032	1,406.8	1,612.8	1,278.5	759.3
2031	1,388.1	1,598.1	1,258.9	794.0
2030	1,369.3	1,583.3	1,239.3	828.7
2029	1,311.8	1,548.2	1,237.7	875.9
2028	1,254.4	1,513.1	1,236.0	923.1
2027	1,196.9	1,478.0	1,234.4	970.3
2026	1,139.5	1,442.9	1,232.7	1,017.5
2025	1,082.0	1,407.8	1,231.1	1,064.7

Izvor: Analiza autora

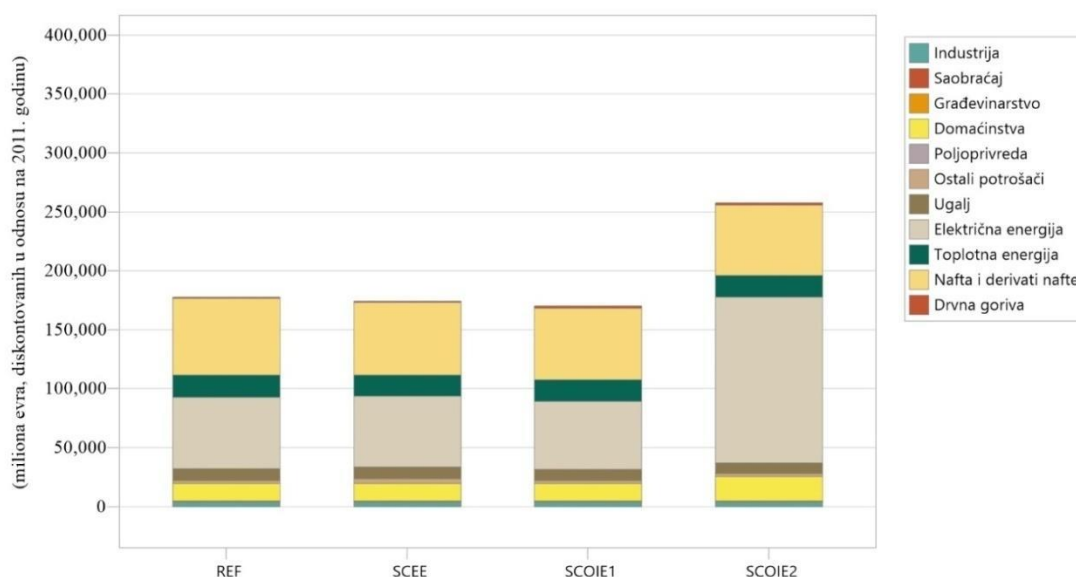
Tabela A6.5: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje energije iz biomase u Republici Srbiji

(u GWh)

Godina	REF	SCEE	SCOIE1	SCOIE2
2050	29,040.1	27,598.0	33,494.4	35,238.9
2049	29,040.1	27,598.0	33,199.6	34,856.9
2048	29,040.1	27,598.0	32,904.8	34,474.8
2047	29,040.1	27,598.0	32,609.9	34,092.8
2046	29,040.1	27,598.0	32,315.1	33,710.7
2045	29,040.1	27,598.0	32,020.3	33,328.7
2044	29,040.1	27,598.0	31,725.5	32,946.6
2043	29,040.1	27,598.0	31,430.7	32,564.6
2042	29,040.1	27,598.0	31,135.8	32,182.5
2041	29,040.1	27,598.0	30,841.0	31,800.5
2040	29,040.1	27,598.0	30,546.2	31,418.4
2039	29,040.1	27,598.0	30,251.4	31,036.4
2038	29,040.1	27,598.0	29,956.6	30,654.4
2037	29,040.1	27,598.0	29,661.7	30,272.3
2036	29,040.1	27,598.0	29,366.9	29,890.3
2035	29,040.1	27,498.5	29,072.1	29,508.2
2034	29,040.1	27,400.7	28,777.3	29,126.2
2033	29,040.1	27,303.1	28,482.5	28,744.1
2032	29,040.1	27,205.7	28,187.6	28,362.1
2031	28,994.5	27,108.5	27,892.8	27,980.0
2030	28,761.7	27,011.5	27,598.0	27,598.0
2029	27,663.2	26,094.9	27,230.5	27,230.5
2028	27,235.9	25,784.6	26,863.0	26,863.0
2027	26,814.2	25,481.7	26,411.5	26,495.5
2026	26,398.0	25,186.1	26,037.0	26,128.0
2025	25,987.2	24,897.9	25,668.3	25,760.5

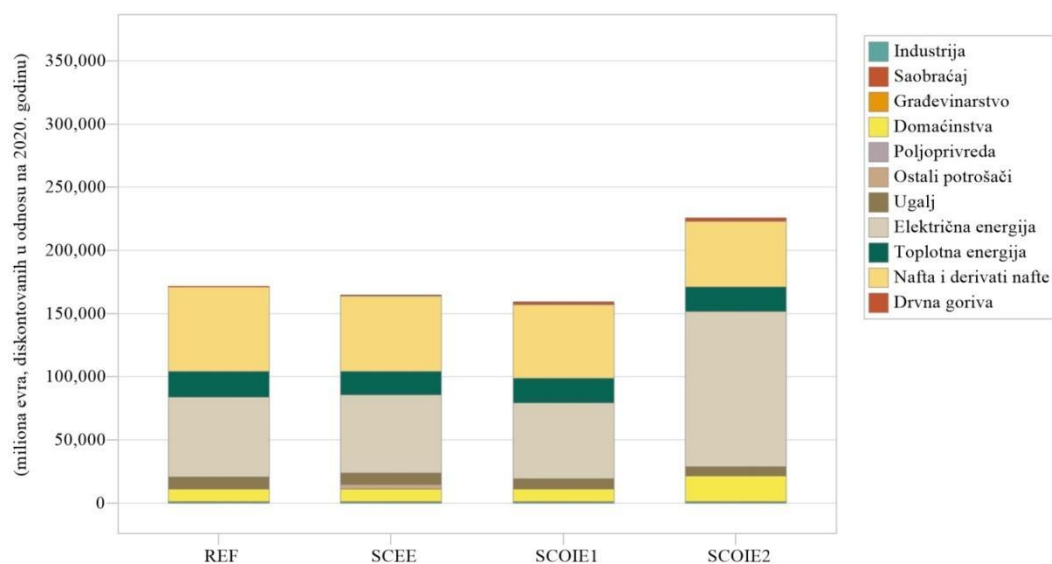
Izvor: Analiza autora

PRILOG 7: Projekcija troškova i koristi sektora energetike Republike Srbije do 2050. godine



Slika A7.1: Analiza troškova i koristi sektora potrošnje energije u Republici Srbiji za period 2011-2050. godine (kumulativno)

Izvor: Analiza autora



Slika A7.2: Analiza troškova i koristi sektora potrošnje energije u Republici Srbiji za period 2020-2050. godine (kumulativno)

Izvor: Analiza autora

PRILOG 8: Projekcija energetske bilansa Republike Srbije za period do 2050. godine

U nastavku rada sledi detaljan prikaz projekcija energetske bilansa Republike Srbije na osnovu kalkulacije i samostalno kreiranog energetske modela primenom metode scenarija za period od 2025. do 2050. godine. Radi preciznog prikaza izabran je sazet, pojednostavljen način formatiranja energetske bilansa koji odgovara formatu stranice A4 veličine, a koji je dobijen na osnovu instrukcija definisanih u okviru metodološkog vodiča Evropske komisije. Imajući u vidu da bi za projektovane godine za sva četiri alternativna scenarija bilo potrebno obimno izveštavanje od više od 120 strana, selektovani su energetski bilanci za svakih pet godina.

Što se tiče energije dobijene transformacijom, važno je istaći da energetski bilanci prikazuju rezultat za finalnu raspoloživu energiju transformacijom, to jest razliku između proizvodnje energije transformacijom i ukupnog utroška za proizvodnju energije. Ove dve kategorije nisu odvojene, jer je u pitanju pristup LEAP modela obračunu proizvodnje energije transformacijom, koji za potrebe ispitivanja nije menjan. Sledstveno tome, ukoliko rezultat ima negativnu vrednost to znači da je utrošak za proizvodnju veći od autputa transformacije i obratno, ukoliko se dobija pozitivna vrednost, proizvodnja je iznad iskorišćenog utroška, to jest inputa za transformaciju. Na primer, kod kategorije „Proizvodnja biogoriva“ naveden je rezultat od -24.310,2 TJ koji je dobijen kao razlika između inputa (biomase, iznos -39.774,6 TJ) i aputa (biogoriva, 15.464, 4 TJ). Pošto LEAP grupiše biogorivo u okviru biomase, u tom redu iskazana je negativna vrednost, tj. input transformacije veći je od dobijenog aputa. Navode se sledeće kategorije i podkategorije proizvodnje energije transformacijom (zbog formatiranja neke od podkategorija su sažeto prikazane u formi naziva kategorije u energetskom bilansu, uz osvrt ka standardu Evropske komisije):

Tabela A8.1: Podkategorije u energetskom bilansu za proizvodnju energije transformacijom

Kategorija	Podkategorije
Drvna goriva	Čumurane i retorte
	Proizvođači drvnih peleta
	Proizvođači drvnih briketa
Rafinerije i petrohemija	Rafinerije i petrohemija
	Ostali
Proizvodnja toplotne energije	Termoelektrane
	Termoelektrane toplane
	Energane
	Toplane
	Proizvodnja toplotne energije
	Elektrane na biogas (prema instalisanoj snazi)
Proizvodnja električne energije	Termoelektrane
	Termoelektrane toplane
	Energane
	Vetroelektrane
	Solarne elektrane (na objektu i na zemlji)
	Geotermalne elektrane
	Hidroelektrane (prema instalisanoj snazi)
	Elektrane na biogas (prema instalisanoj snazi)
	Elektrane na otpad
	Elektrane na biomasu (prema instalisanoj snazi)
	Elektrane na deponijski gas i gas iz postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda
	Elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na prirodni gas (prema instalisanoj snazi)

Izvor: Heaps (2022)

Tabela A8.2: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2025. godinu (Referentni scenario)

Republika Srbija 2025. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva <i>Solid Fuels</i>	Prirodni gas <i>Natural Gas</i>	Sirova nafta <i>Crude Oil</i>	Hidroenergija <i>Hydropower</i>	OIE <i>Renewables</i>	Biomasa <i>Biomass</i>	EE <i>Electricity</i>	Derivati nafte <i>Oil Products</i>	TE <i>Heat</i>	Ukupno <i>Total</i>
Primarna proizvodnja energije	282.44083917	14.48123940	23.46510022	40.87927847	5.51716640	94.96100333	-	-	-	461.74462699
Uvoz	43.36641808	100.98600000	138.42200000	-	-	0.99309091	43.10799579	78.41286640	1.22586777	406.51423895
Izvoz	-1.65183333	-	-	-	-5.82106000	-2.21766667	-38.05800000	-43.22581293	-	-90.97437293
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	324.15542391	115.46723940	161.88710022	40.87927847	-0.30389360	93.73642757	5.04999579	35.16205347	1.22586777	777.25949301
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	152.49581640	-	-	-	-	150.85849290	-	-1.63732350
Proizvodnja toplotne energije	-7.78743637	-26.66045797	-	-	-	-9.82881648	-	-7.07909496	40.93363223	-10.42217356
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.28361677	-	-	-	-	0.28361677	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	-237.86447663	-4.15750474	-	-40.87927847	-0.04224040	-9.45534821	134.14036405	-	-	158.25848440
Prenos i distribucija	-	-1.04647668	-	-	-	-	-13.86335984	-	-	-14.90983652
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	-253.77432175	-31.86443940	152.77943317	-40.87927847	-0.04224040	-38.16874703	120.27700421	144.06301471	40.93363223	212.23480907
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	23.44733333	41.11440000	-	-	-	2.98983333	37.05300000	18.21100000	14.73750000	137.55306667
Saobraćaj	-	0.50240000	-	-	9.12970000	0.79300000	0.87900000	91.25017568	-	102.55427568
Građevinarstvo	0.20900000	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.16700000	-	2.58700000
Domaćinstva	10.46700000	12.64400000	-	-	1.42350000	42.78900000	45.27300000	1.38200000	19.13400000	133.11250000
Poljoprivreda	0.00400000	4.31200000	-	-	0.36200000	1.38550000	1.96800000	2.54600000	-	10.57750000
Ostali potrošači	7.00400000	3.55900000	-	-	1.23600000	3.24400000	21.18500000	3.01400000	6.19600000	45.43800000
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.54000000	13.06200000	-	-	-	-	-	34.33600000	-	48.93800000
Finalna potrošnja energije	46.86733333	83.60280000	-	-	12.15120000	51.25333333	125.32700000	157.59017568	42.15950000	518.95134234
Neispunjeni zahtevi za energijom	-23.51376883	0.00000000	-9.10766705	-	12.49733400	-4.31434721	-	-21.63489251	-	-46.07334159

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.3: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (Referentni scenario)

Republika Srbija 2030. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva <i>Solid Fuels</i>	Prirodni gas <i>Natural Gas</i>	Sirova nafta <i>Crude Oil</i>	Hidroenergija <i>Hydropower</i>	OIE <i>Renewables</i>	Biomasa <i>Biomass</i>	EE <i>Electricity</i>	Derivati nafte <i>Oil Products</i>	TE <i>Heat</i>	Ukupno <i>Total</i>
Primarna proizvodnja energije	307.18192934	10.96296089	21.70772920	43.03972802	6.58549336	104.94300770	-	-	-	494.42084851
Uvoz	42.33025141	119.65800000	153.72000000	-	-	1.02400000	46.30749779	79.50022959	1.27247256	443.81245136
Izvoz	-1.80666667	-	-	-	-5.82106000	-2.23433333	-39.81600000	-44.26513406	-	-93.94319406
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	347.70551409	130.62096089	175.42772920	43.03972802	0.76443336	103.73267437	6.49149779	35.21009553	1.27247256	844.26510581
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	163.39405680	-	-	-	-	161.58812249	-	-1.80593431
Proizvodnja toplotne energije	-5.48155674	-29.49749736	-	-	-	-13.06860743	-	-6.98898485	45.11502744	-9.92161895
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36341691	-	-	-	-	0.36341691	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	259.43096822	-3.88017367	-	43.03972802	-0.05556736	-12.97701215	142.98469797	-	-	176.39875144
Prenos i distribucija	-	-1.41488987	-	-	-	-	-14.78319576	-	-	-16.19808563
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	273.03493371	-34.79256089	163.75747371	43.03972802	-0.05556736	-44.93020192	128.20150221	154.96255455	45.1150274	231.33138141
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	27.21566667	48.02300000	-	-	-	3.33316667	42.91500000	21.14300000	16.83000000	159.45983333
Saobraćaj	-	0.50240000	-	-	9.36000000	0.81400000	0.87900000	93.45204054	-	105.00744054
Građevinarstvo	0.25150000	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.23030000	-	2.69280000
Domaćinstva	9.83900000	14.02600000	-	-	1.50700000	44.88200000	46.80900000	1.42350000	20.34800000	138.83450000
Poljoprivreda	0.00400000	4.85700000	-	-	0.44000000	1.49250000	2.26100000	2.88100000	-	11.93550000
Ostali potrošači	4.91000000	4.73100000	-	-	1.31300000	4.34000000	22.86000000	2.34500000	7.11750000	47.61650000
Sopstvena potrošnja u energetske sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.17700000	-	57.23100000
Finalna potrošnja energije	48.19016667	95.82840000	-	-	12.62000000	54.91366667	134.69300000	168.33584054	46.38750000	560.96857387
Neispunjeni zahtevi za energijom	-26.48041372	-	-11.67025549	-	11.91113400	-3.88880578	0.00000000	-21.83680954	-	-51.96515052

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.4: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2035. godinu (Referentni scenario)

Republika Srbija 2035. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	324.46314775	-	31.29340780	44.28278603	6.60375554	105.87498510	-	-	-	512.51808221
Uvoz	44.79876864	138.64909219	153.72000000	-	-	1.11941090	48.33298413	79.61877439	1.86698693	468.10601719
Izvoz	-1.80150000	-	-	-	-5.82106000	-2.25100000	-41.19441742	-46.21539405	-	-97.28337147
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	367.46041639	138.64909219	185.01340780	44.28278603	0.78269554	104.74339600	7.13856672	33.37838034	1.86698693	883.31572793
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	-172.97973540	-	-	-	-	171.06785411	-	-1.91188129
Proizvodnja toplotne energije	-5.88176838	-31.17748109	-	-	-	-13.18436190	-	-7.49925468	47.33001307	-10.41285298
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36341691	-	-	-	-	0.36341691	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	-276.64373266	-3.58787094	-	-44.28278603	-0.06282954	-12.87339094	149.61873665	-	-	-187.83187344
Prenos i distribucija	-	-1.70069903	-	-	-	-	-17.24330337	-	-	-18.94400240
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	-290.64790979	-36.46605106	-173.34315231	-44.28278603	-0.06282954	-44.94233517	132.37543328	163.93201634	47.33001307	-246.10760119
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	30.15900000	49.72300000	-	-	-	3.72400000	44.98900000	23.46300000	17.37100000	169.42900000
Saobraćaj	-	0.50240000	-	-	9.59300000	0.83500000	0.98400000	96.18790541	-	108.10230541
Građevinarstvo	0.29150000	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.29600000	-	2.79850000
Domaćinstva	10.25400000	14.53100000	-	-	1.59000000	47.15700000	47.34900000	1.46400000	21.60500000	143.95000000
Poljoprivreda	0.00400000	5.17200000	-	-	0.54300000	1.59350000	2.60300000	3.26500000	-	13.18050000
Ostali potrošači	3.46200000	6.29200000	-	-	1.43400000	5.81300000	24.62000000	1.82400000	8.12900000	51.57400000
Sopstvena potrošnja u energetsom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.17700000	-	57.23100000
Finalna potrošnja energije	50.14050000	99.90940000	-	-	13.16000000	59.17450000	139.51400000	173.36090541	49.19700000	584.45630541
Neispunjeni zahtevi za energijom	-26.67200661	-2.27364113	-11.67025549	-0.00000000	12.44013400	-0.62656083	0.00000000	-23.94949127	-	-52.75182133

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.5: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (Referentni scenario)

Republika Srbija 2040. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	340.50667968	-	43.38488620	44.71802453	6.62620153	105.79465881	-	-	-	541.03045076
Uvoz	47.86093606	160.65428776	153.72000000	-	-	1.22473719	49.36585117	80.69207250	2.59850911	496.11639379
Izvoz	-1.79633333	-	-	-	-5.82106000	-2.26766667	-42.62055521	-51.37053510	-	103.87615031
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	386.57128241	160.65428776	197.10488620	44.71802453	0.80514153	104.75172933	6.74529595	29.29653741	2.59850911	933.24569423
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	185.07121380	-	-	-	-	183.02568986	-	-2.04552394
Proizvodnja toplotne energije	-6.29328788	-33.57043508	-	-	-	-14.48138217	-	-8.02394205	51.12349089	-11.24555629
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36341691	-	-	-	-	0.36341691	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	293.67007312	-3.99575772	-	44.71802453	-0.07127553	-13.99706703	156.96792411	-	-	199.48427384
Prenos i distribucija	-	-1.97610121	-	-	-	-	-18.86522006	-	-	-20.84132127
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	308.08576975	-39.54229401	185.43463071	44.71802453	-0.07127553	-47.36303154	138.10270405	175.36516472	51.12349089	260.62366642
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	33.43533333	50.45300000	-	-	-	4.17033333	47.64200000	25.89700000	19.49500000	181.09266667
Saobraćaj	-	0.50240000	-	-	9.83400000	0.85500000	1.10200000	98.58277027	-	110.87617027
Građevinarstvo	0.33900000	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.36540000	-	2.91540000
Domaćinstva	10.62700000	15.05400000	-	-	1.67100000	49.63300000	47.66700000	1.50450000	22.90500000	149.06150000
Poljoprivreda	0.00400000	5.50800000	-	-	0.68000000	1.68400000	3.00200000	3.70400000	-	14.58200000
Ostali potrošači	2.46100000	7.23500000	-	-	1.60900000	7.79800000	26.46600000	1.41900000	9.23000000	56.21800000
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.17700000	-	57.23100000
Finalna potrošnja energije	52.83633333	102.44140000	-	-	13.79400000	64.19233333	144.84800000	178.33367027	53.72200000	610.16773694
Neispunjeni zahtevi za energijom	-25.64917932	-18.67059375	-11.67025549	-	13.06013400	6.80363554	0.00000000	-26.32803185	-	-62.45429088

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.6: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2045. godinu (Referentni scenario)

Republika Srbija 2045. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	353.55520321	-	56.31163120	45.84743355	6.65905825	105.70302084	-	-	-	568.07634704
Uvoz	51.40464294	186.15195937	153.72000000	-	-	1.34137516	51.10463784	83.61139440	3.99508601	531.32909574
Izvoz	-1.80166667	-	-	-	-5.82106000	-2.28433333	-44.09606545	-56.57488394	-	110.57800939
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	403.15817948	186.15195937	210.03163120	45.84743355	0.83799825	104.76006267	7.00857239	27.01151046	3.99508601	988.80243338
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	197.99795880	-	-	-	-	195.80956031	-	-2.18839849
Proizvodnja toplotne energije	-6.76076843	-36.29981038	-	-	-	-15.97427199	-	-8.61997975	55.45791399	-12.19691658
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36341691	-	-	-	-	0.36341691	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	307.67185647	-4.47797584	-	45.84743355	-0.08813225	-15.19715445	164.14355374	-	-	209.13899882
Prenos i distribucija	-	-2.29075168	-	-	-	-	-20.61812613	-	-	-22.90887780
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	322.55503365	-43.06853790	198.36137571	45.84743355	-0.08813225	-50.05600878	143.52542761	187.55299746	55.45791399	273.44018277
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	37.08266667	52.23800000	-	-	-	4.68066667	50.44900000	28.59800000	22.69400000	195.74233333
Saobraćaj	-	0.50240000	-	-	10.08000000	0.87600000	1.23400000	101.98613514	-	114.67853514
Građevinarstvo	0.39650000	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.43920000	-	3.04670000
Domaćinstva	11.04900000	15.59600000	-	-	1.75000000	52.32800000	48.01500000	1.54400000	24.24700000	154.52900000
Poljoprivreda	0.00400000	5.86600000	-	-	0.86300000	1.75750000	3.46900000	4.20950000	-	16.16900000
Ostali potrošači	1.76900000	8.32000000	-	-	1.85700000	10.46900000	28.39800000	1.10400000	10.42000000	62.33700000
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.17700000	-	57.23100000
Finalna potrošnja energije	56.27116667	106.21140000	-	-	14.55000000	70.16316667	150.53400000	184.74183514	59.45300000	641.92456847
Neispunjeni zahtevi za energijom	-24.33197917	-36.87202147	-11.67025549	-0.00000000	13.80013400	15.45911278	-	-29.82267279	-	-73.43768214

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.7: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (Referentni scenario)

Republika Srbija 2050. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	367.71058437	-	70.15319200	47.49028811	6.69380770	105.59847823	-	-	-	597.64635040
Uvoz	55.47742212	215.69640289	153.72000000	-	-	1.47091777	52.41569291	87.70090478	5.32713359	571.80847407
Izvoz	-1.80700000	-	-	-	-5.82106000	-2.30100000	-45.62265739	-63.52783940	-	-119.07955679
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	421.38100649	215.69640289	223.87319200	47.49028811	0.87274770	104.76839600	6.79303552	24.14806539	5.32713359	1,050.35026768
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	211.83951960	-	-	-	-	209.49813544	-	-2.34138416
Proizvodnja toplotne energije	-7.21829774	-39.01358025	-	-	-	-17.51060183	-	-9.20332962	59.79686641	-13.14894303
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36341691	-	-	-	-	0.36341691	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	322.22475886	-5.00847839	-	47.49028811	-0.10188170	-16.48885733	172.12609979	-	-	-219.18816460
Prenos i distribucija	-	-2.62751574	-	-	-	-	-22.49013531	-	-	-25.11765104
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	337.56546535	-46.64957437	212.20293651	47.49028811	-0.10188170	-52.88404149	149.63596448	200.65822272	59.79686641	-286.80313392
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	41.10700000	53.97800000	-	-	-	5.26600000	53.42200000	31.76100000	25.70900000	211.24300000
Saobraćaj	-	0.50240000	-	-	10.33200000	0.89800000	1.38200000	103.95950000	-	117.07390000
Građevinarstvo	0.46500000	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.51550000	-	3.19150000
Domaćinstva	11.54400000	16.15700000	-	-	1.82700000	55.26400000	48.22500000	1.58250000	25.62900000	160.22850000
Poljoprivreda	0.00400000	6.24700000	-	-	1.10700000	1.81000000	4.01700000	4.78700000	-	17.97200000
Ostali potrošači	1.29100000	9.56800000	-	-	2.20100000	14.06700000	30.41400000	0.86000000	11.69400000	70.09500000
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.17700000	-	57.23100000
Finalna potrošnja energije	60.38100000	110.14140000	-	-	15.46700000	77.35700000	156.42900000	190.32650000	65.12400000	675.22590000
Neispunjeni zahtevi za energijom	-23.43454114	-58.90542851	-11.67025549	-0.00000000	14.69613400	25.47264549	-	-34.47978811	-	-88.32123376

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.8: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2025. godinu (SCEE scenario)

Republika Srbija 2025. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	255.69641969	15.35294296	83.64366982	37.73424125	5.43179622	91.05041554	-	-	-	488.90948549
Uvoz	50.72969363	90.81200000	61.37900000	-	-	1.55085832	49.35797557	97.93401535	1.24507113	353.00861400
Izvoz	-3.02382400	-	-9.10954531	-	-5.82106000	-2.19266667	-48.69200000	-50.17360760	-	-119.01270357
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	303.40228932	106.16494296	135.91312452	37.73424125	-0.38926378	90.40860719	0.66597557	47.73540775	1.24507113	722.88039591
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	-135.63138600	-	-	-	-	134.16085624	-	-1.47052976
Proizvodnja toplotne energije	-7.01782104	-24.07390107	-	-	-	-8.91641348	-	-6.37948347	36.72592887	-9.66169019
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.28173851	-	-	-	-	0.28173851	-	0.00000000
Proizvodnja električne energije	-222.73373257	-3.71195114	-	37.73424125	-3.93406929	-8.75435904	128.51216748	-	-	-148.35618582
Prenos i distribucija	-	-0.87809075	-	-	-	-	-12.86614305	-	-	-13.74423380
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	-237.87396236	-28.66394296	-135.91312452	37.73424125	-3.93406929	36.55535486	115.64602443	128.06311128	36.72592887	-200.23963065
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	20.63471429	35.08500000	-	-	-	2.65116667	32.65700000	16.17000000	14.31800000	121.51588095
Saobraćaj	-	0.04200000	-	-	7.78000000	0.67700000	0.75400000	77.60000000	-	86.85300000
Građevinarstvo	0.25350000	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.35433333	-	2.81883333
Domaćinstva	9.17200000	13.74400000	-	-	1.46500000	41.57700000	45.30100000	1.55100000	16.66300000	129.47300000
Poljoprivreda	0.00400000	4.31200000	-	-	0.36200000	1.38550000	1.96800000	2.54600000	-	10.57750000
Ostali potrošači	5.58000000	2.84700000	-	-	1.12000000	2.56400000	16.66300000	2.42700000	4.89800000	36.09900000
Sopstvena potrošnja u energetsom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.54000000	13.06200000	-	-	-	-	-	34.29400000	-	48.89600000
Finalna potrošnja energije	41.38021429	77.50100000	-	-	10.72700000	48.90666667	116.31200000	141.62633333	37.97100000	474.42421429
Neispunjeni zahtevi za energijom	-24.14811267	-	0.00000000	-0.00000000	15.05033307	-4.94658567	0.00000000	-34.17218570	-	-48.21655097

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.9: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (SCEE scenario)

Republika Srbija 2030. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	272.91926436	11.23389415	92.45112140	38.92320278	6.50082317	98.66226241	-	-	-	520.69056825
Uvoz	50.21226334	108.39600000	61.37900000	-	-	1.65922417	53.58152570	101.13677797	1.19901417	377.56380535
Izvoz	-0.25000000	-	-11.67266222	-	-5.82106000	-2.18433333	-53.00500000	-50.83449284	-	-123.76754840
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	322.88152770	119.62989415	142.15745917	38.92320278	0.67976317	98.13715324	0.57652570	50.27728513	1.19901417	774.46182521
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	-141.79644900	-	-	-	-	140.28892886	-	-1.50752014
Proizvodnja toplotne energije	-4.85318933	-26.06264250	-	-	-	12.36878566	-	-6.18781640	40.08098583	-9.39144806
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36101017	-	-	-	-	0.36101017	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	-239.11244025	-3.00759598	-	38.92320278	-4.69683923	11.72986625	134.54277294	-	-	-162.92717154
Prenos i distribucija	-	-1.13765567	-	-	-	-	-13.36329864	-	-	-14.50095431
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	-252.08803833	-30.20789415	-142.15745917	38.92320278	-4.69683923	42.98323425	121.17947430	134.46212263	40.08098583	-215.33408514
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	24.14757143	41.49100000	-	-	-	2.98933333	38.30900000	18.90300000	16.53800000	142.37790476
Saobraćaj	-	0.41900000	-	-	7.54900000	0.65600000	0.71200000	75.38200000	-	84.71800000
Građevinarstvo	0.30450000	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.34016667	-	2.85566667
Domaćinstva	9.13000000	15.15600000	-	-	1.50700000	41.45100000	43.33400000	1.55100000	16.95600000	129.08500000
Poljoprivreda	0.00400000	4.85700000	-	-	0.44000000	1.49250000	2.26100000	2.88100000	-	11.93550000
Ostali potrošači	4.03100000	3.81000000	-	-	1.19700000	3.53400000	18.17100000	1.88400000	5.69400000	38.32100000
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	43.58707143	89.42200000	-	-	10.69300000	50.17483333	121.75600000	147.84416667	41.28000000	504.75707143
Neispunjeni zahtevi za energijom	-27.20641795	-	0.00000000	0.00000000	14.71007607	-4.97908567	-0.00000000	-36.89524109	-	-54.37066864

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.10: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2035. godinu (SCEE scenario)

Republika Srbija 2035. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	282.44337549	0.28290432	100.76401280	39.69157227	6.54756488	100.3530043	-	-	-	530.08243413
Uvoz	52.08959001	123.23953760	61.37900000	-	-	1.81814777	55.70574742	101.69192893	1.50417875	397.42813049
Izvoz	-0.18750000	-	-11.67266222	-	5.82106000	-2.17600000	-55.65365233	-56.92804531	-	132.43891986
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	334.34546550	123.52244193	150.47035057	39.69157227	0.72650488	99.99515215	0.05209509	44.73888362	1.50417875	795.04664476
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	150.10934040	-	-	-	-	148.51344110	-	-1.59589930
Proizvodnja toplotne energije	-5.10446867	-27.14951607	-	-	-	12.46464424	-	-6.50819755	41.53282125	-9.69400528
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36101017	-	-	-	-	0.36101017	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	248.77096297	-2.90771488	-	39.69157227	5.19340963	11.81633990	139.02655659	-	-	169.35344306
Prenos i distribucija	-	-1.30121098	-	-	-	-	-15.29865169	-	-	-16.59986267
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	261.99784039	-31.35844193	150.47035057	39.69157227	5.19340963	43.16556648	123.7279049	142.3662537	41.5328212	224.25020139
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	26.40442857	42.75600000	-	-	-	3.37350000	40.22400000	20.16000000	17.11000000	150.02792857
Saobraćaj	-	0.41900000	-	-	7.32300000	0.63700000	0.76200000	73.60800000	-	82.74900000
Građevinarstvo	0.30237500	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.32840000	-	2.84177500
Domaćinstva	9.13000000	15.74700000	-	-	1.59000000	41.28500000	41.40700000	1.55100000	17.25400000	127.96400000
Poljoprivreda	0.00400000	5.17200000	-	-	0.54300000	1.59350000	2.60300000	3.26500000	-	13.18050000
Ostali potrošači	2.93100000	4.38100000	-	-	1.31900000	4.88300000	19.81500000	1.46200000	6.58100000	41.37200000
Sopstvena potrošnja u energetskeg sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	44.74180357	92.16400000	-	-	10.77500000	51.82400000	123.78000000	147.27740000	43.03700000	513.59920357
Neispunjeni zahtevi za energijom	-27.60582154	-	0.00000000	0.00000000	15.2419047	-5.00558567	-	-39.82773734	-	-57.19723979

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.11: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (SCEE scenario)

Republika Srbija 2040. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	289.10346501	-	111.26450720	39.02699090	6.57550350	100.6405212	-	-	-	546.61098788
Uvoz	54.53416022	140.1157204	61.37900000	-	-	1.97014377	58.43465744	102.2798409	1.94364540	420.65716821
Izvoz	-0.12500000	-	-11.67266222	-	5.82106000	-2.16766667	58.43465744	-65.06033199	-	143.28137832
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	343.51262523	140.1157204	160.97084497	39.02699090	0.75444350	100.4429983	0.00000000	37.19450900	1.94364540	823.96177778
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	160.60983480	-	-	-	-	158.90229866	-	-1.70753614
Proizvodnja toplotne energije	-5.37492147	28.81751339	-	-	-	13.60110917	-	-6.85302488	44.27835460	-10.36821432
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36101017	-	-	-	-	0.36101017	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	256.79838646	-3.14934096	-	39.02699090	5.82079875	12.56344227	142.4373542	-	-	174.92160513
Prenos i distribucija	-	-1.47609378	-	-	-	-	16.24735420	-	-	-17.72344798
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	270.29571668	33.44294813	160.97084497	39.02699090	5.82079875	45.04913377	126.1900000	152.4102839	44.2783546	231.72779464
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	28.88928571	44.06000000	-	-	-	3.81166667	42.23500000	21.11500000	19.0100000	159.12095238
Saobraćaj	-	0.41900000	-	-	7.10300000	0.61700000	0.81500000	71.91300000	-	80.86700000
Građevinarstvo	0.34225000	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.32033333	-	2.87358333
Domaćinstva	9.08800000	16.36100000	-	-	1.67100000	41.07800000	39.55800000	1.55100000	17.5580000	126.86500000
Poljoprivreda	0.00400000	5.50800000	-	-	0.68000000	1.68400000	3.00200000	3.70400000	-	14.58200000
Ostali potrošači	2.14800000	5.08200000	-	-	1.50100000	6.75800000	21.61100000	1.13500000	7.56200000	45.79700000
Sopstvena potrošnja u energetske sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	46.44153571	95.11900000	-	-	10.9550000	54.00066667	126.1900000	146.6413333	46.2220000	525.56953571
Neispunjeni zahtevi za energijom	-26.77537283	11.55377227	0.00000000	-	16.0213552	-1.39319794	-0.00000000	-42.96345962	-	-66.66444742

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.12: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2045. godinu (SCEE scenario)

Republika Srbija 2045. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	293.39955456	-	122.48094440	39.04062508	6.61310935	100.5606127	-	-	-	562.09484618
Uvoz	56.83528277	159.30289487	61.37900000	-	-	2.13217270	61.35462898	103.53808173	3.10919522	447.65125626
Izvoz	-0.06250000	-	-11.67266222	-	-5.82106000	-2.15933333	-61.35462898	-73.49951611	-	154.56970065
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	350.17233733	159.3028948	172.18728217	39.04062508	0.79204935	100.5334521	-	30.01356562	3.10919522	855.15140178
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	171.82627200	-	-	-	-	169.99948742	-	-1.82678458
Proizvodnja toplotne energije	-5.70622476	-30.85077213	-	-	-	14.97247108	-	-7.27543656	47.61780478	-11.18709974
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36101017	-	-	-	-	0.36101017	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	262.20609113	-3.43969226	-	39.04062508	-7.00851021	13.36005276	146.29309041	-	-	178.76188103
Prenos i distribucija	-	-1.66382665	-	-	-	-	-17.28209041	-	-	-18.94591706
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	276.03472463	-35.95429103	172.18728217	39.04062508	-7.00851021	47.21710617	129.0110000	163.0850610	47.6178047	237.72867349
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	31.62714286	45.40300000	-	-	-	4.31183333	44.34700000	22.62500000	22.12900000	170.44297619
Saobraćaj	-	0.41900000	-	-	6.89000000	0.59900000	0.87200000	70.29700000	-	79.07700000
Građevinarstvo	0.34012500	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.31666667	-	2.86779167
Domaćinstva	9.08800000	16.99900000	-	-	1.75000000	40.83100000	37.78300000	1.55100000	17.86700000	125.86900000
Poljoprivreda	0.00400000	5.86600000	-	-	0.86300000	1.75750000	3.46900000	4.20950000	-	16.16900000
Ostali potrošači	1.59100000	5.94600000	-	-	1.75800000	9.36500000	23.57100000	0.88000000	8.63900000	51.75000000
Sopstvena potrošnja u energetskeg sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	48.62026786	98.32200000	-	-	11.2610000	56.91633333	129.0110000	146.7821666	50.7270000	541.63976786
Neispunjeni zahtevi za energijom	-25.51734484	-25.02660384	0.00000000	0.00000000	17.47746087	3.59998735	-	-46.31645998	-	-75.78296044

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.13: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (SCEE scenario)

Republika Srbija 2050. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	298.65147914	-	126.53795360	39.56493454	6.65794124	100.47029183	-	-	-	571.88260035
Uvoz	59.47070795	181.11752373	61.37900000	-	-	2.29819932	64.42051109	107.31433104	4.32095829	480.32123142
Izvoz	-	-	-11.67266222	-	-5.82106000	-2.15100000	-64.42051109	-76.86456146	-	-160.92979477
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	358.12218709	181.11752373	176.24429137	39.56493454	0.83688124	100.61749115	-	30.42476959	4.32095829	891.24903700
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rafinerije i petrohemija	-	-	-175.88328120	-	-	-	-	174.01336421	-	-1.86991699
Proizvodnja toplotne energije	-6.03284622	-32.89950991	-	-	-	-16.41615324	-	-7.69187892	51.01504171	-12.02534658
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36101017	-	-	-	-	0.36101017	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	-268.34654415	-3.75985317	-	-39.56493454	-7.90587423	-14.22672514	150.68808385	-	-	-183.11584739
Prenos i distribucija	-	-1.87821385	-	-	-	-	-18.41408385	-	-	-20.29229770
Visoke peći i prerada uglja	-8.12240875	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.12240875
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-18.88458233	-	-	-	-18.88458233
Energija raspoloživa transformacijom	-282.50179912	-38.53757693	-176.24429137	-39.56493454	-7.90587423	-49.52746071	132.27400000	166.68249546	51.01504171	-244.31039973
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	34.60800000	46.78800000	-	-	-	4.88200000	46.56400000	24.20600000	25.25200000	182.30000000
Saobraćaj	-	0.41900000	-	-	6.68200000	0.58100000	0.93300000	68.76100000	-	77.37600000
Građevinarstvo	0.38000000	-	-	-	-	0.05200000	1.15900000	1.31550000	-	2.90650000
Domaćinstva	9.04600000	17.66200000	-	-	1.82700000	40.54500000	36.08000000	1.55100000	18.18100000	124.89200000
Poljoprivreda	0.00400000	6.24700000	-	-	1.10700000	1.81000000	4.01700000	4.78700000	-	17.97200000
Ostali potrošači	1.19500000	7.66200000	-	-	2.12300000	12.98800000	25.71100000	0.68200000	9.81100000	60.17200000
Sopstvena potrošnja u energetsom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	51.20300000	102.46700000	-	-	11.73900000	60.85800000	132.27400000	147.20550000	55.33600000	561.08250000
Neispunjeni zahtevi za energijom	-24.41738798	-40.11294680	0.00000000	-	18.80799299	9.76796956	0.00000000	-49.90176504	-	-85.85613727

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.14: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2025. godinu (SCOIE1 scenario)

Republika Srbija 2025. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafta Oil Products	TE Heat	Bio-alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	256.51949067	12.85148395	79.06959082	38.53949400	9.46247343	94.08158167	-	-	-	-	490.52411455
Uvoz	32.75181207	90.81200000	61.37900000	-	-	2.53563194	49.47001099	92.49662218	-	0.11349041	329.55856760
Izvoz	-19.57861202	-	-9.10954531	-	-5.89126292	-3.88229761	-48.69200000	-45.26582549	-	-	132.41954335
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	269.69269071	103.66348395	131.33904552	38.53949400	3.57121052	92.73491600	0.77801099	47.20579669	-	0.11349041	687.63813879
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.12002425	-	-	-	-	-0.12002425
Rafinerije i petrohemija	-	-	131.05730700	-	-	-	-	129.64264322	-	-	-1.41466378
Proizvodnja toplotne energije	-7.37708137	-24.60109919	-	-	-	-7.61842977	-	-6.53944239	37.44000000	-	-8.69605272
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.28173851	-	-	-	-	0.28173851	-	-	0.00000000
Proizvodnja električne energije	214.22740098	-3.38318676	-	-38.64232163	-4.13625412	-8.70837974	127.09904365	-0.12033743	-	0.11349041	142.23232742
Prenos i distribucija	-	-0.18919799	-	-	-	-	-12.73655464	-	-	-	-12.92575264
Visoke peći i prerada uglja	-7.73002185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-7.73002185
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	20.12469156	-	-	-	-	-20.12469156
Energija raspoloživa transformacijom	229.33450420	-28.17348395	131.33904552	-38.64232163	-4.13625412	36.57152533	114.36248901	123.26460192	37.44000000	0.11349041	193.24353423
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	19.83911625	33.85700000	-	-	1.14333333	2.64783333	32.63400000	12.50300000	14.11900000	-	116.74328291
Saobraćaj	-	0.41600000	-	-	7.05500000	0.61400000	0.75400000	76.49501150	-	-	85.33401150
Građevinarstvo	0.24350000	-	-	-	-	0.05200000	1.13250000	1.33433333	-	-	2.76233333
Domaćinstva	8.87300000	12.64400000	-	-	1.80350000	41.98361290	44.51300000	1.55100000	16.42900000	-	127.79711290
Poljoprivreda	0.00350000	4.31200000	-	-	0.41000000	1.41400000	1.96800000	2.41124324	-	-	10.51874324
Ostali potrošači	5.37800000	2.79000000	-	-	1.26533223	2.53100000	16.32900000	2.30900000	4.80000000	-	35.40233223
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	-	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.54000000	13.06200000	-	-	-	-	-	34.29400000	-	-	48.89600000
Finalna potrošnja energije	40.07311625	75.49000000	-	-	11.6771655	49.24244624	115.14050000	136.58158808	37.44000000	-	465.64481613
Neispunjeni zahtevi za energijom	-0.28507026	-	-	0.10282763	12.24220917	-6.92094444	-	-33.88881053	-	-	-28.74978844

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.15: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (SCOIE1 scenario)

Republika Srbija 2030. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafta Oil Products	TE Heat	Bio-alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	253.18502760	8.57027489	77.22582320	39.24188778	14.6557969	100.85477987	-	-	-	-	493.73359030
Uvoz	33.97134267	108.39600000	61.37900000	-	-	3.09259390	53.49416245	102.56410952	-	0.17085080	363.06805934
Izvoz	-19.53171064	-	-11.67266222	-	-5.95041167	-3.90078929	-53.00500000	-45.01984839	-	-	139.08042221
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	267.62465963	116.96627489	126.93216097	39.24188778	8.70538530	100.04658448	0.48916245	57.51926113	-	0.17085080	717.69622744
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00684812	-	-	-	-	-0.00684812
Rafinerije i petrohemija	-	-	126.57115080	-	-	-	-	125.09448737	-	-	-1.47666343
Proizvodnja toplotne energije	-5.60319689	-27.38623700	-	-	-	-10.08975729	-	-5.81823390	40.63600000	-	-8.26142508
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36101017	-	-	-	-	0.36101017	-	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	213.85141513	-2.60159177	-	-39.24188778	-5.55895797	-26.08345669	133.16415017	-0.09707432	-	0.17085080	154.44108429
Prenos i distribucija	-	-0.21744612	-	-	-	-	-13.21831262	-	-	-	-13.43575873
Visoke peći i prerada uglja	-6.74905461	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.74905461
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-20.50346298	-	-	-	-	-20.50346298
Energija raspoloživa transformacijom	226.20366663	-30.20527489	126.93216097	-39.24188778	-5.55895797	-56.68352508	119.94583755	119.54018933	40.63600000	0.17085080	204.87429724
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	22.46549300	40.03800000	-	-	2.28666667	2.89273615	38.15900000	14.07500000	16.23600000	-	136.15289581
Saobraćaj	-	0.41800000	-	-	7.12500000	0.61900000	0.70100000	74.50302301	-	-	83.36602301
Građevinarstvo	0.27950000	-	-	-	-	0.05200000	1.10600000	1.29816667	-	-	2.73566667
Domaćinstva	8.80000000	14.02600000	-	-	1.83700000	41.88629032	42.59100000	1.26100000	16.71800000	-	127.11929032
Poljoprivreda	0.00300000	4.85700000	-	-	0.47900000	1.54000000	2.26100000	2.68959459	-	-	11.82959459
Ostali potrošači	3.90300000	3.73300000	-	-	1.56541954	3.50100000	17.80700000	1.80600000	5.59000000	-	37.90541954
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	-	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	41.42099300	86.76100000	-	-	13.2930862	50.49102647	120.43500000	141.53578427	40.63600000	-	494.57288995
Neispunjeni zahtevi za energijom	-	-0.00000000	-0.00000000	0.00000000	10.1466588	7.12796707	-	-35.52366619	-	-	-18.24904024

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.16: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2035. godinu (SCOIE1 scenario)

Republika Srbija 2035. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafta Oil Products	TE Heat	Bio- alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	244.88577465	4.78994220	84.30337792	38.50810381	19.9021288	106.1199143	-	-	-	-	498.50924177
Uvoz	33.89977951	114.94408610	61.37900000	-	-	3.56124605	56.12369740	101.83646458	-	0.21474953	371.95902317
Izvoz	-19.52782380	-	-13.42078334	-	-6.01015428	-3.92658992	-56.12369740	-48.58282834	-	-	147.59187708
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	259.25773036	119.7340283	132.26159457	38.50810381	13.8919746	105.7545704	-0.00000000	53.22863624	-	0.21474953	722.85138786
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00596664	-	-	-	-	-0.00596664
Rafinerije i petrohemija	-	-	131.84651880	-	-	-	-	130.32662143	-	-	-1.51989737
Proizvodnja toplotne energije	-5.51227804	-27.67166544	-	-	-	11.70377224	-	-5.64759737	42.55800000	-	-7.97731309
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.41507577	-	-	-	-	0.41507577	-	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	205.54540418	-2.49807143	-	-38.50810381	-6.61151454	33.54280522	135.28783350	-0.08659255	-	0.21474953	151.71940776
Prenos i distribucija	-	-0.19704144	-	-	-	-	-13.08233350	-	-	-	-13.27937494
Visoke peći i prerađa uglja	-6.52005340	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.52005340
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	20.85751554	-	-	-	-	-20.85751554
Energija raspoloživa transformacijom	217.57773562	-30.36677831	132.26159457	-38.50810381	-6.61151454	66.11005964	122.2055000	125.00750729	42.5580000	0.21474953	201.87952874
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	23.92286975	41.23900000	-	-	3.13300000	3.16304191	39.79200000	15.37100000	17.00500000	-	143.62591166
Saobraćaj	-	0.41300000	-	-	7.42000000	0.64500000	0.73200000	72.47103452	-	-	81.68103452
Građevinarstvo	0.27412500	-	-	-	-	0.05800000	1.07950000	1.26240000	-	-	2.67402500
Domaćinstva	8.80000000	14.37600000	-	-	1.87750000	41.68796774	40.77100000	1.16100000	17.01200000	-	125.68546774
Poljoprivreda	0.00300000	4.98300000	-	-	0.54500000	1.66100000	2.60300000	2.99494595	-	-	12.78994595
Ostali potrošači	2.71000000	4.66725000	-	-	1.88007548	4.84000000	19.41800000	1.37000000	6.44900000	-	41.33432548
Sopstvena potrošnja u energetske sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	-	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	41.67999475	89.36725000	-	-	14.8555754	52.05500966	122.2055000	140.53338047	42.5580000	-	503.25471036
Neispunjeni zahtevi za energijom	-0.00000000	-	0.00000000	-	7.57511542	12.41049887	-	-37.70276305	-	-	-17.71714877

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.17: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (SCOIE1 scenario)

Republika Srbija 2040. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafta Oil Products	TE Heat	Bio-alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	242.87797192	1.59521860	91.04831272	36.93253352	24.8138175	111.3788398	-	-	-	-	508.64669419
Uvoz	34.31478364	121.8877350	61.37900000	-	-	4.01107417	59.42589208	102.95631310	-	0.25301701	384.22781506
Izvoz	-19.52395121	-	-13.42078334	-	-6.07049671	-3.95376989	-59.42589208	-54.72082953	-	-	157.11572276
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	257.66880435	123.4829536	139.00652937	36.93253352	18.7433208	111.4361441	-0.00000000	48.21048357	-	0.25301701	735.73378650
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00509326	-	-	-	-	-0.00509326
Rafinerije i petrohemija	-	-	138.59145360	-	-	-	-	137.01305093	-	-	-1.57840267
Proizvodnja toplotne energije	-5.58710694	-28.75131560	-	-	-	13.59695179	-	-5.64285477	45.7300000	-	-7.84822910
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.41507577	-	-	-	-	0.41507577	-	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	203.22364872	-2.53496439	-	-36.93253352	-7.51223368	36.72044310	137.19491993	-0.07732794	-	0.25301701	150.05924842
Prenos i distribucija	-	-0.17517368	-	-	-	-	-12.96491993	-	-	-	-13.14009361
Visoke peći i prerađa uglja	-6.29105219	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.29105219
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	21.18684923	-	-	-	-	-21.18684923
Energija raspoloživa transformacijom	215.10180785	-31.46145367	139.00652937	-36.93253352	-7.51223368	71.50933738	124.23000000	131.70794400	45.73000000	0.25301701	200.10896848
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	25.49724650	42.47600000	-	-	3.97933333	3.46139459	41.49500000	16.69300000	18.90100000	-	152.50297442
Saobraćaj	-	0.40800000	-	-	7.57000000	0.65800000	0.76400000	70.50104604	-	-	79.90104604
Građevinarstvo	0.30775000	-	-	-	-	0.06200000	1.05300000	1.23733333	-	-	2.66008333
Domaćinstva	8.85100000	14.73500000	-	-	2.01900000	41.47864516	38.92800000	1.12100000	17.31200000	-	124.44464516
Poljoprivreda	0.00300000	5.11200000	-	-	0.72000000	1.76900000	3.00200000	3.41229730	-	-	14.01829730
Ostali potrošači	1.93800000	5.60150000	-	-	2.05528985	6.68500000	21.17800000	1.05200000	7.42500000	-	45.93478985
Sopstvena potrošnja u energetske sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	-	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	42.56699650	92.02150000	-	-	16.3436231	54.11403975	124.23000000	139.91967667	45.73000000	-	514.92583611
Neispunjeni zahtevi za energijom	-0.00000000	-0.00000000	-	-	5.11253601	14.18723298	0.00000000	-39.99875090	-	-	-20.69898191

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.18: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2045. godinu (SCOIE1 scenario)

Republika Srbija 2045. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafta Oil Products	TE Heat	Bio-alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	239.24065311	-	101.10919312	36.54549809	28.6191766	116.6307930	-	-	-	-	522.14531408
Uvoz	34.95638353	129.2508424	61.37900000	-	-	4.45748243	62.92238062	104.80287773	0.27567238	0.28851019	398.33314929
Izvoz	-19.52209260	-	-13.42078334	-	-6.13144498	-3.95770613	-62.92238062	-63.26192879	-	-	169.21633646
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	254.67494404	129.2508424	149.06740977	36.54549809	22.4877316	117.1305693	0.00000000	41.51594894	0.27567238	0.28851019	751.23712691
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00422668	-	-	-	-	-0.00422668
Rafinerije i petrohemija	-	-	148.65233400	-	-	-	-	146.97999524	-	-	-1.67233876
Proizvodnja toplotne energije	-5.72840997	29.73502585	-	-	-	16.49521479	-	-5.69529823	49.87532762	-	-7.77862122
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.41507577	-	-	-	-	0.41507577	-	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	199.27648485	-2.59168559	-	-36.54549809	-8.40090908	39.63330917	139.58962212	-0.06956464	-	0.28851019	147.21633949
Prenos i distribucija	-	-0.17081381	-	-	-	-	-12.88412212	-	-	-	-13.05493594
Visoke peći i prerađa uglja	-6.06205097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.06205097
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	21.49146405	-	-	-	-	-21.49146405
Energija raspoloživa transformacijom	211.06694579	32.49752525	149.06740977	-36.54549809	-8.40090908	77.62421470	126.70550000	141.63020815	49.8753276	0.28851019	197.27997710
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	27.20162325	43.75000000	-	-	4.79466667	3.79071331	43.27100000	19.55000000	21.96000000	-	164.31800323
Saobraćaj	-	0.40300000	-	-	7.74200000	0.67300000	0.79700000	68.40605757	-	-	78.02105757
Građevinarstvo	0.30237500	-	-	-	-	0.06600000	1.02650000	1.21366667	-	-	2.60854167
Domaćinstva	8.85100000	15.10300000	-	-	2.14950000	41.22932258	37.23300000	1.05100000	17.61600000	-	123.23282258
Poljoprivreda	0.00300000	5.24500000	-	-	0.88500000	1.86000000	3.46900000	3.82964865	-	-	15.29164865
Ostali potrošači	1.28000000	6.53575000	-	-	2.61826691	9.26200000	23.09900000	0.77500000	8.48300000	-	52.05301691
Sopstvena potrošnja u energetske sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	-	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	43.60799825	94.72575000	-	-	18.1894335	56.88103589	126.70550000	140.72837288	50.15100000	-	530.98909060
Neispunjeni zahtevi za energijom	-0.00000000	-2.02756717	-	-	4.10261096	17.37468120	-	-42.41778420	-	-	-22.96805921

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.19: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (SCOIE1 scenario)

Republika Srbija 2050. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Bio-alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	232.11841315	-	106.57296712	36.73514095	31.5217416	121.8749172	-	-	-	-	528.82318007
Uvoz	36.23337615	137.0587471	61.37900000	-	-	4.82480885	66.62459484	106.99177566	0.76449727	0.31664671	414.19344666
Izvoz	-19.52024768	-	-13.42078334	-	-6.19300518	-3.97755395	66.62459484	-68.92132188	-	-	178.65750687
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	248.83154161	137.0587471	154.53118377	36.73514095	25.3287364	122.7221721	0.00000000	38.04545379	0.76449727	0.31664671	764.33411986
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00336576	-	-	-	-	-0.00336576
Rafinerije i petrohemija	-	-	154.11610800	-	-	-	-	152.40370680	-	-	-1.71240120
Proizvodnja toplotne energije	-5.76173770	30.20675722	-	-	-	19.46558672	-	-5.63098833	53.54150273	-	-7.52356723
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.41507577	-	-	-	-	0.41507577	-	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	192.07675415	-2.77643089	-	-36.73514095	-9.08874999	44.77168383	142.1057259	-0.06184506	-	0.31664671	143.72152567
Prenos i distribucija	-	-0.16599820	-	-	-	-	12.80372590	-	-	-	-12.96972410
Visoke peći i prerada uglja	-5.83304976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.83304976
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	21.77136000	-	-	-	-	-21.77136000
Energija raspoloživa transformacijom	203.67154161	33.14918630	154.53118377	-36.73514095	-9.08874999	86.01199631	129.30200000	147.12594918	53.5415027	0.31664671	193.53499373
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	29.16900000	45.06200000	-	-	5.61000000	4.15422106	45.12300000	20.82600000	24.6620000	-	174.60622106
Saobraćaj	-	0.39800000	-	-	8.16400000	0.71000000	0.83200000	66.34906910	-	-	76.45306910
Građevinarstvo	0.33700000	-	-	-	-	0.07200000	1.00000000	1.18700000	-	-	2.59600000
Domaćinstva	8.63300000	15.48000000	-	-	2.42100000	40.94000000	35.32300000	0.95400000	17.9260000	-	121.67700000
Poljoprivreda	0.00300000	5.38100000	-	-	1.24400000	1.93300000	4.01700000	4.37000000	-	-	16.94800000
Ostali potrošači	1.04800000	7.47000000	-	-	3.10647180	12.83100000	25.19700000	0.61600000	9.62600000	-	59.89447180
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.81000000	5.68400000	2.09200000	-	38.19100000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	45.16000000	97.48000000	-	-	20.5454718	60.64022106	129.30200000	140.20506910	54.30600000	-	547.63876196
Neispunjeni zahtevi za energijom	0.00000000	-6.42956088	-	-	4.30548536	23.93004522	-0.00000000	-44.96633387	-0.00000000	-	-23.16036417

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.20: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2025. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2025. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	249.10600822	10.66435466	35.37632811	41.72844000	17.31981069	94.45765181	-	-	-	448.65259349
Uvoz	37.34212498	90.81200000	-	-	-	2.03144094	48.69200000	116.1457187	-	295.02328465
Izvoz	-27.13181652	-	-9.10954531	-0.02333333	-5.92891695	-3.74557102	-233.03346920	-29.38713401	-	-308.35978634
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	259.31631668	101.47635466	26.26678280	41.70510667	11.39089374	92.74352173	-184.34146920	86.73358472	-	435.29109180
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.09312767	-	-	-	-0.09312767
Rafinerije i petrohemija	-	-	-87.36404429	-	-	-	-	86.41850816	-	-0.94553612
Proizvodnja toplotne energije	-7.21954146	-24.49961577	-	-	-	-8.32006046	-	-6.43250136	37.6250000	-8.84671905
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.28173851	-	-	-	-	0.28173851	-	0.00000000
Proizvodnja električne energije	-207.20509243	-2.15067373	-	-43.55528040	-186.73532724	-5.99778972	308.29619303	-	-	-137.34797050
Prenos i distribucija	-	-0.18706516	-	-	-	-	-12.34589049	-	-	-12.53295566
Visoke peći i prerada uglja	-6.67057723	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.67057723
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-21.66669000	-	-	-	-21.66669000
Energija raspoloživa transformacijom	-221.09521113	-26.83735466	-87.64578280	-43.55528040	-186.73532724	-36.07766786	295.95030253	80.26774532	37.6250000	-188.10357623
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	19.08632632	33.18000000	-	-	2.46666667	2.81000000	32.04600000	11.98000000	14.7440000	116.31299298
Saobraćaj	-	0.41200000	-	-	9.10000000	0.68200000	0.75400000	74.69804280	-	85.64604280
Građevinarstvo	0.23950000	-	-	-	-	0.05600000	1.11200000	1.31510000	-	2.72260000
Domaćinstva	7.71750000	12.64400000	-	-	2.85100000	42.82361290	42.57100000	1.38438138	16.1330000	126.12449428
Poljoprivreda	0.00350000	4.22600000	-	-	0.47249602	1.48950000	1.91900000	2.36724324	-	10.47773926
Ostali potrošači	5.19700000	2.70600000	-	-	1.37055680	2.51600000	16.00200000	1.98400000	4.65600000	34.43155680
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.20483333	5.58366667	2.09200000	37.48550000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.54000000	13.06200000	-	-	-	-	-	34.29400000	-	48.89600000
Finalna potrošnja energije	37.97982632	74.63900000	-	-	16.26071948	50.37711290	111.60883333	133.6064341	37.6250000	462.09692612
Neispunjeni zahtevi za energijom	-0.24127924	-	61.37900000	1.85017373	191.60515299	-6.28874097	-	-33.39489596	0.00000000	214.90941056

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.21: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2030. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	240.46834433	-	45.36610799	44.41174667	28.24798449	101.00537330	-	-	-	459.49955678
Uvoz	37.38716144	108.3960000	-	-	-	2.48198609	53.00500000	117.53586274	-	318.80601027
Izvoz	-27.23067712	-	-11.67266222	-0.03166667	-6.01738457	-3.59165180	238.59422139	-34.50332480	-	321.64158857
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	250.62482866	108.3960000	33.69344576	44.38008000	22.23059991	99.89570760	185.58922139	83.00753794	-	456.63897848
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00571051	-	-	-	-0.00571051
Rafinerije i petrohemija	-	-	-94.71143559	-	-	-	-	93.58135596	-	-1.13007963
Proizvodnja toplotne energije	-4.61922434	-27.89202595	-	-	-	-12.26683132	-	-4.58390242	41.0830000	-8.27898403
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36101017	-	-	-	-	0.36101017	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	-202.88584904	-1.20831048	-	-44.38008000	188.26387210	-26.67725560	313.86651211	-	-	149.54885510
Prenos i distribucija	-	-0.19804762	-	-	-	-	-12.68662405	-	-	-12.88467167
Visoke peći i prerada uglja	-5.92504213	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.92504213
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-22.30097345	-	-	-	-22.30097345
Energija raspoloživa transformacijom	-213.43011551	-29.29838405	-95.07244576	-44.38008000	188.26387210	-61.25077088	301.17988806	89.35846371	41.0830000	200.07431652
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	19.84346316	32.51700000	-	-	4.93333333	3.44556579	37.47200000	12.36700000	17.1520000	127.73036228
Saobraćaj	-	0.40800000	-	-	9.42700000	0.68800000	0.68600000	72.74784805	-	83.95684805
Građevinarstvo	0.27450000	-	-	-	-	0.05600000	1.06500000	1.26460000	-	2.66010000
Domaćinstva	7.32975000	14.02600000	-	-	3.49100000	42.72429032	40.11300000	1.10710511	16.41700000	125.20814543
Poljoprivreda	0.00300000	4.76000000	-	-	0.58799196	1.64800000	2.20400000	2.63959459	-	11.84258656
Ostali potrošači	3.77400000	3.62100000	-	-	1.72465156	3.47600000	17.45100000	1.55200000	5.42200000	37.02065156
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	16.59966667	5.48333333	2.09200000	36.78000000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	37.19471316	79.02100000	-	-	20.16397685	52.03785611	115.59066667	137.38048108	41.0830000	482.47169387
Neispunjeni zahtevi za energijom	-0.00000000	-0.07661595	61.37900000	-	186.19724904	13.39291940	-0.00000000	-34.98552057	-	225.90703192

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.22: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2035. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2035. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	226.77143587	2.12445441	46.19383889	50.49094000	39.77520825	107.9232831	-	-	-	473.27916053
Uvoz	35.06583587	107.8011321	-	-	-	2.90374871	57.72296040	118.35205383	-	321.84573096
Izvoz	-27.37520812	-	-14.07573911	-0.04000000	-6.10711206	-3.48612146	-169.96301385	-34.43868283	-0.00000000	-255.48587743
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	234.46206362	109.9255865	32.11809978	50.45094000	33.66809619	107.3409103	-112.24005346	83.88837101	-0.00000000	539.61401406
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00449159	-	-	-	-0.00449159
Rafinerije i petrohemija	-	-	-93.06176764	-	-	-	-	91.97246082	-	-1.08930682
Proizvodnja toplotne energije	-4.09349845	-26.33729455	-	-	-	-14.10034357	-	-4.14510690	41.33300000	-7.34324346
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.43533214	-	-	-	-	0.43533214	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	-190.81272253	-1.24548926	-	-50.45094000	-108.10794895	-30.28622393	240.21039279	-	-	-140.69293189
Prenos i distribucija	-	-0.16880275	-	-	-	-	-11.91083933	-	-	-12.07964208
Visoke peći i prerada uglja	-5.47111765	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.47111765
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-22.88246973	-	-	-	-22.88246973
Energija raspoloživa transformacijom	-200.37733862	-27.75158656	-93.49709978	-50.45094000	-108.10794895	-67.27352882	228.29955346	88.26268606	41.33300000	-189.56320322
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	18.38960000	35.20000000	-	-	5.68300000	4.17636331	38.85800000	12.69700000	16.28000000	131.28396331
Saobraćaj	-	0.40000000	-	-	9.62400000	0.71700000	0.70600000	70.75765330	-	82.20465330
Građevinarstvo	0.23112500	-	-	-	-	0.06300000	1.01800000	1.21360000	-	2.52572500
Domaćinstva	6.86900000	13.74500000	-	-	4.04275000	42.52196774	37.91500000	1.09082883	16.70600000	122.89054657
Poljoprivreda	0.00200000	4.64100000	-	-	0.71145728	1.80150000	2.53800000	2.94094595	-	12.63490323
Ostali potrošači	2.62300000	4.49900000	-	-	2.08159812	4.79700000	19.03000000	1.17900000	6.25500000	40.46459812
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	15.99450000	5.38300000	2.09200000	36.07450000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	34.08472500	82.17400000	-	-	22.14280540	54.07683106	116.05950000	135.48102808	41.33300000	485.35188953
Neispunjeni zahtevi za energijom	-	-	61.37900000	-	96.58265816	14.00944953	-	-36.67002899	-	135.30107870

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.23: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2040. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	214.41455973	0.41381956	44.54542037	52.80368000	51.29840139	114.84125649	-	-	-	478.31713754
Uvoz	33.26608026	107.2095288	-	-	-	3.45683643	62.86086515	120.65415881	-	327.44746953
Izvoz	-27.51973912	-	-14.07573911	-0.05000000	-6.20603444	-3.41197668	-167.14185883	-34.73984838	-	-253.14519656
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	220.16090088	107.6233484	30.46968126	52.75368000	45.09236695	114.8861162	-104.28099368	85.88931043	-	552.59441051
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00342527	-	-	-	-0.00342527
Rafinerije i petrohemija	-	-	-91.41334912	-	-	-	-	90.36478423	-	-1.04856489
Proizvodnja toplotne energije	-3.90794701	-26.83005754	-	-	-	-16.89583837	-	-4.04162029	44.7560000	-6.91946321
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.43533214	-	-	-	-	0.43533214	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	-179.85701070	-1.35218513	-	-52.75368000	-97.05725321	-33.92055977	232.22657936	-	-	-132.71410945
Prenos i distribucija	-	-0.12710577	-	-	-	-	-11.16325235	-	-	-11.29035812
Visoke peći i prerada uglja	-5.01719316	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.01719316
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-23.41117884	-	-	-	-23.41117884
Energija raspoloživa transformacijom	-188.78215088	-28.30934844	-91.84868126	-52.75368000	-97.05725321	-74.23100224	221.06332701	86.75849608	44.7560000	-180.40429294
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	16.98300000	31.86600000	-	-	6.43266667	5.02158373	40.29600000	13.21600000	18.46200000	132.27725040
Saobraćaj	-	0.38800000	-	-	9.91300000	0.73100000	0.72700000	69.10845856	-	80.86745856
Građevinarstvo	0.18675000	-	-	-	-	0.10700000	0.97100000	1.17350000	-	2.43825000
Domaćinstva	6.36100000	13.47000000	-	-	4.67150000	42.30764516	35.71800000	0.96755255	17.00000000	120.49569771
Poljoprivreda	0.00100000	4.52400000	-	-	0.86534625	1.94100000	2.92700000	3.34729730	-	13.60564355
Ostali potrošači	1.87700000	5.37700000	-	-	2.29542060	6.61000000	20.75400000	0.90500000	7.20200000	45.02042060
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	15.38933333	5.28266667	2.09200000	35.36900000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	31.37875000	79.31400000	-	-	24.17793352	56.71822889	116.78233333	134.21947508	44.7560000	487.34672082
Neispunjeni zahtevi za energijom	-0.00000000	0.00000000	61.37900000	-	76.14281978	16.06311491	-0.00000000	-38.42833143	-0.00000000	115.15660325

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.24: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2045. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2045. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	199.51437520	-	42.89824987	55.83817600	62.81737499	121.75918492	-	-	-	482.82736098
Uvoz	31.22195803	106.6211722	-	-	-	4.00223839	68.45609338	123.53085848	-	333.83232056
Izvoz	-27.66627011	-	-14.07573911	-0.07000000	-6.29625369	-3.31102366	-155.93810445	-35.69772331	-	-243.05511434
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	203.07006311	106.6211722	28.82251075	55.76817600	56.52112130	122.45039966	-87.48201107	87.80813517	-	573.57956720
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00250685	-	-	-	-0.00250685
Rafinerije i petrohemija	-	-	-89.76617861	-	-	-	-	88.75832481	-	-1.00785380
Proizvodnja toplotne energije	-3.70277141	-26.12939382	-	-	-	-21.13646993	-	-3.91559537	48.4800000	-6.40423053
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.43533214	-	-	-	-	0.43533214	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	-166.28764802	-1.49121427	-	-55.76817600	-77.60783666	-39.18837693	216.02586070	-	-	-124.31739119
Prenos i distribucija	-	-0.10636294	-	-	-	-	-10.46668296	-	-	-10.57304590
Visoke peći i prerada uglja	-4.56326868	-	-	-	-	-	-	-	-	-4.56326868
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-23.88710076	-	-	-	-23.88710076
Energija raspoloživa transformacijom	-174.55368811	-27.72697103	-90.20151075	-55.76817600	-77.60783666	-84.21445448	205.55917774	85.27806158	48.4800000	-170.75539772
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	15.36200000	30.75000000	-	-	7.26633333	6.00428562	41.78700000	14.30600000	20.86100000	136.33661895
Saobraćaj	-	0.37600000	-	-	11.19300000	0.74800000	0.74900000	66.70226383	-	79.76826383
Građevinarstvo	0.14337500	-	-	-	-	0.17100000	0.92400000	1.13000000	-	2.36837500
Domaćinstva	5.79900000	13.20000000	-	-	5.14225000	42.05432258	33.81400000	0.85827628	17.29900000	118.16684886
Poljoprivreda	0.00100000	4.41100000	-	-	1.05571735	2.06350000	3.38200000	3.75964865	-	14.67286600
Ostali potrošači	1.24100000	6.25500000	-	-	2.94207139	9.15200000	22.63700000	0.66500000	8.22800000	51.12007139
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	14.78416667	5.18233333	2.09200000	34.66350000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	28.51637500	78.68100000	-	-	27.59937207	60.19310820	118.07716667	132.82252209	48.4800000	494.36954402
Neispunjeni zahtevi za energijom	-	-0.21320125	61.37900000	-	48.68608744	21.95716302	0.00000000	-40.26367466	-	91.54537454

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.25: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2050. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	172.92604269	-	41.25232596	66.05396800	74.33193229	128.67694725	-	-	-	483.24121619
Uvoz	30.10978883	106.0360445	-	-	-	4.37638729	74.54935133	126.12843705	-	341.20000904
Izvoz	-28.13658031	-	-14.07573911	-0.07000000	-6.38778874	-3.33452753	-172.24473077	-36.53827970	-0.00000000	-260.78764617
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	174.89925120	106.0360445	27.17658684	65.98396800	67.94414355	129.71880702	-97.69537944	89.56515735	-0.00000000	563.62857906
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00173264	-	-	-	-0.00173264
Rafinerije i petrohemija	-	-	-88.12025471	-	-	-	-	87.15308118	-	-0.96717353
Proizvodnja toplotne energije	-3.32674905	-24.36963867	-	-	-	-25.48728529	-	-3.60305360	51.14000000	-5.64672660
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.43533214	-	-	-	-	0.43533214	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	-141.01215796	-1.70561289	-	-65.98396800	-79.37921592	-52.88115883	226.84726175	-	-	-114.11485185
Prenos i distribucija	-	-0.08596606	-	-	-	-	-9.76388230	-	-	-9.84984836
Visoke peći i prerada uglja	-4.10934420	-	-	-	-	-	-	-	-	-4.10934420
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-24.31023552	-	-	-	-24.31023552
Energija raspoloživa transformacijom	-148.44825120	-26.16121761	-88.55558684	-65.98396800	-79.37921592	-102.68041229	217.08337944	83.98535972	51.14000000	-158.99991271
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	14.07400000	29.64300000	-	-	8.10000000	7.15217431	43.33300000	14.84000000	22.10800000	139.25017431
Saobraćaj	-	0.36400000	-	-	13.17400000	0.78900000	0.77100000	64.58406910	-	79.68206910
Građevinarstvo	0.10000000	-	-	-	-	0.29900000	0.87700000	1.08000000	-	2.35600000
Domaćinstva	5.28600000	12.93600000	-	-	5.83100000	41.75900000	31.61900000	0.75000000	17.60300000	115.78400000
Poljoprivreda	0.00100000	4.30000000	-	-	1.25038199	2.16700000	3.91600000	4.28700000	-	15.92138199
Ostali potrošači	1.02000000	7.13300000	-	-	3.53871610	12.66700000	24.69300000	0.52900000	9.33700000	58.91771610
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	14.17900000	5.08200000	2.09200000	33.95800000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	26.45100000	78.06500000	-	-	31.89409810	64.83317431	119.38800000	131.3710691	51.14000000	503.14234150
Neispunjeni zahtevi za energijom	-	-1.80982692	61.37900000	-	43.32917046	37.79477958	-0.00000000	-42.17944797	0.00000000	98.51367515

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.26: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2025. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2025. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Bio-alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	249.13133988	10.76109776	35.37632811	8.90347146	17.01387819	94.45765181	-	-	-	-	415.64376720
Uvoz	37.34428624	90.81200000	61.37900000	-	30.88053945	4.34883584	48.69200000	116.16642609	-	0.04064265	389.66373028
Izvoz	-27.13181652	-	-9.10954531	-0.02333333	-5.92891695	-3.74044923	-48.69200000	-29.38713401	-	-	124.01319535
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	259.34380960	101.57309776	87.64578280	8.88013813	41.96550069	95.06603841	-0.00000000	86.75429209	-	0.04064265	681.26930213
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.09312767	-	-	-	-	-0.09312767
Rafinerije i petrohemija	-	-	87.36404429	-	-	-	-	86.41850816	-	-	-0.94553612
Proizvodnja toplotne energije	-7.21954146	-24.49961577	-	-	-	-8.32006046	-	-6.43250136	37.62500000	-	-8.84671905
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.28173851	-	-	-	-	0.28173851	-	-	0.00000000
Proizvodnja električne energije	207.23258535	-2.24741683	-	-8.88013813	36.42186447	-6.47857071	123.95472383	-0.02070736	-	0.04064265	137.36720167
Prenos i distribucija	-	-0.18706516	-	-	-	-	-12.34589049	-	-	-	-12.53295566
Visoke peći i prerada uglja	-6.67057723	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.67057723
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	21.66669000	-	-	-	-	-21.66669000
Energija raspoloživa transformacijom	221.12270404	-26.93409776	87.64578280	-8.88013813	36.42186447	36.55844884	111.60883333	80.24703796	37.62500000	0.04064265	188.12280741
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	19.08632632	33.18000000	-	-	2.46666667	2.81000000	32.04600000	11.98000000	14.74400000	-	116.31299298
Saobraćaj	-	0.41200000	-	-	9.10000000	0.68200000	0.75400000	74.69804280	-	-	85.64604280
Građevinarstvo	0.23950000	-	-	-	-	0.05600000	1.11200000	1.31510000	-	-	2.72260000
Domaćinstva	7.71750000	12.64400000	-	-	2.85100000	42.82361290	42.57100000	1.38438138	16.13300000	-	126.12449428
Poljoprivreda	0.00350000	4.22600000	-	-	0.47249602	1.48950000	1.91900000	2.36724324	-	-	10.47773926
Ostali potrošači	5.19700000	2.70600000	-	-	1.37055680	2.51600000	16.00200000	1.98400000	4.65600000	-	34.43155680
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	17.20483333	5.58366667	2.09200000	-	37.48550000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.54000000	13.06200000	-	-	-	-	-	34.29400000	-	-	48.89600000
Finalna potrošnja energije	37.97982632	74.63900000	-	-	16.26071948	50.37711290	111.60883333	133.60643409	37.62500000	-	462.09692612
Neispunjeni zahtevi za energijom	-0.24127924	-	-	0.00000000	10.71708326	-8.13047667	0.00000000	-33.39489596	0.00000000	-	-31.04956860

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.27: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2030. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafta Oil Products	TE Heat	Bio-alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	240.49166491	0.0224679	45.36610799	9.25122595	26.41893183	101.00537330	-	-	-	-	422.55577189
Uvoz	37.39118167	108.39600000	61.37900000	-	28.32739310	25.60619815	53.00500000	117.55138800	-	0.06918275	431.72534367
Izvoz	-27.23067712	-	11.67266222	-0.03166667	-6.01738457	-3.58652029	-53.00500000	-34.50332480	-	-	136.04723567
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	250.65216947	108.4184679	95.07244576	9.21955929	48.72894036	123.02505116	-	83.02306320	-	0.06918275	718.20887989
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00571051	-	-	-	-	-0.00571051
Rafinerije i petrohemija	-	-	94.71143559	-	-	-	-	93.58135596	-	-	-1.13007963
Proizvodnja toplotne energije	-4.61922434	-27.89202595	-	-	-	-12.26683132	-	-4.58390242	41.0830000	-	-8.27898403
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.36101017	-	-	-	-	0.36101017	-	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	202.91318984	-1.30739434	-	-9.21955929	36.83596212	-27.48459989	128.27729072	-0.01552526	-	0.06918275	149.56812277
Prenos i distribucija	-	-0.19804762	-	-	-	-	-12.68662405	-	-	-	-12.88467167
Visoke peći i prerada uglja	-5.92504213	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.92504213
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-22.30097345	-	-	-	-	-22.30097345
Energija raspoloživa transformacijom	213.45745631	-29.39746791	95.07244576	-9.21955929	36.83596212	-62.05811517	115.5906666	89.34293845	41.0830000	0.06918275	200.09358419
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	19.84346316	32.51700000	-	-	4.93333333	3.44556579	37.47200000	12.36700000	17.1520000	-	127.73036228
Saobraćaj	-	0.40800000	-	-	9.42700000	0.68800000	0.68600000	72.74784805	-	-	83.95684805
Građevinarstvo	0.27450000	-	-	-	-	0.05600000	1.06500000	1.26460000	-	-	2.66010000
Domaćinstva	7.32975000	14.02600000	-	-	3.49100000	42.72429032	40.11300000	1.10710511	16.4170000	-	125.20814543
Poljoprivreda	0.00300000	4.76000000	-	-	0.58799196	1.64800000	2.20400000	2.63959459	-	-	11.84258656
Ostali potrošači	3.77400000	3.62100000	-	-	1.72465156	3.47600000	17.45100000	1.55200000	5.42200000	-	37.02065156
Sopstvena potrošnja u energetske sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	16.5996666	5.48333333	2.09200000	-	36.78000000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	37.19471316	79.02100000	-	-	20.16397685	52.03785611	115.5906666	137.38048108	41.0830000	-	482.47169387
Neispunjeni zahtevi za energijom	-	-	-	-	8.27099862	-8.92907988	-	-34.98552057	-	-	-35.64360183

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.28: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2035. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2035. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafta Oil Products	TE Heat	Bio-alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	226.80116788	2.25787138	46.19383889	14.77034116	37.65105913	107.92328311	-	-	-	-	435.59756155
Uvoz	35.07405160	107.80113215	61.37900000	-	10.55007098	28.25015946	57.72296040	118.37233605	-	0.13654786	419.28625849
Izvoz	-27.37520812	-	14.07573911	-0.04000000	-6.10711206	-3.47894556	-57.72296040	-34.43868283	-0.00000000	-	143.23864807
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	234.50001136	110.05900353	93.49709978	14.73034116	42.09401805	132.69449701	-0.00000000	83.90865322	-0.00000000	0.13654786	711.62017197
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00449159	-	-	-	-	-0.00449159
Rafinerije i petrohemija	-	-	93.06176764	-	-	-	-	91.97246082	-	-	-1.08930682
Proizvodnja toplotne energije	-4.09349845	-26.33729455	-	-	-	-14.10034357	-	-4.14510690	41.33300000	-	-7.34324346
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.43533214	-	-	-	-	0.43533214	-	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	190.85067027	-1.37890624	-	-14.73034116	29.70057662	-31.87289079	127.97033933	-0.02028221	-	0.13654786	140.71987581
Prenos i distribucija	-	-0.16880275	-	-	-	-	-11.91083933	-	-	-	-12.07964208
Visoke peći i prerada uglja	-5.47111765	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.47111765
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-22.88246973	-	-	-	-	-22.88246973
Energija raspoloživa transformacijom	200.41528636	-27.88500353	93.49709978	-14.73034116	29.70057662	-68.86019568	116.05950000	88.24240385	41.33300000	0.13654786	189.59014714
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	18.38960000	35.20000000	-	-	5.68300000	4.17636331	38.85800000	12.69700000	16.28000000	-	131.28396331
Saobraćaj	-	0.40000000	-	-	9.62400000	0.71700000	0.70600000	70.75765330	-	-	82.20465330
Građevinarstvo	0.23112500	-	-	-	-	0.06300000	1.01800000	1.21360000	-	-	2.52572500
Domaćinstva	6.86900000	13.74500000	-	-	4.04275000	42.52196774	37.91500000	1.09082883	16.70600000	-	122.89054657
Poljoprivreda	0.00200000	4.64100000	-	-	0.71145728	1.80150000	2.53800000	2.94094595	-	-	12.63490323
Ostali potrošači	2.62300000	4.49900000	-	-	2.08159812	4.79700000	19.03000000	1.17900000	6.25500000	-	40.46459812
Sopstvena potrošnja u energetske sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	15.99450000	5.38300000	2.09200000	-	36.07450000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	34.08472500	82.17400000	-	-	22.14280540	54.07683106	116.05950000	135.48102808	41.33300000	-	485.35188953
Neispunjeni zahtevi za energijom	-0.00000000	0.00000000	-	0.00000000	9.74936397	-9.75747027	0.00000000	-36.67002899	-	-	-36.67813529

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.29: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2040. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafte Oil Products	TE Heat	Bio-alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	214.44193035	0.54456960	44.54542037	15.88948352	47.85916158	114.84125649	-	-	-	-	438.12182190
Uvoz	33.27709839	107.20952888	61.37900000	-	5.66675470	32.26607276	62.86086515	120.65415881	-	0.17975315	423.49323185
Izvoz	-27.51973912	-	14.07573911	-0.05000000	-6.20603444	-3.40466232	-62.86086515	-34.72063071	-	-	148.83767084
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	220.19928963	107.75409848	91.84868126	15.83948352	47.31988185	143.70266693	-	85.90852810	-	0.17975315	712.75238291
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00342527	-	-	-	-	-0.00342527
Rafinerije i petrohemija	-	-	91.41334912	-	-	-	-	90.36478423	-	-	-1.04856489
Proizvodnja toplotne energije	-3.90794701	-26.83005754	-	-	-	-16.89583837	-	-4.04162029	44.75600000	-	-6.91946321
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.43533214	-	-	-	-	0.43533214	-	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	179.89539945	-1.48293517	-	-15.83948352	27.26602224	-36.00434773	127.94558568	-0.01921767	-	0.17975315	132.74157325
Prenos i distribucija	-	-0.12710577	-	-	-	-	-11.16325235	-	-	-	-11.29035812
Visoke peći i prerađa uglja	-5.01719316	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.01719316
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-23.41117884	-	-	-	-	-23.41117884
Energija raspoloživa transformacijom	188.82053963	-28.44009848	91.84868126	-15.83948352	27.26602224	-76.31479020	116.78233333	86.73927841	44.75600000	0.17975315	180.43175674
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	16.98300000	31.86600000	-	-	6.43266667	5.02158373	40.29600000	13.21600000	18.46200000	-	132.27725040
Saobraćaj	-	0.38800000	-	-	9.91300000	0.73100000	0.72700000	69.10845856	-	-	80.86745856
Građevinarstvo	0.18675000	-	-	-	-	0.10700000	0.97100000	1.17350000	-	-	2.43825000
Domaćinstva	6.36100000	13.47000000	-	-	4.67150000	42.30764516	35.71800000	0.96755255	17.00000000	-	120.49569771
Poljoprivreda	0.00100000	4.52400000	-	-	0.86534625	1.94100000	2.92700000	3.34729730	-	-	13.60564355
Ostali potrošači	1.87700000	5.37700000	-	-	2.29542060	6.61000000	20.75400000	0.90500000	7.20200000	-	45.02042060
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	15.38933333	5.28266667	2.09200000	-	35.36900000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	31.37875000	79.31400000	-	-	24.17793352	56.71822889	116.78233333	134.21947508	44.75600000	-	487.34672082
Neispunjeni zahtevi za energijom	-0.00000000	0.00000000	-	-	4.12407391	-10.66964783	0.00000000	-38.42833143	-0.00000000	-	-44.97390535

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.30: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2045. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2045. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafta Oil Products	TE Heat	Bio-alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	199.54126262	-	42.89824987	18.62438060	50.81486928	121.75918492	-	-	-	-	433.63794729
Uvoz	31.23699089	106.62117228	61.37900000	-	3.30593402	40.34515680	68.45609338	123.53085848	-	0.24243106	435.11763691
Izvoz	-27.66627011	-	14.07573911	-0.07000000	-6.29625369	-3.30297537	-68.45609338	-35.67817931	-	-	155.54551098
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	203.11198340	106.62117228	90.20151075	18.55438060	47.82454961	158.80136635	0.00000000	87.82767917	-	0.24243106	713.18507322
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00250685	-	-	-	-	-0.00250685
Rafinerije i petrohemija	-	-	89.76617861	-	-	-	-	88.75832481	-	-	-1.00785380
Proizvodnja toplotne energije	-3.70277141	-26.12939382	-	-	-	-21.13646993	-	-3.91559537	48.48000000	-	-6.40423053
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.43533214	-	-	-	-	0.43533214	-	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	166.32956830	-1.62931667	-	-18.55438060	24.12165166	-41.99456803	128.54384962	-0.01954400	-	0.24243106	124.34761070
Prenos i distribucija	-	-0.10636294	-	-	-	-	-10.46668296	-	-	-	-10.57304590
Visoke peći i prerada uglja	-4.56326868	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4.56326868
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-23.88710076	-	-	-	-	-23.88710076
Energija raspoloživa transformacijom	174.59560840	-27.86507343	90.20151075	-18.55438060	24.12165166	-87.02064558	118.07716667	85.25851758	48.48000000	0.24243106	170.78561723
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	15.36200000	30.75000000	-	-	7.26633333	6.00428562	41.78700000	14.30600000	20.86100000	-	136.33661895
Saobraćaj	-	0.37600000	-	-	11.19300000	0.74800000	0.74900000	66.70226383	-	-	79.76826383
Građevinarstvo	0.14337500	-	-	-	-	0.17100000	0.92400000	1.13000000	-	-	2.36837500
Domaćinstva	5.79900000	13.20000000	-	-	5.14225000	42.05432258	33.81400000	0.85827628	17.29900000	-	118.16684886
Poljoprivreda	0.00100000	4.41100000	-	-	1.05571735	2.06350000	3.38200000	3.75964865	-	-	14.67286600
Ostali potrošači	1.24100000	6.25500000	-	-	2.94207139	9.15200000	22.63700000	0.66500000	8.22800000	-	51.12007139
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	14.78416667	5.18233333	2.09200000	-	34.66350000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	28.51637500	78.68100000	-	-	27.59937207	60.19310820	118.07716667	132.82252209	48.48000000	-	494.36954402
Neispunjeni zahtevi za energijom	-	-0.07509885	-	-	3.89647412	-11.58761257	-0.00000000	-40.26367466	-	-	-48.02991197

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.31: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE)

Republika Srbija 2050. godine (1000 TJ)	Čvrsta goriva Solid Fuels	Prirodni gas Natural Gas	Sirova nafta Crude Oil	Hidroenergija Hydropower	OIE Renewables	Biomasa Biomass	EE Electricity	Derivati nafta Oil Products	TE Heat	Bio-alkohol Bioalcohol	Ukupno Total
Primarna proizvodnja energije	172.94842268	-	41.25232596	20.77219128	57.63398461	128.67694725	-	-	-	-	421.28387178
Uvoz	30.12676174	106.03604453	61.37900000	-	-	57.84412429	74.54935133	126.12843705	-	0.27156655	456.33528550
Izvoz	-28.13658031	-	14.07573911	-0.07000000	-6.38778874	-3.32691397	-74.54935133	-36.52130679	-0.00000000	-	163.06768025
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-0.02500000	-	-	-0.02500000
Ukupno snabdevanje energijom	174.93860411	106.03604453	88.55558684	20.70219128	51.24619587	183.19415758	-0.00000000	89.58213026	-0.00000000	0.27156655	714.52647703
Drvena goriva	-	-	-	-	-	-0.00173264	-	-	-	-	-0.00173264
Rafinerije i petrohemija	-	-	88.12025471	-	-	-	-	87.15308118	-	-	-0.96717353
Proizvodnja toplotne energije	-3.32674905	-24.36963867	-	-	-	-25.48728529	-	-3.60305360	51.14000000	-	-5.64672660
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.43533214	-	-	-	-	0.43533214	-	-	-0.00000000
Proizvodnja električne energije	141.05151086	-1.83080022	-	-20.70219128	23.40091422	-56.02136534	129.15188230	-0.01697291	-	0.27156655	114.14343908
Prenos i distribucija	-	-0.08596606	-	-	-	-	-9.76388230	-	-	-	-9.84984836
Visoke peći i prerada uglja	-4.10934420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4.10934420
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	-24.31023552	-	-	-	-	-24.31023552
Energija raspoloživa transformacijom	148.48760411	-26.28640495	88.55558684	-20.70219128	23.40091422	105.82061879	119.38800000	83.96838681	51.14000000	0.27156655	159.02849993
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	14.07400000	29.64300000	-	-	8.10000000	7.15217431	43.33300000	14.84000000	22.10800000	-	139.25017431
Saobraćaj	-	0.36400000	-	-	13.17400000	0.78900000	0.77100000	64.58406910	-	-	79.68206910
Građevinarstvo	0.10000000	-	-	-	-	0.29900000	0.87700000	1.08000000	-	-	2.35600000
Domaćinstva	5.28600000	12.93600000	-	-	5.83100000	41.75900000	31.61900000	0.75000000	17.60300000	-	115.78400000
Poljoprivreda	0.00100000	4.30000000	-	-	1.25038199	2.16700000	3.91600000	4.28700000	-	-	15.92138199
Ostali potrošači	1.02000000	7.13300000	-	-	3.53871610	12.66700000	24.69300000	0.52900000	9.33700000	-	58.91771610
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	4.19600000	8.40900000	-	-	-	-	14.17900000	5.08200000	2.09200000	-	33.95800000
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	1.77400000	15.28000000	-	-	-	-	-	40.21900000	-	-	57.27300000
Finalna potrošnja energije	26.45100000	78.06500000	-	-	31.89409810	64.83317431	119.38800000	131.37106910	51.14000000	-	503.14234150
Neispunjeni zahtevi za energijom	-0.00000000	-1.68463959	-	-0.00000000	4.04881645	-12.54036448	0.00000000	-42.17944797	0.00000000	-	-52.35563559

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.32: Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – proporcionalan OIE)

Republika Srbija: Poređenje za 2030. godinu (1000 TJ)	Čvrsta goriva <i>Solid Fuels</i>	Prirodni gas <i>Natural Gas</i>	Sirova nafta <i>Crude Oil</i>	Hidroenergija <i>Hydropower</i>	OIE <i>Renewables</i>	Biomasa <i>Biomass</i>	EE <i>Electricity</i>	Derivati nafte <i>Oil Products</i>	TE <i>Heat</i>	Bio-alkohol <i>Bioalcohol</i>	Ukupno <i>Total</i>
Primarna proizvodnja energije	66.6903	10.9405	-23.6584	33.7885	-19.8334	3.9376	-	-	-	-	71.8651
Uvoz	4.9391	11.2620	92.3410	-	-28.3274	-24.5822	-6.6975	-38.0512	1.2725	-0.0692	12.0871
Izvoz	25.4240	-	11.6727	0.0317	0.1963	1.3522	13.1890	-9.7618	-	-	42.1040
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ukupno snabdevanje energijom	97.0533	22.2025	80.3553	33.8202	-47.9645	-19.2924	6.4915	-47.8130	1.2725	-0.0692	126.0562
Drvena goriva	-	-	-	-	-	0.0057	-	-	-	-	0.0057
Rafinerije i petrohemija	-	-	-68.6826	-	-	-	-	68.0068	-	-	-0.6759
Proizvodnja toplotne energije	-0.8623	-1.6055	-	-	-	-0.8018	-	-2.4051	4.0320	-	-1.6426
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.0024	-	-	-	-	0.0024	-	-	0.0000
Proizvodnja električne energije	-56.5178	-2.5728	-	-33.8202	36.7804	14.5076	14.7074	0.0155	-	0.0692	-26.8306
Prenos i distribucija	-	-1.2168	-	-	-	-	-2.0966	-	-	-	-3.3134
Visoke peći i prerada uglja	-2.1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.1974
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	3.4164	-	-	-	-	3.4164
Energija raspoloživa transformacijom	-59.5775	-5.3951	-68.6850	-33.8202	36.7804	17.1279	12.6108	65.6196	4.0320	0.0692	-31.2378
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	7.3722	15.5060	-	-	-4.9333	-0.1124	5.4430	8.7760	-0.3220	-	31.7295
Saobraćaj	-	0.0944	-	-	-0.0670	0.1260	0.1930	20.7042	-	-	21.0506
Građevinarstvo	-0.0230	-	-	-	-	-0.0040	0.0940	-0.0343	-	-	0.0327
Domaćinstva	2.5093	-	-	-	-1.9840	2.1577	6.6960	0.3164	3.9310	-	13.6264
Poljoprivreda	0.0010	0.0970	-	-	-0.1480	-0.1555	0.0570	0.2414	-	-	0.0929
Ostali potrošači	1.1360	1.1100	-	-	-0.4117	0.8640	5.4090	0.7930	1.6955	-	10.5958
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	-	-	-	-	-	-	1.2103	0.2007	-	-	1.4110
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	-	-	-	-	-	-	-	-0.0420	-	-	-0.0420
Finalna potrošnja energije	10.9955	16.8074	-	-	-7.5440	2.8758	19.1023	30.9554	5.3045	-	78.4969
Neispunjeni zahtevi za energijom	-26.4804	-	-11.6703	-	3.6401	5.0403	0.0000	13.1487	0.0000	-	-16.3215

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.33: Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – proporcionalan OIE)

Republika Srbija: Poređenje za 2040. godinu (1000 TJ)	Čvrsta goriva <i>Solid Fuels</i>	Prirodni gas <i>Natural Gas</i>	Sirova nafta <i>Crude Oil</i>	Hidroenergija <i>Hydropower</i>	OIE <i>Renewables</i>	Biomasa <i>Biomass</i>	EE <i>Electricity</i>	Derivati nafte <i>Oil Products</i>	TE <i>Heat</i>	Bio-alkohol <i>Bioalcohol</i>	Ukupno <i>Total</i>
Primarna proizvodnja energije	126.0647	-0.5446	-1.1605	28.8285	-41.2330	-9.0466	-	-	-	-	102.9086
Uvoz	14.5838	53.4448	92.3410	-	-5.6668	-31.0413	-13.4950	-39.9621	2.5985	-0.1798	72.6232
Izvoz	25.7234	-	14.0757	0.0500	0.3850	1.1370	20.2403	-16.6499	-	-	44.9615
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ukupno snabdevanje energijom	166.3720	52.9002	105.2562	28.8785	-46.5147	-38.9509	6.7453	-56.6120	2.5985	-0.1798	220.4933
Drvena goriva	-	-	-	-	-	0.0034	-	-	-	-	0.0034
Rafinerije i petrohemija	-	-	-93.6579	-	-	-	-	92.6609	-	-	-0.9970
Proizvodnja toplotne energije	-2.3853	-6.7404	-	-	-	2.4145	-	-3.9823	6.3675	-	-4.3261
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	0.0719	-	-	-	-	-0.0719	-	-	0.0000
Proizvodnja električne energije	-113.7747	-2.5128	-	-28.8785	27.1947	22.0073	29.0223	0.0192	-	0.1798	-66.7427
Prenos i distribucija	-	-1.8490	-	-	-	-	-7.7020	-	-	-	-9.5510
Visoke peći i prerada uglja	-3.1052	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.1052
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	4.5266	-	-	-	-	4.5266
Energija raspoloživa transformacijom	-119.2652	-11.1022	-93.5859	-28.8785	27.1947	28.9518	21.3204	88.6259	6.3675	0.1798	-80.1919
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	16.4523	18.5870	-	-	-6.4327	-0.8513	7.3460	12.6810	1.0330	-	48.8154
Saobraćaj	-	0.1144	-	-	-0.0790	0.1240	0.3750	29.4743	-	-	30.0087
Građevinarstvo	0.1523	-	-	-	-	-0.0550	0.1880	0.1919	-	-	0.4772
Domaćinstva	4.2660	1.5840	-	-	-3.0005	7.3254	11.9490	0.5369	5.9050	-	28.5658
Poljoprivreda	0.0030	0.9840	-	-	-0.1853	-0.2570	0.0750	0.3567	-	-	0.9764
Ostali potrošači	0.5840	1.8580	-	-	-0.6864	1.1880	5.7120	0.5140	2.0280	-	11.1976
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	-	-	-	-	-	-	2.4207	0.4013	-	-	2.8220
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	-	-	-	-	-	-	-	-0.0420	-	-	-0.0420
Finalna potrošnja energije	21.4576	23.1274	-	-	-10.3839	7.4741	28.0657	44.1142	8.9660	-	122.8210
Neispunjeni zahtevi za energijom	-25.6492	-18.6706	-11.6703	-0.0000	8.9361	17.4733	0.0000	12.1003	0.0000	-	-17.4804

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.34: Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – proporcionalan OIE)

Republika Srbija: Poređenje za 2050. godinu (1000 TJ)	Čvrsta goriva <i>Solid Fuels</i>	Prirodni gas <i>Natural Gas</i>	Sirova nafta <i>Crude Oil</i>	Hidroenergija <i>Hydropower</i>	OIE <i>Renewables</i>	Biomasa <i>Biomass</i>	EE <i>Electricity</i>	Derivati nafte <i>Oil Products</i>	TE <i>Heat</i>	Bio-alkohol <i>Bioalcohol</i>	Ukupno <i>Total</i>
Primarna proizvodnja energije	194.7622	-	28.9009	26.7181	-50.9402	-23.0785	-	-	-	-	176.3625
Uvoz	25.3507	109.6604	92.3410	-	-	-56.3732	-22.1337	-38.4275	5.3271	-0.2716	115.4732
Izvoz	26.3296	-	14.0757	0.0700	0.5667	1.0259	28.9267	-27.0065	0.0000	-	43.9881
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ukupno snabdevanje energijom	246.4424	109.6604	135.3176	26.7881	-50.3734	-78.4258	6.7930	-65.4341	5.3271	-0.2716	335.8238
Drvena goriva	-	-	-	-	-	0.0017	-	-	-	-	0.0017
Rafinerije i petrohemija	-	-	-123.7193	-	-	-	-	122.3451	-	-	-1.3742
Proizvodnja toplotne energije	-3.8915	-14.6439	-	-	-	7.9767	-	-5.6003	8.6569	-	-7.5022
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	0.0719	-	-	-	-	-0.0719	-	-	0.0000
Proizvodnja električne energije	-181.1732	-3.1777	-	-26.7881	23.2990	39.5325	42.9742	0.0170	-	0.2716	-105.0447
Prenos i distribucija	-	-2.5415	-	-	-	-	-12.7263	-	-	-	-15.2678
Visoke peći i prerada uglja	-4.0131	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4.0131
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	5.4257	-	-	-	-	5.4257
Energija raspoloživa transformacijom	-189.0779	-20.3632	-123.6473	-26.7881	23.2990	52.9366	30.2480	116.6898	8.6569	0.2716	-127.7746
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	27.0330	24.3350	-	-	-8.1000	-1.8862	10.0890	16.9210	3.6010	-	71.9928
Saobraćaj	-	0.1384	-	-	-2.8420	0.1090	0.6110	39.3754	-	-	37.3918
Građevinarstvo	0.3650	-	-	-	-	-0.2470	0.2820	0.4355	-	-	0.8355
Domaćinstva	6.2580	3.2210	-	-	-4.0040	13.5050	16.6060	0.8325	8.0260	-	44.4445
Poljoprivreda	0.0030	1.9470	-	-	-0.1434	-0.3570	0.1010	0.5000	-	-	2.0506
Ostali potrošači	0.2710	2.4350	-	-	-1.3377	1.4000	5.7210	0.3310	2.3570	-	11.1773
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	-	-	-	-	-	-	3.6310	0.6020	-	-	4.2330
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	-	-	-	-	-	-	-	-0.0420	-	-	-0.0420
Finalna potrošnja energije	33.9300	32.0764	-	-	-16.4271	12.5238	37.0410	58.9554	13.9840	-	172.0836
Neispunjeni zahtevi za energijom	-23.4345	-57.2208	-11.6703	-	10.6473	38.0130	-	7.6997	-0.0000	-	-35.9656

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.35: Tabela Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – pun OIE)

Republika Srbija: Poređenje za 2030. godinu (1000 TJ)	Čvrsta goriva <i>Solid Fuels</i>	Prirodni gas <i>Natural Gas</i>	Sirova nafta <i>Crude Oil</i>	Hidroenergija <i>Hydropower</i>	OIE <i>Renewables</i>	Biomasa <i>Biomass</i>	EE <i>Electricity</i>	Derivati nafte <i>Oil Products</i>	TE <i>Heat</i>	Ukupno <i>Total</i>
Primarna proizvodnja energije	66.7136	10.9630	-23.6584	-1.3720	-21.6625	3.9376	-	-	-	34.9213
Uvoz	4.9431	11.2620	153.7200	-	-	-1.4580	-6.6975	-38.0356	1.2725	125.0064
Izvoz	25.4240	-	11.6727	0.0317	0.1963	1.3573	198.7782	-9.7618	-	227.6984
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ukupno snabdevanje energijom	97.0807	22.2250	141.7343	-1.3404	-21.4662	3.8370	192.0807	-47.7974	1.2725	387.6261
Drvena goriva	-	-	-	-	-	0.0057	-	-	-	0.0057
Rafinerije i petrohemija	-	-	-68.6826	-	-	-	-	68.0068	-	-0.6759
Proizvodnja toplotne energije	-0.8623	-1.6055	-	-	-	-0.8018	-	-2.4051	4.0320	-1.6426
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	-0.0024	-	-	-	-	0.0024	-	0.0000
Proizvodnja električne energije	-56.5451	-2.6719	-	1.3404	188.2083	13.7002	-170.8818	-	-	-26.8499
Prenos i distribucija	-	-1.2168	-	-	-	-	-2.0966	-	-	-3.3134
Visoke peći i prerada uglja	-2.1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.1974
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	3.4164	-	-	-	3.4164
Energija raspoloživa transformacijom	-59.6048	-5.4942	-68.6850	1.3404	188.2083	16.3206	-172.9784	65.6041	4.0320	-31.2571
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	7.3722	15.5060	-	-	-4.9333	-0.1124	5.4430	8.7760	-0.3220	31.7295
Saobraćaj	-	0.0944	-	-	-0.0670	0.1260	0.1930	20.7042	-	21.0506
Građevinarstvo	-0.0230	-	-	-	-	-0.0040	0.0940	-0.0343	-	0.0327
Domaćinstva	2.5093	-	-	-	-1.9840	2.1577	6.6960	0.3164	3.9310	13.6264
Poljoprivreda	0.0010	0.0970	-	-	-0.1480	-0.1555	0.0570	0.2414	-	0.0929
Ostali potrošači	1.1360	1.1100	-	-	-0.4117	0.8640	5.4090	0.7930	1.6955	10.5958
Sopstvena potrošnja u energetsom sektoru	-	-	-	-	-	-	1.2103	0.2007	-	1.4110
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	-	-	-	-	-	-	-	-0.0420	-	-0.0420
Finalna potrošnja energije	10.9955	16.8074	-	-	-7.5440	2.8758	19.1023	30.9554	5.3045	78.4969
Neispunjeni zahtevi za energijom	-26.4804	0.0766	-73.0493	-0.0000	-174.2861	-17.2817	0.0000	13.1487	0.0000	-277.8722

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.36: Tabela Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – pun OIE)

Republika Srbija: Poređenje za 2040. godinu (1000 TJ)	Čvrsta goriva <i>Solid Fuels</i>	Prirodni gas <i>Natural Gas</i>	Sirova nafta <i>Crude Oil</i>	Hidroenergija <i>Hydropower</i>	OIE <i>Renewables</i>	Biomasa <i>Biomass</i>	EE <i>Electricity</i>	Derivati nafte <i>Oil Products</i>	TE <i>Heat</i>	Ukupno <i>Total</i>
Primarna proizvodnja energije	126.0921	-0.4138	-1.1605	-8.0857	-44.6722	-9.0466	-	-	-	62.7133
Uvoz	14.5949	53.4448	153.7200	-	-	-2.2321	-13.4950	-39.9621	2.5985	168.6689
Izvoz	25.7234	-	14.0757	0.0500	0.3850	1.1443	124.5213	-16.6307	-	149.2690
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ukupno snabdevanje energijom	166.4104	53.0309	166.6352	-8.0357	-44.2872	-10.1344	111.0263	-56.5928	2.5985	380.6513
Drvena goriva	-	-	-	-	-	0.0034	-	-	-	0.0034
Rafinerije i petrohemija	-	-	-93.6579	-	-	-	-	92.6609	-	-0.9970
Proizvodnja toplotne energije	-2.3853	-6.7404	-	-	-	2.4145	-	-3.9823	6.3675	-4.3261
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	0.0719	-	-	-	-	-0.0719	-	0.0000
Proizvodnja električne energije	-113.8131	-2.6436	-	8.0357	96.9860	19.9235	-75.2587	-	-	-66.7702
Prenos i distribucija	-	-1.8490	-	-	-	-	-7.7020	-	-	-9.5510
Visoke peći i prerada uglja	-3.1052	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.1052
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	4.5266	-	-	-	4.5266
Energija raspoloživa transformacijom	-119.3036	-11.2329	-93.5859	8.0357	96.9860	26.8680	-82.9606	88.6067	6.3675	-80.2194
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	16.4523	18.5870	-	-	-6.4327	-0.8513	7.3460	12.6810	1.0330	48.8154
Saobraćaj	-	0.1144	-	-	-0.0790	0.1240	0.3750	29.4743	-	30.0087
Građevinarstvo	0.1523	-	-	-	-	-0.0550	0.1880	0.1919	-	0.4772
Domaćinstva	4.2660	1.5840	-	-	-3.0005	7.3254	11.9490	0.5369	5.9050	28.5658
Poljoprivreda	0.0030	0.9840	-	-	-0.1853	-0.2570	0.0750	0.3567	-	0.9764
Ostali potrošači	0.5840	1.8580	-	-	-0.6864	1.1880	5.7120	0.5140	2.0280	11.1976
Sopstvena potrošnja u energetsom sektoru	-	-	-	-	-	-	2.4207	0.4013	-	2.8220
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	-	-	-	-	-	-	-	-0.0420	-	-0.0420
Finalna potrošnja energije	21.4576	23.1274	-	-	-10.3839	7.4741	28.0657	44.1142	8.9660	122.8210
Neispunjeni zahtevi za energijom	-25.6492	-18.6706	-73.0493	-0.0000	-63.0827	-9.2595	0.0000	12.1003	0.0000	-177.6109

Izvor: Analiza autora

Tabela A8.37: Tabela Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – pun OIE)

Republika Srbija: Poređenje za 2050. godinu (1000 TJ)	Čvrsta goriva <i>Solid Fuels</i>	Prirodni gas <i>Natural Gas</i>	Sirova nafta <i>Crude Oil</i>	Hydroenergija <i>Hydropower</i>	OIE <i>Renewables</i>	Biomasa <i>Biomass</i>	EE <i>Electricity</i>	Derivati nafte <i>Oil Products</i>	TE <i>Heat</i>	Ukupno <i>Total</i>
Primarna proizvodnja energije	194.7845	-	28.9009	-18.5637	-67.6381	-23.0785	-	-	-	114.4051
Uvoz	25.3676	109.6604	153.7200	-	-	-2.9055	-22.1337	-38.4275	5.3271	230.6085
Izvoz	26.3296	-	14.0757	0.0700	0.5667	1.0335	126.6221	-26.9896	0.0000	141.7081
Saldo zaliha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ukupno snabdevanje energijom	246.4818	109.6604	196.6966	-18.4937	-67.0714	-24.9504	104.4884	-65.4171	5.3271	486.7217
Drvena goriva	-	-	-	-	-	0.0017	-	-	-	0.0017
Rafinerije i petrohemija	-	-	-123.7193	-	-	-	-	122.3451	-	-1.3742
Proizvodnja toplotne energije	-3.8915	-14.6439	-	-	-	7.9767	-	-5.6003	8.6569	-7.5022
Proizvodnja nafte i derivata nafte	-	-	0.0719	-	-	-	-	-0.0719	-	0.0000
Proizvodnja električne energije	-181.2126	-3.3029	-	18.4937	79.2773	36.3923	-54.7212	-	-	-105.0733
Prenos i distribucija	-	-2.5415	-	-	-	-	-12.7263	-	-	-15.2678
Visoke peći i prerada uglja	-4.0131	-	-	-	-	-	-	-	-	-4.0131
Proizvodnja biogoriva	-	-	-	-	-	5.4257	-	-	-	5.4257
Energija raspoloživa transformacijom	-189.1172	-20.4884	-123.6473	18.4937	79.2773	49.7964	-67.4474	116.6729	8.6569	-127.8032
Statistička razlika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrija	27.0330	24.3350	-	-	-8.1000	-1.8862	10.0890	16.9210	3.6010	71.9928
Saobraćaj	-	0.1384	-	-	-2.8420	0.1090	0.6110	39.3754	-	37.3918
Građevinarstvo	0.3650	-	-	-	-	-0.2470	0.2820	0.4355	-	0.8355
Domaćinstva	6.2580	3.2210	-	-	-4.0040	13.5050	16.6060	0.8325	8.0260	44.4445
Poljoprivreda	0.0030	1.9470	-	-	-0.1434	-0.3570	0.1010	0.5000	-	2.0506
Ostali potrošači	0.2710	2.4350	-	-	-1.3377	1.4000	5.7210	0.3310	2.3570	11.1773
Sopstvena potrošnja u energetskom sektoru	-	-	-	-	-	-	3.6310	0.6020	-	4.2330
Finalna potrošnja za neenergetske svrhe	-	-	-	-	-	-	-	-0.0420	-	-0.0420
Finalna potrošnja energije	33.9300	32.0764	-	-	-16.4271	12.5238	37.0410	58.9554	13.9840	172.0836
Neispunjeni zahtevi za energijom	-23.4345	-57.0956	-73.0493	-0.0000	-28.6330	-12.3221	0.0000	7.6997	-0.0000	-186.8349

Izvor: Analiza autora

SPISAK TABELA

Tabela 2.1: Uporedan prikaz svojstava energije i eksergije.....	30
Tabela 3.1: Vrste ograničenja za modeliranje tržišta zasnovanog na „čistoj“ energiji.....	33
Tabela 3.2: Pregled najčešće korišćenih metodologija u predviđanju potražnje za energijom	36
Tabela 3.3: Primeri modela energetske planiranja – osnovne karakteristike	41
Tabela 3.4: Vrste povezivanja hibridnih energetskih modela.....	49
Tabela 4.1: Mogućnost primene programa OSeMOSYS i NEMO prema području delovanja	62
Tabela 4.2: Primeri mera smanjenja GHG gasova energetske sektora uključenih u scenarije.....	69
Tabela 5.1: Nadležnosti i obaveze energetskih subjekata u Republici Srbiji	77
Tabela 5.2: Ukupni raspoloživi tehnički potencijal obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji ..	79
Tabela 5.3: Uzorak registrovanih povlašćenih proizvođača energije po vrsti i instalisanoj snazi.....	83
Tabela 5.4: Pregled iznosa otkupnih cena za povlašćene proizvođače energije za 2013. godinu	84
Tabela 5.5: Osnovni indikatori LEAP modela.....	88
Tabela 5.6: Ključne ekonomske i demografske pretpostavke alternativnih scenarija	90
Tabela 5.7: Podešavanje parametara – pravila otpremanja energije za proizvodnju energije transformacijom	92
Tabela 5.8: Validacija modela – poređenje istorijskih podataka sa podacima modela.....	94
Tabela 5.9: Validacija poređenjem rezultata modela i podataka iz UNFCCC izveštaja za projekciju emisije GHG gasova za 2025. i 2030. godinu.....	96
Tabela 6.1: Finalna potrošnja energije za energetske i neenergetske svrhe za period od 2025. do 2050. godine – svi scenariji.....	98
Tabela 6.2: Razlika u finalnoj potrošnji energije po sektorima potrošnje 2050. godine u odnosu na baznu 2011. godinu	99
Tabela 6.3: Proizvodnja energije transformacijom REF scenario	115
Tabela 6.4: Proizvodnja energije transformacijom SCEE scenario	116
Tabela 6.5: Proizvodnja energije transformacijom – SCOIE1 scenario	117
Tabela 6.6: Proizvodnja energije transformacijom SCOIE2 scenario: pun kapacitet OIE	123
Tabela 6.7: Proizvodnja energije transformacijom SCOIE2 scenario: proporcionalan kapacitet OIE	124
Tabela 6.8: Poređenje primarne proizvodnje energije i neispunjenja zahteva za energijom	125
Tabela 6.9: Projekcija kumulativnih koristi od uvoza i izvoza energije Republike Srbije za vremenski period do 2050. godine.....	125
Tabela 6.10: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – svi oblici energije...	126
Tabela 6.11: Projekcija neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji svi oblici energije.	130
Tabela 6.12: Projekcija neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji svi oblici energije.	132
Tabela 6.13: Nivo emisije svih GHG gasova iz sektora energetike za četiri predložena scenarija .	134
Tabela 6.14: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija ugljen dioksida iz finalne potrošnje energije	136
Tabela 6.15: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije u vetroelektranama u Republici Srbiji – poređenje SCOIE1 i SCOIE2 scenarija	137
Tabela 6.16: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije od solarnih elektrana u Republici Srbiji	138
Tabela 6.17: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije iz geotermalne energije u Republici Srbiji	139
Tabela 6.18: Ulazni podaci za kalkulaciju eksternih troškova iz sektora energetike	141
Tabela 6.19: Projekcija kumulativnih ukupnih troškova ekoloških eksternalija sektora energetike Republike Srbije za period 2011-2050.....	143
Tabela 6.20: Projekcija društvenih troškova po sektoru potrošnje energije u Republici Srbiji.....	143
Tabela 6.21: Projekcija društvenih troškova od ekoloških eksternalija u Republici Srbiji	145

Tabela 6.22: Projekcija kretanja kapitalnih troškova uzorkovanih elektrana iz oblasti OIE za Republiku Srbiju (evra/ten/godišnje) – SCOIE2 scenario	147
Tabela 6.23: Projekcija kretanja varijabilnih troškova elektrana iz oblasti OIE za Republiku Srbiju – SCOIE2 scenario.....	147
Tabela 6.24: Projekcija investicija u okviru sektora energetike Republike Srbije za period od 2020. do 2050. godine (diskontna stopa 7,4% za 2020. godinu)	148
Tabela 6.25: Projekcija investicija u okviru sektora energetike Republike Srbije za period od 2020. do 2050. godine (diskontna stopa 4% za 2020. godinu)	148
Tabela 6.26: Projekcija dinamike kretanja fiksnih operativnih troškova elektrana za proizvodnju energije transformacijom u Republici Srbiji (diskontna stopa 7,4%, 2011. godina).....	150
Tabela 6.27: Projekcija dinamike kretanja varijabilnih troškova elektrana za proizvodnju energije transformacijom u Republici Srbiji (diskontna stopa 7,4%, 2011. godina).....	150
Tabela 6.28: Procena ukupne neto sadašnje vrednosti scenarija i ukupne emisije GHG gasova od 2011. do 2050. godine - diskontna stopa 7,4% za 2011. godinu	151
Tabela 6.29: Procena ukupne neto sadašnje vrednosti scenarija i ukupne emisije GHG gasova od 2020. do 2050. godine - diskontna stopa 7,4% za 2020. godinu	152
Tabela 6.30: Projekcija kumulativnih ukupnih troškova za proizvodnju električne energije transformacijom u Republici Srbiji za period do 2050. godine	153
Tabela 6.31: Izveštaj dekompozicije za energetski sektor Republike Srbije primenom IPAT/Kaya identiteta – SCOIE2 scenario	156
Tabela 6.32: Izveštaj dekompozicije za energetski sektor Republike Srbije primenom IPAT/Kaya identiteta – SCOIE1 scenario	157
Tabela A1.1: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2025. godinu – svi scenariji	193
Tabela A1.2: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2030. godinu – svi scenariji	194
Tabela A1.3: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2035. godinu – svi scenariji	194
Tabela A1.4: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2040. godinu – svi scenariji	195
Tabela A1.5: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2045. godinu – svi scenariji	196
Tabela A1.6: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2050. godinu – svi scenariji	196
Tabela A1.7: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2025. godinu po sektorima potrošnje.....	197
Tabela A1.8: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2030. godinu po sektorima potrošnje.....	197
Tabela A1.9: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2035. godinu po sektorima	198
Tabela A1.10: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2040. godinu po sektorima	198
Tabela A1.11: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2045. godinu po sektorima	198
Tabela A1.12: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2050. godinu po sektorima	198
Tabela A3.1: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – sirova nafta.....	211
Tabela A3.2: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – ugalj.....	211
Tabela A3.3: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – biomasa	212
Tabela A3.4: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – prirodni gas	213
Tabela A3.5: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji – hidroenergija	213
Tabela A3.6: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2030. godinu	216

Tabela A3.7: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2035. godinu	216
Tabela A3.8: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2040. godinu	217
Tabela A3.9: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2045. godinu	217
Tabela A3.10: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2050. godinu	218
Tabela A4.1: Projekcija neispunjenih zahteva za vetroenergijom u Republici Srbiji	221
Tabela A4.2: Projekcija neispunjenih zahteva za vetroenergijom u Republici Srbiji	222
Tabela A5.1: Potencijal globalnog zagrevanja iz sektora energetike Republike Srbije – dvadesetogodišnji direktni GWP	224
Tabela A5.2: Potencijal globalnog zagrevanja iz sektora energetike Republike Srbije – stogodišnji direktni GWP	224
Tabela A5.3: Potencijal globalnog zagrevanja iz sektora energetike Republike Srbije – petstogodišnji direktni GWP	225
Tabela A5.4: Sažet izveštaj – Projekcija GWP i finalne potrošnje energije za REF scenario.....	226
Tabela A5.5: Sažet izveštaj – Projekcija GWP i finalne potrošnje energije za SCEE scenario	226
Tabela A5.6: Sažet izveštaj – Projekcija GWP i finalne potrošnje energije za SCOIE1 scenario ..	226
Tabela A5.7: Sažet izveštaj – Projekcija GWP i finalne potrošnje energije za SCOIE2 scenario ..	226
Tabela A5.8: Projekcija zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija ugljen dioksida iz toplotne energije	229
Tabela A5.9: Projekcija zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija ugljen dioksida iz proizvodnje energije transformacijom	229
Tabela A5.10: Projekcija zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija metana	230
Tabela A5.11: Projekcija zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija ugljen monoksida iz finalne potrošnje energije	231
Tabela A5.12: Projekcija zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Emisija azot-suboksida.....	231
Tabela A5.13: Projekcija zagađenja životne sredine od uglja lignita u Republici Srbiji – Emisija svih GHG gasova	232
Tabela A5.14: Projekcija zagađenja životne sredine od sub-bitumenoznog uglja u Republici Srbiji – Emisija svih GHG gasova	233
Tabela A5.15: Projekcija zagađenja životne sredine od bitumenoznog uglja u Republici Srbiji – Emisija svih GHG gasova	233
Tabela A5.16: Projekcija zagađenja životne sredine od uglja (ostale vrste) u Republici Srbiji – Emisija svih GHG gasova	234
Tabela A5.17: Projekcija zagađenja životne sredine od sirove nafte u Republici Srbiji – Emisija svih GHG gasova	235
Tabela A5.18: Projekcija zagađenja životne sredine od tečnog naftnog gasa u Republici Srbiji – Emisija svih GHG gasova	235
Tabela A5.19: Projekcija zagađenja životne sredine od bezolovnog i olovnog benzina u Republici Srbiji – Emisija svih GHG gasova	236
Tabela A5.20: Projekcija opterećenja eko-sistema Republike Srbije zagađivačima iz izdvojenih kategorija sektora energetike (eng. Pollutant loading) – REF scenario	238
Tabela A5.21: Projekcija opterećenja eko-sistema Republike Srbije zagađivačima iz izdvojenih kategorija sektora energetike – SCEE scenario	239
Tabela A5.22: Projekcija opterećenja eko-sistema Republike Srbije zagađivačima iz izdvojenih kategorija sektora energetike – SCOIE1 scenario	239
Tabela A5.23: Projekcija opterećenja eko-sistema Republike Srbije zagađivačima iz izdvojenih kategorija sektora energetike – SCOIE2 scenario	239
Tabela A6.1: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije u hidroelektranama u Republici Srbiji	240
Tabela A6.2: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije eksploatacijom uglja lignita u Republici Srbiji	241

Tabela A6.3: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije eksploatacijom sub-bitumenoznog uglja u Republici Srbiji	241
Tabela A6.4: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje električne energije eksploatacijom bitumenoznog uglja u Republici Srbiji	242
Tabela A6.5: Projekcija prosečne godišnje proizvodnje energije iz biomase u Republici Srbiji	243
Tabela A8.1: Podkategorije u energetsom bilansu za proizvodnju energije transformacijom	245
Tabela A8.2: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2025. godinu (Referentni scenario)	246
Tabela A8.3: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (Referentni scenario)	247
Tabela A8.4: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2035. godinu (Referentni scenario)	248
Tabela A8.5: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (Referentni scenario)	249
Tabela A8.6: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2045. godinu (Referentni scenario)	250
Tabela A8.7: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (Referentni scenario)	251
Tabela A8.8: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2025. godinu (SCEE scenario)	252
Tabela A8.9: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (SCEE scenario)	253
Tabela A8.10: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2035. godinu (SCEE scenario)	254
Tabela A8.11: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (SCEE scenario)	255
Tabela A8.12: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2045. godinu (SCEE scenario)	256
Tabela A8.13: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (SCEE scenario)	257
Tabela A8.14: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2025. godinu (SCOIE1 scenario)	258
Tabela A8.15: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (SCOIE1 scenario)	259
Tabela A8.16: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2035. godinu (SCOIE1 scenario)	260
Tabela A8.17: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (SCOIE1 scenario)	261
Tabela A8.18: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2045. godinu (SCOIE1 scenario)	262
Tabela A8.19: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (SCOIE1 scenario)	263
Tabela A8.20: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2025. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE).....	264
Tabela A8.21: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE).....	265
Tabela A8.22: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2035. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE).....	266
Tabela A8.23: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE).....	267
Tabela A8.24: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2045. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE).....	268
Tabela A8.25: Projekcije energetskeg bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (SCOIE2 scenario – pun kapacitet korišćenja OIE).....	269

Tabela A8.26: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2025. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE).....	270
Tabela A8.27: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE).....	271
Tabela A8.28: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2035. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE).....	272
Tabela A8.29: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE).....	273
Tabela A8.30: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2045. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE).....	274
Tabela A8.31: Projekcije energetskog bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (SCOIE2 scenario – proporcionalan kapacitet korišćenja OIE).....	275
Tabela A8.32: Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – proporcionalan OIE)	276
Tabela A8.33: Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – proporcionalan OIE)	277
Tabela A8.34: Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – proporcionalan OIE)	278
Tabela A8.35: Tabela Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2030. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – pun OIE).....	279
Tabela A8.36: Tabela Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2040. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – pun OIE).....	280
Tabela A8.37: Tabela Poređenje projekcija energetskog bilansa Republike Srbije za 2050. godinu (REF u odnosu na SCOIE2 scenario – pun OIE).....	281

SPISAK SLIKA

Slika 3.1 Osnovna podela energetskih modela	40
Slika 3.2: Pojednostavljeni prikaz razlika između procesa LEAP i MARKAL energetskih modela	46
Slika 3.3: Koncepti energetske efikasnosti	48
Slika 4.1: Informacije o sistemu LEAP modela i potvrda o licenci za korišćenje.....	54
Slika 4.2: Pojednostavljena struktura LEAP kalkulacije	56
Slika 4.3: Prikaz postavke godišnjeg faktora korisnosti kapaciteta OIE u modelu LEAP	58
Slika 4.4: Prikaz jednog odeljka TED baze podataka u okviru modela LEAP.....	60
Slika 4.5: Proces proračuna troškova u modelu LEAP	64
Slika 4.6: Postavka modela LEAP za održivu mobilnost u saobraćaju	72
Slika 5.1: Pregled postupka prikupljanja podataka za LEAP model	81
Slika 5.2: Sažet prikaz funkcija za ispunjenje energetskih zahteva u LEAP modelu SCOIE2 scenario (opcija „proporcionalan kapacitet OIE“)	93
Slika 5.3: Sažet prikaz funkcija za ispunjenje energetskih zahteva SCOIE2 scenario (opcija „pun kapacitet OIE“)	93
Slika 5.4: Snimak LEAP modela – finalna potrošnja energije u 2011. godini	95
Slika 6.1: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije (Poređenje SCOIE2 i REF scenarija – od 2030. godine, na svakih pet godina scenarija).....	102
Slika 6.2: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije (Poređenje SCOIE1 i REF scenarija – od 2030. godine, na svakih pet godina scenarija)	104
Slika 6.3: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije (Poređenje SCEE i REF scenarija – od 2030. godine, za svakih pet godina scenarija)	105
Slika 6.4: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2050. godinu	106

Slika 6.5: Sankijev dijagram za REF scenario energetskog sektora Republike Srbije za 2050. godinu	108
Slika 6.6: Sankijev dijagram za SCEE scenario energetskog sektora Republike Srbije za 2050. godinu	109
Slika 6.7: Sankijev dijagram za SCOIE1 scenario energetskog sektora Republike Srbije za 2050. godinu.....	110
Slika 6.8: Sankijev dijagram za SCOIE2 scenario energetskog sektora Republike Srbije za 2050. godinu.....	111
Slika 6.9: Šematski prikaz standardnog procesa proizvodnje energije transformacijom u LEAP modelu.....	112
Slika 6.10: Prikaz dela kategorije proizvodnje energije transformacijom – LEAP model	113
Slika 6.11: Uporedni prikaz projekcije proizvodnje energije transformacijom za svakih pet godina simulacije Scenariji: REF u odnosu na SCOIE1 (gornji prikaz), REF u odnosu na SCOIE2 (donji prikaz)	119
Slika 6.12: Projekcija proizvodnje energije transformacijom od 2025. do 2050. godine SCOIE2 scenario (pun kapacitet OIE).....	121
Slika 6.13: Projekcija proizvodnje energije transformacijom od 2025. do 2050. godine SCOIE2 scenario (proporcionalan kapacitet OIE)	122
Slika 6.14: Pregled izvora utroška za proizvodnju energije 2030. godine.....	127
Slika 6.15: Pregled izvora utroška za proizvodnju energije 2050. godine.....	128
Slika 6.16: Procena kretanja neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji do 2050. godine	130
Slika 6.17: Projekcija kretanja neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji do 2050. godine – SCOIE2 pun kapacitet.....	132
Slika 6.18: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije Emisija svih GHG gasova	135
Slika 6.19: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije	135
Slika 6.20: Projekcija proizvodnje primarne energije u Republici Srbiji od 2025. do 2050. godine	140
Slika 6.21: Prikaz kreiranog modela – deo podataka o eksternim troškovima sektora energetike..	142
Slika A1.1: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2025. godinu	199
Slika A1.2: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2030. godinu	199
Slika A1.3: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2035. godinu	200
Slika A1.4: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2040. godinu	200
Slika A1.5: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2045. godinu	201
Slika A1.6: Projekcija finalne potrošnje energije po sektoru potrošnje za 2050. godinu	201
Slika A1.7: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije (REF scenario – bazna i poslednja godina scenarija).....	202
Slika A1.8: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije (SCEE scenario – bazna i poslednja godina scenarija)	202
Slika A1.9: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije (SCOIE1 scenario – bazna i poslednja godina scenarija).....	203
Slika A1.10: Projekcija finalne potrošnje energije po oblicima energije (SCOIE2 scenario – bazna i poslednja godina scenarija).....	203
Slika A1.11: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2025. godinu	204
Slika A1.12: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2030. godinu	204
Slika A1.13: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2035. godinu	205
Slika A1.14: Projekcija finalne potrošnje energije u Republici Srbiji za 2040. godinu	205
Slika A1.15: Projekcija finalne potrošnje sub-bitumenoznog uglja, mrkog uglja i lignita u Republici Srbiji za 2050. godinu	206
Slika A1.16: Projekcija finalne potrošnje prirodnog gasa u Republici Srbiji za 2050. godinu	206

Slika A1.17: Projekcija finalne potrošnje naftnih derivata u Republici Srbiji za 2050. godinu	207
Slika A1.18: Projekcija finalne potrošnje vetroenergije u Republici Srbiji za 2050. godinu	207
Slika A2.1: Projekcija proizvodnje energije transformacijom od 2025. do 2050. godinu za REF scenario	208
Slika A2.2: Projekcija proizvodnje energije transformacijom od 2025. do 2050. godinu za SCEE scenario	208
Slika A2.3: Projekcija proizvodnje energije transformacijom od 2025. do 2050. godinu za SCOIE1 scenario	209
Slika A2.4: Projekcija procentualne promene za svakih pet godina proizvodnje energije transformacijom – poređenje REF i SCEE scenarija	209
Slika A2.5: Projekcija proizvodnje energije transformacijom –svi scenariji (SCOIE2 – pun kapacitet)	210
Slika A2.6: Projekcija proizvodnje energije transformacijom –svi scenariji (SCOIE2 – proporcionalan kapacitet).....	210
Slika A3.1: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2035. godinu.....	214
Slika A3.2: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2040. godinu.....	215
Slika A3.3: Projekcija utroška za proizvodnju energije u Republici Srbiji za 2045. godinu.....	215
Slika A4.1: Sažet prikaz zadatih funkcija za ispunjenje energetske potrebe - SCOIE2 scenario (opcija proporcionalan kapacitet – 1. prikaz).....	219
Slika A4.2: Sažet prikaz zadatih funkcija za ispunjenje energetske potrebe - SCOIE2 scenario (opcija proporcionalan kapacitet – 2. prikaz).....	219
Slika A4.3: Sažet prikaz funkcija za pravilo otpremanja energije - SCOIE2 scenario (opcija proporcionalan kapacitet – 1. prikaz).....	220
Slika A4.4: Sažet prikaz funkcija za pravilo otpremanja energije - SCOIE2 scenario (opcija proporcionalan kapacitet – 2. prikaz).....	220
Slika A4.5: Projekcija kretanja neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji – razlika u odnosu na SCOIE2 scenario	221
Slika A4.6: Projekcija kretanja neispunjenih zahteva za energijom u Republici Srbiji	222
Slika A4.7: Sažet prikaz zadatih funkcija za pravilo otpremanja oblika energije - SCOIE2 scenario (opcija pun kapacitet).....	223
Slika A5.1: Prikaz kretanja potencijala globalnog zagrevanja iz sektora energetike Republike Srbije – petstogodišnji direktni GWP	225
Slika A5.2: Projekcija kretanja zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije – Stogodišnji GWP – REF scenario	227
Slika A5.3: Projekcija kretanja zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije Stogodišnji GWP – SCEE scenario	227
Slika A5.4: Projekcija kretanja zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije Stogodišnji GWP – SCOIE1 scenario.....	228
Slika A5.5: Projekcija kretanja zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije Stogodišnji GWP – SCOIE2 scenario.....	228
Slika A5.6: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije	237
Slika A5.7: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije Emisija svih GHG gasova od upotrebe uglja lignita.....	237
Slika A5.8: Projekcija potencijala zagađenja životne sredine iz sektora energetike Republike Srbije Emisija svih GHG gasova od upotrebe sirove nafte	238
Slika A7.1: Analiza troškova i koristi sektora potrošnje energije u Republici Srbiji za period 2011-2050. godine (kumulativno).....	244
Slika A7.2: Analiza troškova i koristi sektora potrošnje energije u Republici Srbiji za period 2020-2050. godine (kumulativno).....	244

BIOGRAFIJA AUTORA

Nemanja Backović je rođen 08.01.1989. godine u Beogradu. Osnovnu školu „Drinka Pavlović“ i „Treću beogradsku“ gimnaziju završio je sa odličnim uspehom. Osnovne akademske studije na studijskom modulu „Međunarodna ekonomija i spoljna trgovina“ (podmodul „Međunarodne finansije“) Ekonomskog fakulteta Univerziteta u Beogradu završio je 2012. godine sa prosečnom ocenom 9,22. Iste godine upisao je master akademske studije na smeru „Ekonomska politika i razvoj“, koje je završio sa prosečnom ocenom 9,78, odbranivši master rad „Analiza efikasnosti ulaganja u obnovljive izvore energije“. Doktorske studije na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Beogradu upisao je 2014. godine. Na studijskom programu „Ekonomija“ položio je sve ispite i ostvario je prosečnu ocenu 10,00.

Tokom 2010. i 2011. godine bio je stipendista poslovnog kluba „Privrednik“. Dobitnik je stipendije fondacije „The Ryoichi Sasakawa Young Leaders Fellowship Fund“, kao i stipendije organizacije „International Association for Energy Economics“.

U toku 2008. godine boravio je na stručnom usavršavanju na „Wirtschaft Universität“ (smer „Internationale Betriebswirtschaft“) u Beču, Austriji. Tokom 2016. godine vodio je istraživački projekat pod nazivom „Development and integration of renewable energy sources: Progress and lessons learned from the state of California“ kao gostujući istraživač na Univerzitetu u Kaliforniji. Autor je i ko-autor dvadeset i pet naučnih radova. Član je organizacije „International Association for Energy Economics“. Ima odlično znanje engleskog, nemačkog i francuskog jezika.

Godine 2013. izabran je za saradnika u nastavi na Fakultetu organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu, za užu naučnu oblast „Poslovna ekonomija i makroekonomija“. Angažovan je na predmetima „Ekonomika poslovanja i planiranje“, „Upravljanje troškovima“, „Međunarodni menadžment“ i „Preduzetnički biznis“ na osnovnim akademskim studijama. Godine 2015. izabran je za asistenta za navedenu naučnu oblast. Prilikom evaluacije od strane studenata, njegov pedagoški rad ocenjen je visokim ocenama.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Немања Бацковић
број индекса 3008/2014

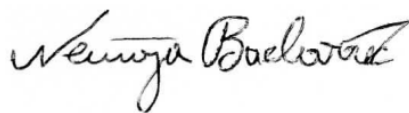
Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Енергетска ефикасност и механизми подршке за обновљиве изворе енергије

- 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, 15.12.2022.

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Немања Бацковић

Број индекса 3008/2014

Студијски програм Економија

Наслов рада Енергетска ефикасност и механизми подршке за обновљиве изворе енергије

Ментор Проф. др Миомир Јакшић

Потписани/а Немања Бацковић

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, 15.12.2022.

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

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

Енергетска ефикасност и механизми подршке за обновљиве изворе енергије

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

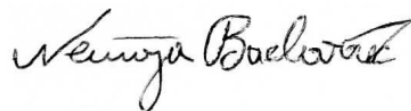
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

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, 15.12.2022.