

Utjecaj uvođenja obnovljivih izvora energije na održivi razvoj energetskeg sustava Republike Hrvatske

Hustić, Andreja

Doctoral thesis / Disertacija

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Tourism and Hospitality Management / Sveučilište u Rijeci, Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:191:542615>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Tourism and Hospitality Management - Repository of students works of the Faculty of Tourism and Hospitality Management](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
FAKULTET ZA MENADŽMENT U TURIZMU I
UGOSTITELJSTVU

Andreja Hustić

**UTJECAJ UVOĐENJA OBNOVLJIVIH
IZVORA ENERGIJE NA ODRŽIVI
RAZVOJ ENERGETSKOG SUSTAVA
REPUBLIKE HRVATSKE**

DOKTORSKI RAD

Rijeka, 2024.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
FAKULTET ZA MENADŽMENT U TURIZMU I
UGOSTITELJSTVU

Andreja Hustić

**UTJECAJ UVOĐENJA OBNOVLJIVIH
IZVORA ENERGIJE NA ODRŽIVI
RAZVOJ ENERGETSKOG SUSTAVA
REPUBLIKE HRVATSKE**

DOKTORSKI RAD

Mentorica:

Prof. dr.sc. Marinela Krstinić Nižić,
Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu

Opatija, 2024.

UNIVERSITY OF RIJEKA
FACULTY OF TOURISM AND HOSPITALITY
MANAGEMENT

Andreja Hustić

**INFLUENCE OF IMPLEMENTATION OF
RENEWABLE ENERGY SOURCES ON
SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF
ENERGETIC SYSTEM OF THE
REPUBLIC OF CROATIA**

DOCTORAL THESIS

Opatija, 2024.

Mentorica rada: prof. dr. sc. Marinela Krstinić Nižić, Fakultet za
menadžment u turizmu i ugostiteljstvu, Opatija

Doktorski rad obranjen je dana 28.10.2024. godine, na Fakultetu za
menadžment u turizmu i ugostiteljstvu u Opatiji, pred povjerenstvom u
sustavu:

1. Prof. dr. sc. Zvonimira Šverko Grdić predsjednica, Fakultet za
menadžment u turizmu i ugostiteljstvu Opatija
2. Prof. dr. sc. Nela Vlahinić, Ekonomski fakultet Rijeka
3. Prof. dr. sc. Tea Golja, Fakultet ekonomije i turizma “Dr. Mijo Mirković”
Pula

ZAHVALA

Ovim putem želim zahvaliti dragim prijateljima, kolegama, roditeljima, Omi, i posebno svom životnom partneru, a koji su mi svesrdno pomogli u doseganju još jedne stepenice obrazovnog izazova.

Svoje zahvale upućujem i mentorici prof. dr. sc. Marineli Krstinić Nižić koja mi je nesebično pomogla i usmjeravala me svojim stručnim savjetima u izradi doktorskog rada.

SAŽETAK

Doktorski rad istražuje problematiku energetskeg sustava s fokusom na elektroenergetski sustav i tržište električne energije u Republici Hrvatskoj, sagledavajući mogućnosti ekonomske isplativosti proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije, u cilju postizanja energetske neovisnosti i veće održivosti. Svrha istraživanja je dati uvid u stanje elektroenergetskog sustava i potencijal obnovljivih izvora energije u održivoj proizvodnji električne energije. Temeljni cilj istraživanja odnosi se na moguće projekcije ekonomske isplativosti i konkurentnosti obnovljivih izvora energije na hrvatskom tržištu električne energije.

Obnovljivi izvori energije predstavljaju važnu komponentu suvremenih elektroenergetskih sustava usmjerenih prema zelenoj tranziciji i održivom razvoju elektroenergetskog sustava u Republici Hrvatskoj. Optimalni model uvođenja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj simuliran je putem modela PLEXOS, postavljanjem scenarija ekonomske isplativosti i konkurentnosti modela sa šest elektrana (tri vjetroelektrane i tri sunčane elektrane) i četiri scenarija s cijenama formiranim na CROPEX DA (dan unaprijed tržištu) i vršnim opterećenjem u 2019. godini te s prognozom za razdoblje od 2022. do 2047. godine. Rezultati istraživanja dokazuju isplativost vjetroelektrana i sunčanih elektrana, u scenariju “s povećanjem osnovne cijene za 6 % godišnje”, već u prvoj godini puštanja u rad elektrane. Rezultati istraživanja također dokazuju da proizvodnja električne energije iz vjetroelektrana i sunčanih elektrana instalirane snage 10 MW nije ekonomski isplativa bez državnih potpora, uz cijene koje su formirane na tržištu (izuzev cijena u ekstremnim uvjetima kao što je energetska kriza), i uz visoke ulazne investicijske troškove izgradnje elektrana na obnovljive izvore energije (sunčana energija i energija vjetra). Uz minimalni predviđeni rast cijena u simulacijskom modelu (6 % godišnje u odnosu na cijene iz 2019. godine formirane na CROPEX DA) može se očekivati brža izgradnja novih elektrana na obnovljive izvore energije na području Republike Hrvatske.

Znanstveni doprinos rada očituje se u prihvaćanju postavljenih znanstvenih hipoteza čime se dokazalo da uvođenje obnovljivih izvora energije utječe na održivi razvoj elektroenergetskog sustava i povećava elektroenergetsku neovisnost Republike Hrvatske.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije; energetske sustav; ekonomska isplativost sunčanih i vjetroelektrana; Plexos model; održivi razvoj

SUMMARY

The doctoral thesis analyses the issue of the energy system with a focus on the electric power system and the electricity market in the Republic of Croatia, looking at the possibilities of economic cost effectiveness of electricity production from renewable energy sources in order to achieve energy independence and greater sustainability. The purpose of the research is to provide an insight into the state of the electric power system and the potential of renewable energy sources in sustainable electricity production. The main goal of the research relates to possible projections of the economic cost effectiveness and competitiveness of renewable energy sources on the Croatian electricity market. Renewable energy sources represent an important component of modern power systems directed at green transition and sustainable development of the power system in the Republic of Croatia. The optimal model for the introduction of renewable energy sources in the Republic of Croatia was simulated through the PLEXOS model, by setting the scenario of economic cost effectiveness and competitiveness of the model with six power plants (three wind power plants and three solar power plants), four scenarios with prices formed on CROPEX DA (day ahead market), peak load in 2019, and with a forecast for the period from 2022 to 2047. The results of the research demonstrate the cost effectiveness of wind power plants and solar power plants in the scenario "with an increase in the base price by 6 % per year" already in the first year of putting the power plant into operation. The research results also demonstrate that the production of electricity from wind power plants and solar power plants with an installed capacity of 10 MW is not economically cost effective without state subsidies at prices that are formed on the market (except for prices in extreme conditions such as the energy crisis) and with high initial investment costs for the construction of renewable energy sources power plants (solar energy and wind energy). With the minimal predicted price growth in the simulation model (6 % per year compared to the prices from 2019 formed on CROPEX DA), faster construction of new power plants on renewable energy sources in the territory of the Republic of Croatia can be expected. The scientific contribution of the work is manifested in the acceptance of the set scientific hypotheses, which proved that the introduction of renewable energy sources affects the sustainable development of the electric power system and increases the electric power independence of the Republic of Croatia.

Key words: renewable energy sources; energy system; economic cost effectiveness of solar and wind power plants; Plexos model; sustainable development

EXTENDED ABSTRACT

The doctoral thesis investigates the issue of the energy system with a focus on the electric power system and the electricity market in the Republic of Croatia, looking at the possibilities of economic profitability of electricity production from renewable energy sources in order to achieve energy independence and greater sustainability. The purpose of the research is to provide an insight into the state of the electric power system and the potential of renewable energy sources in the sustainable production of electricity. The main objective of the research relates to possible projections of the economic profitability and competitiveness of renewable energy sources on the Croatian electricity market.

The growing need for electricity in the Republic of Croatia, as well as in other countries of the world, calls for an answer to the question of how to make one's own electricity system sustainable. An alternative to fossil fuels, which produce harmful greenhouse gases when burned, can be seen in renewable energy sources. Reducing dependence on fossil fuel imports, reducing greenhouse gas emissions and sustainable development are the main goals in promoting greater use of renewable energy sources and high-efficiency cogeneration in the production of electricity in the Republic of Croatia. The development of technology for the use of renewable energy sources, together with the growth of fossil fuel prices, has further accelerated the need for the fastest possible implementation of renewable energy sources in the last few years, which is encouraged in all countries of the European Union, including in the Republic of Croatia, all in order to achieve the goals of zero greenhouse gas emissions. In the Energy Development Strategy of the Republic of Croatia until 2030 with a view to 2050, the Republic of Croatia has given strategic guidelines for energy development with the aim of building a sustainable energy system, i.e. a system that will ensure the security of energy supply and the competitiveness of the energy system with sustainable energy development, which implies an increase in the share renewable energy sources.

The basic scientific hypothesis was proposed in the doctoral thesis: H₀: The introduction of renewable energy sources and integration into international electricity markets are a necessary prerequisite for the sustainable development of the energy system. Proving the basic scientific hypothesis leads to the definition of the following auxiliary hypotheses:

H1: Initial investment costs prevent the efficient development of renewable sources of electricity.

H2: The existing mechanisms for encouraging renewable energy sources in the Republic of Croatia negatively affect the sustainability of the development of the energy sector as a whole.

H3: The increase in electricity prices at CROPEX has a positive effect on the economic profitability of renewable energy projects in the Republic of Croatia.

Renewable energy sources represent an important component of modern power systems aimed at green transition and sustainable development of the power system in the Republic of Croatia. The optimal model for the introduction of renewable energy sources in the Republic of Croatia was simulated using the PLEXOS model, by setting the scenario of economic profitability and competitiveness of the model with six power plants (three wind power plants and three solar power plants) and four scenarios with prices formed on CROPEX DA (one day ahead of the market) and peak load in 2019 and with a forecast for the period from 2022 to 2047.

The results of the research prove the profitability of wind power plants and solar power plants in the scenario "with an increase in the base price by 6% per year" already in the first year of putting the power plant into operation. The research results also prove that the production of electricity from wind power plants and solar power plants with an installed capacity of 10 MW is not economically profitable without state support at prices that are formed on the market (except for prices in extreme conditions such as the energy crisis) and with high initial investment costs for the construction of power plants to renewable energy sources (solar energy and wind energy). With the minimal predicted price growth in the simulation model (6% per year compared to 2019 prices formed on CROPEX DA), faster construction of new power plants based on renewable energy sources in the territory of the Republic of Croatia can be expected.

The simulation model also proved the auxiliary hypothesis H1 of the doctoral dissertation: *Initial investment costs prevent the efficient development of renewable sources of electricity*. The research showed that with the prices formed on the market (with the exception of prices in extreme conditions such as the energy crisis) and with high initial investment costs, the construction of power plants based on renewable energy sources (solar energy and wind energy) shows economic unprofitability without

government support. Along with the predicted increase in electricity prices, a faster growth in the number of power plants based on renewable energy sources in the territory of the Republic of Croatia can be expected, and thus the efficient development of renewable energy sources and an increase in the electricity independence of the Republic of Croatia.

The paper investigated the justification of the support system for the production of electricity from renewable sources. The Republic of Croatia introduced a system of incentives for renewable energy sources in order to encourage the development of renewable energy sources and increase their share in the energy balance. The reason for this is the fact that the price of electricity produced from renewable energy sources (with the exception of hydropower plants) is significantly higher than the average production price in conventional power plants, which discourages investors. By lowering input costs, construction subsidies and incentive prices enable new companies to compete with existing fossil fuel companies, driving market dynamics. The

Law on Renewable Energy Sources and High-Efficiency Cogeneration regulates operational support, i.e. payment of state support based on delivered electricity, but the support system essentially encourages the construction of new plants that will produce electricity from renewable energy sources. In the period until 2021, the amount of the incentive price was lower than the prices that formed on the market, thus giving investors business security. However, in 2022, due to the energy crisis, CROPEX prices will rise significantly and are higher than the incentive prices. In such circumstances, privileged customers who have fulfilled their obligations to HROTE and HERA leave the incentive system and participate in the electricity market. In the period from 2022, a decrease in the number of plants, installed capacity and production of electricity from renewable sources in the incentive system was recorded. The lower price of electricity compared to CROPEX led to disruptions in the electricity system and called its efficiency into question. The conducted analysis, however, did not confirm hypothesis H2: *The existing mechanisms for encouraging renewable energy sources in the Republic of Croatia negatively affect the sustainability of the development of the energy sector as a whole.* It is evident that the incentive system had a positive effect on the growth of renewable energy sources.

The simulation model also showed that the increase in electricity prices at CROPEX has a positive impact on the economic profitability of solar power and wind power projects. The solar power plant as well as the wind power plant are not economically profitable in the event that electricity prices remain at the level of the prices formed at CROPEX in 2019. The scenario "2019 +6% per year" showed that the economic profitability of power plants and their competitiveness increases with the increase in the price of electricity. Given that the price of electricity in 2022 was significantly higher compared to the base price observed in 2019, it can be assumed that the construction of solar and wind power plants will be economically profitable. This also proves the hypothesis H3: The increase in electricity prices at CROPEX has a positive effect on the economic profitability of renewable energy projects in the Republic of Croatia.

The scientific contribution of the work is manifested in the acceptance of the set scientific hypotheses, which proved that the introduction of renewable energy sources affects the sustainable development of the electric power system and increases the electric power independence of the Republic of Croatia, which is also the basic hypothesis of the doctoral thesis (H0).

Key words: renewable energy sources; energy system; economic profitability of solar and wind power plants; Plexos model; sustainable development

SADRŽAJ

Stranica

SAŽETAK	IV
SUMMARY	V
EXTENDED ABSTRACT	VI
1. UVOD	1
1.1. Problem i predmet istraživanja	1
1.2. Hipoteze istraživanja	5
1.3. Svrha i ciljevi istraživanja	6
1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja	7
1.5. Znanstvene metode istraživanja	13
1.6. Struktura rada	14
2. TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE EUROPSKE UNIJE I REPUBLIKE HRVATSKE	16
2.1. Teorijske odrednice električne energije	17
2.1.1. Karakteristike i značaj električne energije za stanovništvo i gospodarstvo	17
2.1.2. Načini proizvodnje električne energije	23
2.2. Upravljanje elektroenergetskim sustavima	34
2.2.1. Fizička i ekonomska svojstva elektroenergetskog sustava	35
2.2.2. Konvencionalni oblici organizacije i upravljanje elektroenergetskim sustavima.....	37
2.2.3. Deintegracija elektroenergetskog sustava.....	41
2.3. Razvojna obilježja tržišta električne energije	45
2.3.1. Tradicionalna struktura tržišta	46
2.3.2. Reformirano tržište	54
2.4. Karakteristike tržišta električne energije u Europskoj uniji	61
2.4.1. Regulatorni okvir tržišta električne energije u Europskoj uniji.....	61
2.4.2. Analiza dizajna tržišta električne energije u Europskoj uniji	65
2.5. Tržište električne energije u Republici Hrvatskoj	74
2.5.1. Zakonodavni i institucionalni okvir	74
2.5.2. Analiza tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj	79

3. RAZVOJ OBNOVLJIVIH IZVORA ELEKTRIČNE ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ I EUROPSKOJ UNIJI.....	98
3.1. Značaj obnovljivih izvora energije u održivom razvoju elektroenergetskog sustavu	98
3.2. Zakonske odredbe o obnovljivim izvorima energije u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj.....	100
3.3. Proizvodnja i potrošnja električne energije iz obnovljivih izvora u Europskoj uniji.....	103
3.4. Analiza tržišta obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj.....	117
3.4.1. Značajke tržišta obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj	117
3.4.2. Interkonekcija elektroenergetskog sustava	121
3.4.3. Utjecaj domaće komponente u projektima obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj	123
3.4.4. Opravdanost poticajnih mjera za obnovljive izvore energije	124
4. POSTAVLJANJE OPTIMALNOG MODELA UVOĐENJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ U FUNKCIJI ODRŽIVOSTI ENERGETSKOG SUSTAVA	129
4.1. Metodologija postavljanja modela.....	129
4.2. Karakteristike elektrana i definirani ulazni podatci za simulaciju modela u PLEXOS-u	130
4.2.1. Karakteristike elektrana	131
4.2.2. Profil proizvodnje električne energije u elektranama	132
4.2.3. Profil opterećenja sustava	136
4.2.4. Cijene električne energije	137
4.3. Ekonomska analiza isplativosti investiranja u vjetroelektrane i sunčane elektrane.....	143
4.3.1. Scenarij s cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine	143
4.3.2. Scenarij s cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine s porastom od 2%.....	149
4.3.3. Scenarij s cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine s porastom od 4 %.....	150
4.3.4. Scenarij s cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine s porastom od 6 %.....	155

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA.....	161
5.1. Teorijske i praktične implikacije rezultata.....	161
5.2. Ograničenja provedenog istraživanja	165
5.3. Preporuke za buduća istraživanja	165
LITERATURA	166
POPIS ILUSTRACIJA	188
PRILOZI	196

1. UVOD

1.1. Problem i predmet istraživanja

Električna energija je, od prvih dana svoje primjene, generator industrijskog i tehnološkog razvoja. Potrebe za električnom energijom rastu na globalnoj razini potaknute stupnjem i brzinom društveno-ekonomskog rasta. Osiguravanje dostatne količine električne energije nužno je za ekonomski rast, ali nije dovoljno za razvoj ako njezina proizvodnja ne uvažava održivost ekosustava i prirodnih resursa na kojima se ekonomija temelji.

Rast potrebe za električnom energijom velikom broju zemalja u svijetu, prvenstveno zemljama u razvoju, ostavlja kao jedinu mogućnost nastavak proizvodnje električne energije iz fosilnih goriva (ugljen, nafta, prirodni plin), posebice iz ugljena. Na globalnoj razini, ugljen sudjeluje u proizvodnji električne energije s visokim udjelom od 35,5 % u 2023. godini. (Statista Research Department 2023). Izgaranje fosilnih goriva, poput ugljena i prirodnog plina, u proizvodnji električne energije konvencionalnim elektranama, prometu i toplinskoj energiji najveći je izvor stakleničkih plinova (IEA 2024). Proizvodnja električne energije odgovorna je za oko 40 % antropogenih emisija ugljičnog dioksida povezanih s energijom (World Nuclear Association 2024). Štetni utjecaji emisija stakleničkih plinova na postojeće globalne klimatske promjene godinama potiču znanstvene (Myhrvold i Caldeira 2012; Guo i dr. 2021; Huangpeng i dr. 2021) i stručne rasprave (European Parliament 2023; World Nuclear Organization 2004) o potrebi žurnog i djelovanja svih zemalja svijeta s ciljem njihova smanjivanja. Zabrinutost zbog klimatskih promjena motivirala je uvođenje elektrana s niskim emisijama stakleničkih plinova, uključujući vjetroelektrane, sunčane fotonaponske, sunčane toplinske, hidroelektrane, elektrane za hvatanje i skladištenje ugljika, prirodni plin i druge energetske tehnologije s niskim emisijama stakleničkih plinova. Potrebno je istaknuti da sve tehnologije za proizvodnju električne energije emitiraju stakleničke plinove u nekom trenutku svog životnog ciklusa (Jakovac 2022; World Nuclear Organization 2024). No, emisije nuklearnih elektrana i elektrana na obnovljive izvore energije predstavljaju neizravne emisije (Nassar i dr. 2024). Primjerice, tijekom izgradnje elektrane, emisije iz fosilnih goriva prisutne su u svim fazama procesa proizvodnje električne energije.

Osim štetnih utjecaja proizvodnje električne energije na okoliš i zdravlje ljudi, rasprave se vode i oko održivosti fosilnih goriva. Neravnomjerna geografska raspodjela fosilnih goriva dovodi do energetske ovisnosti zemalja koje su siromašne tim resursima, što ih

prisiljava da se oslanjaju na dobavljače energenata ili o prekograničnu trgovinu električnom energijom, a što dovodi do stvaranja novih međunarodnih odnosa i prilika za suradnju, ali i sukoba te političke i gospodarske krize. Istraživanja o energetskej tranziciji pretpostavljaju da su obnovljivi izvori energije ravnomjernije raspoređeni od fosilnih goriva, pa bi prijelaz s fosilnih goriva na obnovljive izvore omogućio većem broju zemalja postizanje energetske samodostatnosti i okončanje ovisnosti o uvezenoj energiji (Overland i dr. 2022). To je ujedno razlog traženja odgovora na energetske izazove i za dizajniranje energetskeg sustava koji će zadovoljiti domaće potrebe, a što je u skladu s jednim od sedamnaest globalnih ciljeva održivog razvoja (engl. *Sustainable Development Goals*, skr. SDG): osigurati pristup pouzdanoj, održivoj i suvremenoj energiji po pristupačnim cijenama za sve, kako je navedeno u „Planu održivog razvoja do 2030. godine“ (United Nations 2023). Transformacija energetske strukture opći je trend suvremenog održivog razvoja (Olabi 2012, 2).

Europska unija je u sklopu energetskeg paketa “Čista energija za sve Europljane” (tzv. Zimski paket), u 2018. godini postavila cilj da će do 2030. godine povećati udio obnovljivih izvora energije u energetskej mješavini na “najmanje 32 %” (Direktiva 2018/2001/EU), a u 2023. godini podigla je taj cilj na 42,5 % (European Commission 2024). Povećanjem udjela obnovljivih izvora energije smanjila bi se ujedno potrošnja fosilnih goriva što bi dovelo i do smanjenja emisije stakleničkih plinova. Ovakav plan podrazumijeva značajna ulaganja u postrojenja za proizvodnju električne i toplinske energije, korištenjem obnovljivih izvora energije te dodatno povećana ulaganja u prijenosne i distributivne mreže kojima se električna i toplinska energija dovodi do krajnjih kupaca. Budući da je Republika Hrvatska 2013. godine postala punopravna članica Europske unije, obvezna je primjenjivati navedene ciljeve.

Republika Hrvatska je donijela „Strategiju energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu“ (2020) koji daje strateške smjernice energetskeg razvoja. Cilj je izgradnja održivog energetskeg sustava, odnosno sustava koji će osigurati sigurnost opskrbe energijom i konkurentnost energetskeg sustava uz održivi energetskei razvoj, što podrazumijeva povećanje udjela obnovljivih izvora energije. Integriranim nacionalnim energetskeim i klimatskeim planom za Republiku Hrvatsku (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2019) postavljen je cilj povećanja udjela obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji energije od 36,4 % na 42,5 %, a ažuriranjem Plana taj udio u bruto neposrednoj potrošnji električne energije trebao bi doseći 73,6 % (Ministarstvo zaštite

okoliša i energetike 2023). Vlastita opskrbljenost električnom energijom postavlja se kao jedan od glavnih ciljeva energetskeg razvoja. No, uključenje intermitentnih obnovljivih izvora energije u hrvatski elektroenergetski sustav, zahtijeva povećanje fleksibilnosti sustava na strani proizvodnje i na strani potrošnje te razvijanje tržišnih mehanizama koji će uvažavati troškove uravnoteženja sustava i zadovoljiti zahtjeve u dijelu sigurnosti opskrbe (Strategija energetskeg razvoja... 2020). Fleksibilnost se odnosi na sposobnost prilagodbe ponude i potražnje u ostvarenju energetske ravnoteže (Jakovac 2022). Potražnja za električnom energijom podložna je oscilacijama zbog varijacija dnevnih i sezonskih temperatura, promjena vremenskih uvjeta, skokova cijene električne energije i drugih čimbenika. S druge strane, ponudu električne energije karakteriziraju fluktuacije uslijed varijabilnog karaktera obnovljivih izvora energije, raspoloživosti fosilnih goriva i dr. Stoga je nužno je razviti fleksibilnost energetskeg sustava i mehanizme koji će uravnotežiti nepravilnosti na tržištu električne energije. Uključenja novih elektrana na obnovljive izvore energije zahtijeva i nadogradnju postojećih prijenosnih i distribucijskih sustava, odnosno dodatnih priključenja postrojenja na mrežu koja nije dimenzionirana za prijenos i distribuciju povećane proizvodnje električne energije. Potrebno je osigurati i dostatne kapaciteta prijenosne mreže (interkonekcije) kako bi se osigurala stabilna i sigurna opskrba te dostatne kapacitete prijenosne i distributivne mreže, u slučaju povezanosti otoka s kopnom, osobito kada su proizvodna postrojenja smještena na otocima i koriste obnovljive izvore energije. Postojeća postrojenja za proizvodnju električne energije koja osiguravaju rad elektrana na obnovljive izvore energije, također, zahtijevaju dodatna ulaganja u smanjenje emisije stakleničkih plinova. Promjene također zahtijevaju prilagodbu dizajna tržišta električne energije novim tržišnim uvjetima.

Dodatni problem uključanja obnovljivih izvora energije u postojeći elektroenergetski sustav Hrvatske pripisuje se i konkurentnosti proizvodne cijene električne energije, u odnosu na cijenu električne energije proizvedenu u konvencionalnim elektranama i cijenu uvoza električne energije (IRENA 2022). Visoki investicijski troškovi u početnoj fazi proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora, mogu predstavljati barijeru njihove primjene. Najčešće mjere koje se pri tome poduzimaju odnose se na potpore izgradnji i poticajima proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora (IEA 2024). Rast cijena fosilnih goriva na globalnom tržištu mogu biti poticaj implementaciji elektrana na obnovljive izvore energije (Jerkić 2012). U Republici Hrvatskoj izgradnja elektrana na vjetar prednjači u odnosu na druge obnovljive izvore (69,8 % ukupno instalirane električne

energije u 2022. godini (Energija u Hrvatskoj 2023). Razlog tome može se tražiti u većoj ekonomskoj isplativosti ovog oblika obnovljive energije u usporedbi sa sunčanom energijom i drugim obnovljivim izvorima energije, zbog stimulirajućih uvjeta poticanja proizvedene električne energije iz vjetroelektrana. Porast udjela obnovljive energije u ukupnoj energetske bilanci neminovno ima utjecaja na trenutnu, ali i buduću energetske, a samim time i ekonomsku situaciju u Republici Hrvatskoj. Stoga se postavlja pitanje: kako elektroenergetski sustav Hrvatske može biti održiv i odgovoriti na izazove koji se pred njega postavljaju?

Pozitivni primjeri nekih članica Europske unije (posebice Danske i Njemačke) potvrđuju mogućnost uspješnog postizanja ciljeva vezano za proizvodnju električne energije, smanjenja emisije stakleničkih plinova i ekonomskog rasta u sektoru obnovljivih izvora energije. Svjetska iskustva provedbe projekata s obnovljivim izvorima energije, a posebice u najuspješnijim zemljama svijeta potvrđuju pozitivan doprinos razvoja novih tehnologija i provedbe ovakvih projekata na ekonomski rast u sektoru industrije obnovljivih izvora energije (proizvodnja opreme i pružanje usluga projektiranja, ugradnje, pogona i održavanja), novu zaposlenost i rast komplementarnih industrija i usluga. Unatoč potencijalima koje ima u obnovljivim izvorima energije, Hrvatska ima nisku stopu implementacije obnovljivih izvora u ukupnoj energetske bilanci Republike Hrvatske te ovisnost o uvozu.

U skladu s navedenim, **problem istraživanja** odnosi se na istraživanje optimalnog modela uvođenja obnovljivih izvora energije u energetske sustav Republike Hrvatske.

Predmet istraživanja je istražiti problematiku energetske sustava s fokusom na elektroenergetski sustav i tržište električne energije u Republici Hrvatskoj, sagledavajući mogućnosti ekonomske isplativosti proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije, u cilju postizanja energetske neovisnosti i veće održivosti. Potrebno je istražiti specifičnosti elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske, analizirati dosadašnji utjecaj implementacije obnovljivih izvora energije na održivi razvoj energetske sektora i ekonomski rast Republike Hrvatske, ispitati je li te u kojoj je mjeri implementacija obnovljivih izvora energije imala ekološki (smanjenje emisija stakleničkih plinova, prvenstveno emisije CO₂) i društveni učinak, istražiti problematiku povećanja udjela intermitentnih izvora i dostatnost kapaciteta elektroenergetskog sustava za prihvat novih elektrana te integriranost hrvatskog elektroenergetskog sustava u međunarodna tržišta

električne energije, a sve kroz aspekt održivog razvoja i održivosti elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske.

Na temelju problema i predmeta istraživanja u doktorskom radu se daje odgovor na sljedeća istraživačka pitanja:

- 1) Koje su značajke elektroenergetskog sustava i tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj?
- 2) Kakva je dinamika uvođenja obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav Republike Hrvatske?
- 3) Kakav je učinak postojećeg mehanizma poticanja na povećanje udjela obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije u Republici Hrvatskoj?
- 4) Kakav je ekološki učinak uvođenja obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav Republike Hrvatske?
- 5) Na koji način se može modelirati optimalan model uvođenja obnovljivih izvora energije sa stajališta ekonomske isplativosti, energetske neovisnosti i veće održivosti elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske?

1.2. Hipoteze istraživanja

Na temelju postavljenog problema i predmeta istraživanja predložena je osnovna znanstvena hipoteza:

H0: *Uvođenje obnovljivih izvora energije i integriranost u međunarodna tržišta električne energije nužan su preduvjet za održivi razvoj energetske sustava.*

Dokazivanje osnovne znanstvene hipoteze navodi na definiranje sljedećih **pomoćnih hipoteza:**

H1: Početni investicijski troškovi sprječavaju učinkovit razvoj obnovljivih izvora električne energije.

H2: Postojeći mehanizmi poticanja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj negativno utječu na održivost razvoja energetske sektora u cijelosti.

H3: Rast cijena električne energije na CROPEX-u ima pozitivan učinak na ekonomsku isplativost projekata obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj.

Na osnovu potvrđenosti ili opovrgnutosti gore navedenih hipoteza predložit će se mjere koje bi omogućile održivi razvoj elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske, a uvažavajući potrebu za implementacijom obnovljivih izvora energije.

1.3. Svrha i ciljevi istraživanja

Problem i predmet istraživanja dali su smjernice definiranju **svrhe istraživanja**: dati uvid u stanje elektroenergetskog sustava i potencijal obnovljivih izvora energije u održivoj proizvodnji električne energije.

Temeljni cilj istraživanja odnosi se na moguće projekcije ekonomske isplativosti i konkurentnosti obnovljivih izvora energije na hrvatskom tržištu električne energije. U skladu s tim ciljem i svrhom istraživanja definirani su znanstveni i aplikativni ciljevi.

Znanstveni ciljevi istraživanja su sljedeći:

- 1) znanstveno utemeljeno dati teorijske odrednice tržišta električne energije,
- 2) na temelju postojećih znanstvenih saznanja definirati temeljne koncepte dizajniranja tržišta električne energije,
- 3) znanstveno utemeljeno dati uvid u značajke održivog razvoja elektroenergetskog sustava,
- 4) na temelju znanstveno utemeljenih spoznaja definirati obnovljive izvore energije,
- 5) sinteza teorijskih obilježja i specifičnosti modeliranja optimalnog modela proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora.

Empirijski i aplikativni ciljevi istraživanja su sljedeći:

- 1) istražiti suvremene modele upravljanja elektroenergetskih sustava,
- 2) istražiti tržišta električne energije u Europskoj uniji,
- 3) kvantitativno i kvalitativno istražiti problematiku elektroenergetskog sustava i tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj,
- 4) kvantitativno i kvalitativno odrediti značaj obnovljivih izvora energije u elektroenergetskom sustavu Republike Hrvatske,
- 5) istražiti integriranost hrvatskog tržišta u međunarodna tržišta električne energije,
- 6) istražiti utjecaj postojećih mehanizama poticanja obnovljivih izvora energije za povećanje obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije u Republici Hrvatskoj,
- 7) modelirati optimalan model obnovljivih izvora energije u hrvatskim uvjetima s obzirom na ekonomsku isplativost i cijene električne energije.

1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja

Pregled dostupne literature daje uvid u zainteresiranost znanstvene javnosti za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora (Ellabban i dr. 2014;) s različitih područja interesa. *Google Znalac* ukazuje na čak 17.800 znanstvenih radova s recenzijom koji obrađuju električnu energiju iz obnovljivih izvora u razdoblju od 2000. do 2024. godine. Pregled dosadašnjih istraživanja za potrebe doktorskog rada sužava se na radove koji u fokus stavljaju proizvodnju električne energije u kontekstu održivog razvoja elektroenergetskog sustava. Uloga električne energije za zadovoljenje potreba stanovništva i gospodarstva dobro je zastupljena u literaturi (Tominov 2008; Tešnjak i dr. 2009; Jakovac 2010; Ferguson, Wilkinson i Hill 2000; Kabeyi i Olanrewaju 2021), kao i štetni utjecaji stakleničkih plinova nastalih izgaranjem fosilnih goriva (World Nuclear Association 2022), koja još uvijek imaju znatan udio u ukupnoj proizvodnji električne energije.

Klimatske promjene (Šverko Grdić i Krstinić Nižić 2016; Perić i Šverko Grdić 2017) jedan su od bitnih čimbenika utjecaja na tranziciju elektroenergetskih sustava diljem svijeta s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije (Jakovac 2022; Wiatros-Motyka 2023). Myhrvold i Caldeira (2012) ističu kako je za dugoročno ublažavanje klimatskih promjena potreban prijelaz s globalnog sustava proizvodnje električne energije na bazi ugljena, na energetske tehnologije s niskom emisijom stakleničkih plinova. Studija otkriva značajne klimatske koristi, od implementacije energetske tehnologije, s niskom emisijom stakleničkih plinova (vjetar, sunčana energija, hvatanje i skladištenje ugljika i dr.) u drugoj polovici 21. stoljeća, ali ne i za kratkoročno razdoblje. Istražuju se trendovi potaknuti dekarbonizacijom (De Bruyn i dr. 2020) i inovacijama i njihov utjecaj na promjene energetske politike i zakonodavstva na nacionalnoj, regionalnoj i globalnoj razini koje dovode do redizajna strukture elektroenergetskog sustava i tržišta električne energije potaknutog procesom liberalizacije (Jamass i Pollitt 2005; Vlahinić 2015; Crampton 2017). Liberalizacija tržišta (Banovac i Zmijarević 2007; Ciucci 2023) dovela je do sve većeg sudjelovanja malih proizvođača, što vodi ka uravnoteženju opskrbe električne energije na tržištima (Bichler i dr. 2022). Međutim, kapitalno intenzivni karakter elektroenergetskog sektora (Jakovac 2010; Beber, Pašičko i Car, 2018; Wang, Mugera i White 2019; Liu i dr. 2021) znači da će veći proizvodni kapaciteti imati niže prosječne troškove, što otežava ulazak malih proizvođača na tržište električne energije, često pod visokim rizikom. Suvremeni trendovi ističu zadovoljenje domaćih potreba dizajnom tržišta električne energije koji će odgovoriti na nove izazove (Wainstein i Bumpus 2016). Tržište električne energije svojim dizajnom treba omogućiti pouzdanost i učinkovitost opskrbe

električnom energijom (Crampton, 2017; Bublitz i dr., 2019; Foster i Rana 2020; Bojnec i Križaj, 2021).

Istraživanja su usmjerena i na negativne učinke klimatskih promjena, na sam rad elektrana koje koriste obnovljive izvore energije (Huangpent i dr. 2021; Guo i dr. 2021). Rezultati predviđanja klimatskih promjena u studiji Huangpent i dr. (2021) upozoravaju na smanjenje proizvodnje električne energije iz hidroelektrana, prema scenarijima za oko 10,74 % do 22,25 % prosječno godišnje. Guo i dr. (2021), također, ukazuju na smanjenje proizvodnje električne energije iz hidroelektrana pod utjecajem klimatskih promjena, te upozoravaju na povećanje jaza između ponude električne energije iz hidroelektrana i potražnje za energijom. Takav scenarij vodi prema povećanju potrošnje fosilnih goriva za proizvodnju električne energije i povećanje emisija stakleničkih plinova.

Rast potražnje za električnom energijom u svijetu (Keramidas i dr. 2020; IEA 2024) povećava interes znanstvenika za održivost elektroenergetskih sustava u svijetu (Khan i Arsalan 2016; Sun i dr. 2016.). Potencijal koji nude obnovljivi izvori energije su ogromni (Mariarty i Honnery, 2012; Basha i dr. 2021; Nasser i dr. 2024) i, u načelu, mogu premašiti svjetsku potražnju za energijom (Ellabban i dr. 2014.). Električna energija se vidi kao predvodnik u tranziciji prijelaza s fosilnih na obnovljive izvore energije s obzirom na zastupljenost fosilnih goriva u njejoj proizvodnji i sve većoj dekarbonizaciji (De Bruyn i dr. 2020; EMBER 2023).

Promjene na tržištu električne energije u Europskoj uniji zastupljene su u znatnom broju znanstvenih studija (Glenk, Meier, i Reichelstein 2021), kao i odgovori Europske unije na izazove potaknute klimatskim promjenama (Srivastava i dr., 2011; Imran i Kockar, 2014; Crampton, 2017; Keramidas i dr. 2020; Bichler i dr., 2022; Ciucci 2023). Prisutna je značajna zastupljenost istraživanja vezanih uz elektroenergetski sustav (Bukša 2011; Vlahinić 2011; Beus i dr. 2018; Borozan 2021) i tržište električne energije u Republici Hrvatskoj (Beus i dr. 2018). Analize tržišta električne energije dostupne su u izvještajima Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja, a statističke podatke o kretanjima na tržištu daju Državni zavod za statistiku, CROPEX, Eurostat, ENTSOE Transparency Platform i druge institucije.

Pregled korištenja obnovljivih izvora energije (Kuang i dr. 2016; Shyam i dr. 2017; Yu i dr. 2019; Al-Shetwi i dr. 2021) daje uvid u razinu uvođenja obnovljivih izvora energije u energetske sustave u svijetu. Visoka stopa ovisnosti gospodarstava u razvoju o proizvodnji električne energije iz fosilnih goriva (u Maleziji i do 90 %) istaknula je potrebu promišljanje o odabiru obnovljivih izvora energije za održivi razvoj sustava proizvodnje električne energije. Održivi razvoj proizvodnje električne energije zahtijeva diversifikaciju goriva (Carley i

Andrews 2012; Vidal-Amaro i dr. 2015). Rezultati studije Ahmad i Tahar (2014) pokazuju da obnovljivi izvori energije imaju dovoljan potencijal za razvoj održivog elektroenergetskog sustava u Maleziji, pri čemu je najpovoljniji resurs sunčana energija, zatim redom biomasa, hidroenergija i energija vjetra. Vidal-Amaro i dr. (2015) ističu važnost uspostave optimalne kombinacije obnovljivih izvora energije za stvaranje niskougljičnih energetske sustava s odgovarajućim sposobnostima praćenja opterećenja. Uvode metodologiju “minimalni ukupni kapacitet mješavine”, kako bi identificirali optimalnu kombinaciju energije za energetske sustav s uspostavom minimalnog udjela obnovljivih izvora energije i maksimalnog udjela fosilnih ili nuklearnih goriva u definiranom cilju energetske sustava s 35 % udjela električne energije iz obnovljivih izvora. Istraživanje je pokazalo da biomasa ima najveću učinkovitost u smislu visoke razine proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora.

Istraživanja su usmjerena i na iskoristivost kapaciteta elektrana na obnovljive izvore energije (Boretti i dr. 2020) te mehanizam državnih subvencija u obnovljive izvore energije (Zhou et. al. 2020; Hu i dr. 2023; Lin i Xie 2023). Boretti i dr. istražuju iskoristivost kapaciteta sunčanih fotonaponskih energetske postrojenja te sugeriraju da se povećanjem iskoristivosti kapaciteta od 10 % mogu smanjiti troškovi proizvodnje električne energije za 35 %. Pri tome dolaze do saznanja o maksimalnoj iskoristivosti kapaciteta sunčane elektrane od 32-33 % i prosječne iskoristivosti od 30 %. Lin i Xie (2023) istražuje utjecaj državnih subvencija na iskorištenost kapaciteta obnovljivih izvora energije u Kini. Istraživanje je pokazalo da su državni poticaji utjecali na smanjenje iskorištenosti kapaciteta instaliranih obnovljivih izvora energije u razdoblju od 2011. do 2021. godine. Unatoč činjenici da je vladina politika subvencija u određenoj mjeri olakšala brzo širenje instaliranih kapaciteta obnovljivih izvora energije u Kini, postupno su se pojavili problemi iskoristivosti instaliranih kapaciteta u razvojnim procesima. Prema Zhou et. al. (2020) politike subvencija koje se temelje na proizvodnji ojačale su spekulativni mentalitet poduzeća, što je rezultiralo istaknutim fenomenima “žurbe za instaliranjem” i “žurbe za proizvodnjom”. Poduzeća su dala prednost proširenju proizvodnih kapaciteta nad ulaganjima u istraživanje i razvoj, što predstavlja rizik od viška kapaciteta u industriji obnovljivih izvora energije. Hu et. al. sugeriraju na moguće značajno promicanje učinkovitosti inovacija poduzeća potpomognuti državnim subvencijama. Naime, nedovoljno ulaganje u inovacije može biti slabost koja ograničava inovativnost u poduzeću. Općenito, državne subvencije predstavljaju izravnu financijsku poticajnu politiku za inovacijske aktivnosti. No, autori ukazuju i na ograničenja državnih subvencija, kao i na financiranje niza inovacija koje nisu rezultirale očekivanim rastom industrije obnovljivih izvora energije.

Budin i dr. (2021) postavljaju model proizvodnje električne energije iz mikro fotonaponskih sustava i u skladu s postavljenim ciljem utvrđivanja optimalne nazivne snage mikro fotonaponskih sustava rješavaju optimalizacijske probleme na primjeru Republike Hrvatske. Rezultati njihovog istraživanja upućuju da se korištenjem sustava obnovljivih izvora energije integriranih na objekt potrošača koji zadovoljavaju vlastite potrebe za električnom energijom korisnika, izravno doprinosi ispunjenju ciljeva u skladu s Klimatskim i energetske okvirom do 2030. godine te Europskim zelenim planom za postizanje cilja klimatske neutralnosti do 2050. godine. Autori zaključuju kako je instalacija mikro fotonaponskih elektrana unutar samoopskrbe na području Republike Hrvatske isplativa. Kompariranjem instalacija mikro fotonaponskih elektrana u Zagrebu i Splitu dolaze do saznanja o prednostima Splita u odnosu na Zagreb zbog povećane insolacije. Zbog toga je uz jednake scenarije potrošnje potrebna niža nazivna snaga fotonaponskih elektrana u Splitu što utječe i na niže početne investicijske troškove kao i na kraće razdoblje povrata investicije, dok je su neto sadašnje investicije više u odnosu na Zagreb. Model krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom za predimenzioniranu fotonaponsku elektranu smanjuje neto sadašnju vrijednost projekta fotonaponske elektrane.

Primjetna je i značajna zastupljenost obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj s različitih aspekata u znanstvenim radovima. Lovrić i Lovrić (2013) daju uvid u obnovljive izvore energije u Republici Hrvatskoj, Strategiju energetske razvoja Republike Hrvatske te usklađivanje s ciljevima strateških dokumenata Europske unije. Ističući ogroman potencijal obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj, Runko Luttenberger (2015) analizira politiku Hrvatske prema okolišu, subvencijama, ulozi međunarodnih financijskih institucija, monopolsku dimenziju elektroprivrednih poduzeća, te socijalnu dimenziju. U radu se daju prijedlozi za bolji odnos prema obnovljivim izvorima energije te aktivnostima lokalne vlasti u poticanju obnovljivih izvora energije. Istraživanja se fokusiraju na potencijal i korištenje obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj (Božičević Vrhovčak i dr. 2006; Schneider i dr. 2007). U istraživanju Keček i dr. (2019) ističu se pozitivni ekonomski učinci obnovljivih izvora energije na hrvatsko gospodarstvo, pri čemu su najveći multiplikatori bruto dodane vrijednosti za hidroelektrane i bioplinska postrojenja, a manji ukupni učinci vjetroelektrana zbog visokog udjela uvozne opreme. Autori ističu kako bi usklađivanje energetske i industrijske politike moglo dovesti do intenzivnijih učinaka obnovljivih izvora energije na hrvatsko gospodarstvo. Gelo i dr. 2021 analiziraju najavljene makroekonomske učinke ulaganja u obnovljive izvore energije na hrvatsko gospodarstvo navedene u Strategiji energetske razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. Analiza je pokazala relativno skromne

makroekonomske učinke ulaganja u obnovljive izvore energije na hrvatsko gospodarstvo. Autori zaključuju kako je potrebno promijeniti strukturu i dinamiku ulaganja u obnovljive izvore energije. Prvo, treba ulagati u izvore s najvećom domaćom komponentom i istovremeno razvijati proizvodne kapacitete u tehnologijama i proizvodnji opreme za vjetar i sunčane kapacitete.

U literaturi se nailazi i na nekoliko radova koji analiziraju utjecaj instalirane snage obnovljivih izvora energije na proizvodnju električne energije. Vlahinić i Žiković (2010) ispituju uzročno-posljedičnu vezu između energije i gospodarskog rasta te dolaze do rezultata koji pokazuju relativno nizak energetske intenzitet u Hrvatskoj kao posljedicu tranzicijskih depresija tijekom 1990-ih godina i procesa decentralizacije. Vlahinić i dr. (2019) daju sustavan pregled restrukturiranja energetske sustava, implementaciju direktiva u energetske sustave zemalja članica Europske unije, fokus na reformi prema dekarbonizaciji i održivom razvoju energetske sektora i u skladu s tim i istražuju promjene paradigme razvoja. Autori daju uvid u metode mjerenja rizika na tržištima energenata i daju prikaz osnovnih *hedging* poslova kojima se ublažavaju i potpuno otklanjaju rizici.

Ekonomski institut Zagreb i Energetski institut Hrvoje Požar (2018) daju sveobuhvatnu kvantifikaciju ekonomskog učinka ulaganja u obnovljive izvore energije. Studija navodi bioplinska postrojenja kao vodeća u ostvarenju ukupnih izravnih i neizravnih učinaka na bruto domaći proizvod (BDP) i otvaranja novih radnih mjesta. Gotovo identične ekonomske učinke na BDP i zaposlenost bilježe male hidroelektrane, a 5-10 % manje učinke imaju solarne elektrane. Najmanje učinke ostvaruju vjetroelektrane koje imaju najveći udio obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj. Mikulić i dr. (2018) dolaze do identičnih zaključaka vezanih za ukupne učinke. Keček i dr. (2019) ističu kako bi politika poticaja za obnovljive izvore energije u Hrvatskoj mogla imati veće učinke boljim usklađivanjem energetske i industrijske strategije. Krstinić Nižić i Hustić (2020) istražuju modele odgovornosti povlaštenih proizvođača obnovljivih izvora energije za odstupanje od planova proizvodnje te dolaze do zaključaka o odgovornosti operatora prijenosnog sustava za vođenje elektroenergetskog sustava i nabavu regulacijske energije kako bi u stvarnom vremenu fizički uravnotežili ukupnu proizvodnju, potrošnju i razmjenu sustava. Istraživanja su usmjerena i kauzalnosti potrošnje energije i BDP-a u Republici Hrvatskoj (Vlahinić i Jakovac 2014; Vlahinić i Jakovac 2016). Prisutna su i istraživanja (Krstinić Nižić, Šverko i Hustić 2016) koja utvrđuju uzročno-posljedičnu vezu između potrošnje energije i turizma. Istraživanje pokazuje da je Hrvatska u odnosu na zemlje obuhvaćene istraživanjem (Hrvatska, Slovenija, Slovačka, Mađarska i Češka Republika) imala

najmanju potrošnju energije po stanovniku i najveći broj turističkih dolazaka i noćenja, dok je Slovenija imala najveću potrošnju energije po stanovniku, najmanji broj turističkih noćenja i najveći bruto domaći proizvod. Autori (Krstinić Nižić, Šverko i Hustić 2016) zaključuju kako u pogledu potrošnje energije značajnu ulogu, značajnu ulogu nema samo turizam već i drugi gospodarski sektori.

PLEXOS, alat za optimalizaciju elektroenergetskog sustava i modeliranje tržišta električne energije, široko je prihvaćen u znanstvenim studijama optimalizacije modela obnovljivih izvora energije (Sun i dr. 2018; Herenčić i dr. 2018; Tomšić i dr. 2018; Herc i dr. 2021). Herenčić i dr. koriste PLEXOS za optimalizacijski model sa satnom rezolucijom i simulacijama do 2050. godine, za planiranje elektroenergetskog sustava i analizu uključivanja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj. Autori procjenjuju utjecaje scenarija niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske u razdoblju do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu. Istraživanje je dio projekta izrade stručne podloge za Strategiju niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu. Herc i dr. (2021) uspoređuju dvije metode planiranja razvoja energetskog sustava: razvijeni softver H2RES i program PLEXOS, u smislu proširenja endogenog kapaciteta obnovljivih izvora i mogućnosti fleksibilnosti. U usporednim modelima korišten je hrvatski energetski sustav. Rezultati su pokazali da Power-to-X tehnologije pružaju potrebnu fleksibilnost za uspješnu integraciju novih proizvodnih kapaciteta varijabilnih obnovljivih izvora, postizanje ekonomski optimalnih energetskih sustava s niskim udjelom ugljika. Istraživanje je pokazalo sposobnost novorazvijenog softvera H2RES u pružanju simulacije energetskog sustava, optimizaciju i planiranje ulaganja u obnovljive izvore energije, a u nekim aspektima i veću sposobnost u odnosu na program PLEXOS s kojim je uspoređivan.

Unatoč opsežnoj zastupljenosti električne energije, elektroenergetskih sustava i obnovljivih izvora energije u literaturi, dinamične promjene u navedenim područjima pod utjecajem novih tehnologija i novih mogućnosti u postizanju sigurne i stabilne opskrbe električnom energijom, energetske neovisnosti i održivosti elektroenergetskog sustava otvaraju prostor za nova istraživanja i dolaženje do novih spoznaja. Stoga postoji opravdanost istraživanja zastupljenog u ovom doktorskom radu.

1.5. Znanstvene metode istraživanja

Prilikom izrade ove doktorske disertacije, u svrhu ostvarivanja postavljenih ciljeva i dokazivanja hipoteza, koristit će se više metoda znanstvenog istraživanja, poput metoda analize i sinteze, indukcije i dedukcije, klasifikacije, komparacije, statističke metode i metode modeliranja, te metode primarnog i sekundarnog istraživanja. Metode sekundarnog istraživanja uključuju pretraživanje relevantne međunarodne i domaće literature, objavljene knjige, znanstvene i stručne časopise, razna izvješća i studije, internetski dostupne izvore te pravne akte i druge dokumente Europske unije i Republike Hrvatske. Analizom sadržaja relevantne literature prikupljeni su energetska-ekonomski podaci (pokazatelji) na kojima se temelji istraživanje doktorskog rada. Prikupljeni podaci su klasificirani, a numerički podaci statistički obrađeni. Cilj je bio izdvajanje značajnih informacija i induktivnog postizanja početnih zaključaka koji bi trebali usmjeriti daljnje istraživanje.

Analizom korelacije ispitan je odnos proizvodnje električne energije s promjenama potrošnje električne energije, uvoza i ukupno ostvarene potrošnje, te izvoza električne energije i ukupne domaće proizvodnje električne energije. Statistički su obrađeni i komparirani prikupljeni energetska-ekonomski pokazatelji, pri čemu se osobita pozornost usmjerila na udjele obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije.

Za ispitivanje ekonomske opravdanosti sunčanih elektrana i vjetroelektrana korištena je metoda simulacije i metoda scenarija. Metoda simulacije (lat. *simulatio*) omogućava postavljanje pretpostavke uz pomoć nečega drugoga (Afrić 1999). Metoda scenarija podrazumijeva hipotetičke sljedove događaja koji su osmišljeni sa svrhom usmjeravanja pažnje na uzročne procese i točke donošenja odluke (Radeljak Kaufmann 2015). Za simulaciju modela korišten je model PLEXOS, postavljanje scenarija isplativosti i konkurentnosti modela te pronalaženje optimalnog rješenja uvođenja elektrana na obnovljive izvore, s ciljem održivosti elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske. PLEXOS je alat pogodan za optimalizaciju elektroenergetskog sustava koji se koristi u modeliranju tržišta električne energije. PLEXOS pruža pomoć u analitici i podršku u donošenju odluka o integraciji obnovljivih izvora energije u elektroenergetsku mrežu i donošenju odluka tijekom cijelog životnog ciklusa obnovljivih izvora: analizi tržišta, investicijske odluke, određivanju lokacije i veličine projekta, trgovanju električnom energijom i zaštiti od rizika te optimiziranju portfelja (PLEXOS for Renewables n.d.).

1.6. Struktura rada

Doktorski rad je podijeljen u pet jedinica tematski međusobno povezanih.

Uvod daje pregled problema istraživanja i predmeta istraživanja, postavljene hipoteze istraživanja, svrhu i ciljeve istraživanja, pregled dosadašnjih istraživanja, znanstvene metode istraživanja i strukturu rada.

Drugi dio rada obrađuje Tržište električne energije Europske unije i Republike Hrvatske. U njemu se obrađuju značajke tržišta električne energije kroz nekoliko tematskih cjelina u kojima je razrađen teorijski okvir električne energije, upravljanje elektroenergetskim sustavima, razvojna obilježja tržišta električne energije, karakteristike tržišta Europske unije i karakteristike tržišta Republike Hrvatske. Istraživanjem značajki tržišta električne energije sintetiziraju se dosadašnja saznanja i donose zaključci na temelju relevantnih podataka. Pregled upravljanja elektroenergetskih sustava kroz povijest omogućava bolje razumijevanje suvremenog dizajna elektroenergetskih sustava. Razvoj obilježja tržišta električne energije ističu razvojne faze od tradicionalnih struktura tržišta do reformiranog tržišta. Istraživanje tržišta električne energije u Europskoj uniji temelje se na prezentaciji postojećeg regulatornog okvira električne energije te istraživanju dizajna tržišta električne energije, uz praćenje kretanja proizvodnje i potrošnje električne energije te cijena električne energije. Prezentirani podatci o tržištu električne energije u Republici Hrvatskoj daju uvid u zakonodavni i institucionalni okvir te kretanja na tržištu električne energije u Republici Hrvatskoj.

U trećem dijelu, naziva Razvoj obnovljivih izvora električne energije u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji, prikazan je značaj obnovljivih izvora energije u održivom razvoju elektroenergetskog sustava, istaknute su zakonodavne odredbe koje se odnose na obnovljive izvore energije te značajke tržišta obnovljivih izvora energije. Također je omogućen uvid u interkonekciju elektroenergetskog sustava. Posebno se istražuje utjecaj domaće komponente u projektima obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj te opravdanost poticajnih mjera za obnovljive izvore energije.

Postavljanje optimalnog modela uvođenja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj u funkciji održivosti energetske sustava naslov je četvrtog dijela, u kojem je predstavljeno empirijsko istraživanje doktorskog rada. Uz metodologiju postavljanja modela prikazane su karakteristike elektrana i definirani ulazni podatci za simulaciju modela u PLEXOS-u (profil proizvodnje električne energije u elektranama, profil opterećenja sustava i cijene električne energije). Ekonomska analiza isplativosti investiranja istražena je kroz četiri scenarija: scenarij s fiksnom cijenom električne energije CROPEX DA (dan unaprijed) 2019. godine, scenarij s

cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine s porastom od 2 % godišnje, scenarij s cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine s porastom od 4 % godišnje i scenarij s cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine s porastom od 6 % godišnje.

Peti dio rada su zaključna razmatranja, u kojem su prezentirane teorijske i praktične implikacije rezultata, preporuke za buduća istraživanja i ograničenja provedenog istraživanja.

2. TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE EUROPSKE UNIJE I REPUBLIKE HRVATSKE

Električna energija ima važnu ulogu u zadovoljenju potreba stanovništva i gospodarstva, posebice onih elementarnih (Tominov 2008; Jakovac 2010). Njen udio u ukupnoj potrošnji energije raste s rastom gospodarstva te kvalitete života i standarda stanovništva. Stoga je svrha elektroenergetskih sustava (kao energetskog sustava u kojem se odvija pretvorba energije iz jednog oblika u drugu) u svakom trenutku osigurati dostatnu količinu električne energije svakom potrošaču u skladu s njegovim trenutnim potrebama (Tešnjak i dr. 2009). Za proizvodnju električne energije znatnim dijelom se koriste fosilna goriva čiji je nusproizvod emisija stakleničkih plinova i prvenstveno emisija CO₂ u atmosferu koja dovodi do štetnih učinaka klimatskih promjena. Njihove rezerve nisu bezgranične, a geografska raspodjela fosilnih goriva utječe na ovisnost zemalja deficitarnih fosilnim gorivima o njihovim dobavljačima. Takvo stanje dovodi do geografskih i političkih kriza pa i sukoba među državama. Time se aktualizira pitanje proizvodnje električne energije na globalnoj razini kako bi se zajedničkim naporima djelovalo u smjeru smanjenja proizvodnje električne energije iz fosilnih goriva i povećala proizvodnja iz obnovljivih izvora.

Suvremeni trendovi potaknuti dekarbonizacijom i inovacijama potiču promjene energetske politike i zakonodavstva na nacionalnoj, regionalnoj i globalnoj razini. Prisutan redizajn strukture elektroenergetskih sustava pod općim trendom liberalizacije i deregulacije tržišta električne energije odmiče se od tradicionalne dominantnosti monopola prema više konkurencijskoj strukturi temeljenoj na tržišnim operacijama, popraćena upravljačkim promjenama i značajnim tehnološkim napretkom (Crampton 2017), s tendencijom daljnjeg razvoja. Cjenovnu neelastičnost potražnje i mali broj velikih proizvođača električne energije, koji su dominirali u elektroenergetskim sustavima, zamjenjuje sve veći broj malih proizvođača i potrošača koji aktivno sudjeluju na tržištima nudeći fleksibilnost kako bi se promjenjiva opskrba električne energije uravnotežila na tržištima s visokom razinom geografske i vremenske raspršenosti (Bichler i dr. 2022).

Prisutne promjene pod utjecajem su velikog broja čimbenika, posebice energetske tranzicije kao jedne od najznačajnijih i najizazovnijih društvenih i gospodarskih projekata suvremenog društva. Prema Glenk, Meier, i Reichelstein (2021), energetska tranzicija pruža priliku za smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima te izgradnju ekonomski i ekološki održive budućnosti. Keramidias i dr. (2020) analiziranjem uloge elektrifikacije u globalnoj tranziciji ka gospodarstvu s niskim emisijama stakleničkih plinova dolaze do spoznaja da je električna energija zauzima

sve značajniju ulogu u energetskej opskrbi krajnje potrošnje. Kako bi se sagledale aktualne promjene na tržištu električne energije te njihov utjecaj na održivi razvoj energetskej sustava, u ovom dijelu doktorskeg rada daje se sustavni pregled dosadašnjih saznanja o tržištu električne energije i ključnih pitanja njegova redizajna. Uz analizu tržišta električne energije u Europskej uniji i Republici Hrvatskej daje se, uvid u teorijske i praktične odrednice tržišta električne energije.

2.1. Teorijske odrednice električne energije

Energija se promatra kao jedan od temeljnih čimbenika u ljudskom razvoju kojim se osigurava životni standard. Električna energija se ističe kao jedan od njenih najvažnijih oblika. U svrhu razumijevanja električne energije i njene uloge u društveno-ekonomskom razvoju, u ovom dijelu doktorskeg rada obrađuju se sljedeće tematske jedinice: 1) karakteristike i značaj električne energije za stanovništvo i gospodarstvo i 2) načini proizvodnje električne energije.

2.1.1. Karakteristike i značaj električne energije za stanovništvo i gospodarstvo

U početku se električna energija primarno koristila za rasvjetu. Važnom godinom za električnu energiju smatra se 1879. godina, kada je Thomas Edison izumio žarulju sa žarnom niti, a tri godine kasnije njegova je tvrtka Edison Electric Light Company pustila u rad elektranu na vijaduktu Holborn u Londonu. To je bila prva elektrana na ugljen namijenjena proizvodnji električne energije za javne potrebe. Ubrzo i druge tvrtke razvijaju nove električne tehnologije te se upotreba električne energije širi na različita područja. Godine 1895. godine u Hrvatskej je pušten u rad prvi potpuni elektroenergetski sustav¹ na izmjeničnu struju, izgradnjom hidroelektrane Jaruga 1 na rijeci Krki i prijenosnog sustava 23 km dugog voda koji je Šibenik opskrbljivao javnom rasvjetom (Holjevac i Kuzle 2009). Razvoj električne energije nastavljen je i u 21. stoljeću, no inovacije povezane s izvorima energije, sporije su. Najbrže rastući izvor električne energije je obnovljiva energija. Inovacije omogućuju prijelaz s fosilnih goriva na obnovljivu električnu energiju, što uključuje energiju sunca, vjetra i vode.

¹ Elektroenergetski sustav je skup međusobno povezanih elektrana, mreža i trošila (Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., 2017, čl. 2., st. 45.).

Nedvojbeno je da je elektroenergetski sektor odigrao ključnu ulogu u razvoju modernih civiliziranih društava. Od samih početaka, kontinuirani razvoj i progres omogućili su da električna energija postane nezamjenjiv dio života ljudi, slično kao što su zrak i voda (Jakovac 2010). Električna energija je olakšala život ljudi te ga učinila ugodnijim. Kalea (2007, 95) ističe kako je električna energija na početku 21. stoljeća nezaobilazna osnova materijalnih i društvenih djelatnosti. Električna energija ima važnu ulogu u globalnom razvoju gospodarstva zahvaljujući njenoj primjeni u kućanstvima i industriji (Kabeyi i Olanrewaju 2021). Njena upotreba u svijetu raste paralelno s napretkom i brzinom društveno-ekonomskog razvoja.

Proizvodnja i potrošnja električne energije jednog gospodarstva osnovni su pokazatelji njegove veličine i stupnja razvijenosti (The World Bank n.d.). Gospodarski rast svake zemlje ovisan je o količini, pouzdanosti i pristupačnosti električne energije. Potrošnja električne energije može potaknuti gospodarski rast kroz poboljšanu proizvodnju kapitala, rada i tehnologije (Kabeyi i Olanrewaju 2021). Elektroenergetski sektor osigurava radna mjesta i pridonosi rastu zaposlenosti. Povratno, gospodarski rast može povećati potražnju za električnom energijom, što ukazuje na njihov inherentni odnos (Shengfeng i dr. 2012). Empirijska istraživanja odnosa gospodarskog rasta i BDP-a (Ferguson, Wilkinson i Hill 2000; Kabeyi i Olanrewaju 2021) pokazuju njihovu pozitivnu povezanost te pouzdaniji odnos električne energije s gospodarskim rastom u odnosu na druge oblike ili izvore energije. Potražnja za električnom energijom pokazatelj je rasta BDP-a, a s druge strane rast BDP-a utječe na povećanje potražnje za električnom energijom jer ljudi troše više dobara i usluga.

Rast industrijske potrošnje električne energije važan je pokazatelj razvoja gospodarstva neke zemlje (Kabeyi i Olanrewaju 2021). Sve gospodarske djelatnosti koriste električnu energiju za rasvjetu, grijanje, sušenje i za pogon strojeva za proizvodnju dobara i usluga, što čini okosnicu društveno-ekonomskog razvoja. S rastom proizvodnje rastu zahtjevi za povećanjem energije što često, proporcionalno, dovodi do povećanja potrošnje električne energije, kao i povećanja vrijednosti roba i usluga što se odražava na rast BDP-a. Istraživanja ukazuju na jaču korelaciju između gospodarskog rasta i potrošnje električne energije u razvijenijim u odnosu na nerazvijenije zemlje (Ferguson, Wilkinson i Hill 2000). Veća zastupljenost industrijskog sektora u razvijenim zemljama zahtijeva i veću potrošnju energije u odnosu na uslužne i poljoprivredne sektore gospodarstva kao umjerene potrošače električne energije zastupljenije u nerazvijenijim zemljama (Kabeyi i Olanrewaju 2021). No, takav odnos zahtijeva uspostavu učinkovitog elektroenergetskog sustava.

Elektroenergetski sektor treba korisnicima električne energije osigurati neprekinutu isporuku električnu energiju uz ekonomski prihvatljive uvjete, uključujući visoku razinu kvalitete i pouzdanost isporuke (Tešnjak, Banovac i Kuzle 2009; Jakovac 2010). Isporučena električna energija, nadalje, mora udovoljavati visokim standardima kvalitete, podrazumijevajući, pri tome, visoku razinu pouzdanosti opskrbe uz održivost parametara električnih sustava potrebnih za postizanje visoke razine kvalitete opskrbe. Uz tehničke karakteristike, elektroenergetski sustav treba udovoljavati i ekonomskim kriterijima. Isporuku električne energije treba pratiti cijena prihvatljiva krajnjim korisnicima, uz niske troškove proizvodnje, prijenosa i distribucije. Posebno važan segment čini učinkovito upravljanje emisijama stakleničkih plinova u okoliš koji nastaju proizvodnjom električne energije iz fosilnih goriva. Iako električna energija čini tek 20 % konačne potrošnje energije, više od 40 % emisija ugljičnog dioksida (CO₂) povezanih s energijom nastaje izgaranjem fosilnih goriva za proizvodnju električne energije (World Nuclear Association 2022). No, dekarbonizacija energetske sektora na globalnoj razini dovodi do smanjenja intenziteta ugljika u globalnoj proizvodnji električne energije na rekordnih 436 gCO₂/kWh u 2022. godini te dinamičnog rasta proizvodnje električne energije iz vjetra i sunca (s udjelom od 12 % u ukupnoj proizvodnji) (Wiatros-Motyka 2023). Udio proizvodnje električne energije iz čistih izvora (vjetar, sunce, nuklearna energija, biomasa i dr. obnovljivi izvori energije) premašio je u 2019. godini (36,84 %) udio proizvodnje električne energije iz ugljika (36,73 %) (EMBER 2023). To ukazuje na električnu energiju kao predvodnika u tranziciji proizvodnje s ugljena na čiste izvore. S obzirom na to da električna energija postaje sve dekarboniziranija, prisutan je sve veći potencijal smanjenja emisija stakleničkih plinova u industriji prijelazom s fosilnih goriva na električnu energiju (De Bruyn i dr. 2020). Električna energija ima potencijal doprinijeti zaštiti okoliša.

U svrhu osiguranja neprekinute opskrbe, elektroenergetski sektor, također, mora osigurati dostupnost primarnih izvora energije i kapaciteta postrojenja za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije. To uključuje i mogućnost uvoza i izvoza električne energije kako bi se osigurala ravnoteža između potrošnje i proizvodnje u svakom trenutku. Zadatak je, stoga elektroenergetskog sektora pružiti korisnicima kvalitetnu isporuku električne energije uz minimalne troškove, uz dostatnu količinu i snagu koja može zadovoljiti potrebe korisnika u svakom trenutku (Jakovac 2010).

Električna energija je, dakle, ključna za mnoge segmente privatnog i profesionalnog života ljudi zbog njene široke primjene što ukazuje na potrebu sustavnog planiranja koje obuhvaća tehničke, ekonomske i ekološke aspekte energetske potrošnje i zadovoljenja potreba

stanovništva i gospodarstva u cjelini. Zahtjevi koje treba ispuniti čine elektroenergetski sustav veoma složenim. Činjenica je da proizvodnja električne energije mora biti usklađena s trenutnom potrošnjom, a nije ju moguće skladištiti niti zamijeniti. Troškovi koji nastaju nestašicom električne energije su znatni. Nedostatna ponuda rezultira neelastičnošću tržišta električne energije što može dovesti do značajnog rasta cijene električne energije. Jakovac (2010, 253) električnu energiju i elektroenergetski sustav, kojim je omogućen prijenos energenata od proizvodnje do krajnje potrošnje, promatra kao sustav koji podržava nesmetano odvijanje transakcija, razmjenu proizvoda i usluga pri čemu rast obujma transakcija odnosno razmjene, iziskuje i povećanje proizvodnje i potrošnje električne energije potrebne tom rastu.

S obzirom na to da je električna energija veoma važan resurs svake države, planiranje proizvodnje i opskrbe stanovništva i gospodarstva električnom energijom usko je povezano sa strateškim planovima društvenog i ekonomskog razvoja. Pri tome se uzimaju u obzir specifičnosti koje se odnose na električnu energiju i energetske sustave kao dio gospodarstva (Jakovac 2010). Značajke ponude i potražnje čine električnu energiju specifičnim proizvodom. Naime, svi proizvođači i potrošači zahtijevaju istovremeni pristup zajedničkoj mreži (prijenos), pri čemu aktivnosti nekih sudionika mogu utjecati na kvalitetu usluge koju drugi primaju. Proizvodnja, distribucija i potrošnja električne energije praktički se događaju istovremeno (Kulić, Aralica, i Cvijanović 2006). Izazov uspostave ravnoteže ponude i potražnje otežan je nedostatkom isplativih opcija skladištenja (baterija npr.) (Udovičić 2004; Hartman 2016). Električna energija se ne može skladištiti, što znači da se proizvodi samo kada to zahtijeva potražnja pa je važno uspostaviti ravnotežu između proizvodnje i potrošnje. Smanjenje potražnje za električnom energijom zahtijeva istovremeno smanjenje proizvodnje električne energije u elektranama (Jakovac 2010). Zbog toga je elektroenergetski sustav vrlo osjetljiv na kratkoročne promjene ponude i potražnje. U sustavima u kojima dominiraju hidroelektrane dolazi do stalne i velike neravnomjernosti proizvodnje kao posljedica klimatskih pogodnosti i količine vode potrebne za proizvodnju električne energije (Teodorović, Aralica i Redžepović 2006).

Promjenjivi uvjeti elektroenergetskog sustava omogućuju potrošačima prilagodbu danim uvjetima i smanjenje troškova. No, ako potrošači ne reagiraju na promjenjive uvjete mreže, može doći do brze fluktuacije u graničnim troškovima proizvodnje (Hartman 2016). Granični trošak predstavlja konceptualnu osnovu za ekonomični rad elektroenergetskog sustava. Upravljanje sustavom po principu "najmanjih troškova" zahtijeva minimiziranje troškova

proizvodnje. To uključuje dispečiranje² proizvodnih postrojenja redom od najnižeg do najvišeg graničnog troška kako bi se zadovoljila potražnja. Primarna komponenta graničnog troška proizvodnih postrojenja je gorivo. Uključuje cijenu goriva i efikasnost kojom proizvodna postrojenja pretvaraju gorivo u električnu energiju. Troškovi goriva variraju tijekom mjeseci pa i tijekom dana ovisno o vrsti goriva, što utječe na oblik krivulje ponude. Proizvođači koji koriste ugljen obično sklapaju dugoročne ugovore s dobavljačima kako bi smanjili utjecaj varijabilnosti troškova goriva i utjecaj na ponudu. Proizvođači koji koriste vjetar i sunce imaju granične troškove blizu nule, ali su ovisni o vremenskim prilikama što dovodi do pomicanja krivulje ponude. Većina proizvodnih postrojenja ima znatne fiksne troškove i nisku stopu povrata investicija što utječe na krivulju ponude. Granični trošak za opsluživanje potražnje ovisi o graničnom trošku proizvodnje i gubitcima u sustavu povezanim s prijenosom snage putem prijenosnih i distribucijskih vodova. Opterećenje sustava ograničeno je dostupnošću prijenosa električne energije. Ako energija iz proizvodnog postrojenja ne može doći do područja opterećenja zbog ograničenja sustava prijenosa, proizvodno postrojenje s najnižim troškovima koji može opslužiti to opterećenje pomiče se prema gore u redosljedu otpreme. Razlika između graničnog troška dva proizvodna postrojenja naziva se “graničnim troškom zagušenja prijenosa”. To je dodatni trošak koji nastaje zadovoljenjem potražnje kada ograničenja prijenosa zahtijevaju ponovljeno dispečiranje proizvodnje (Hartman 2016).

U prošlosti su proizvodna postrojenja s višim fiksnim troškovima, poput nuklearnih elektrana, hidroelektrana ili elektrana na ugljen, imala niske granične troškove. Proizvodnja električne energije u tim postrojenjima davala je najniže prosječne cijene električne energije u uvjetima njihovog stalnog rada. Zbog toga su napravljeni kako bi radili na stabilnoj razini u funkciji “osnovnog opterećenja”, odnosno kako bi zadovoljili minimalnu razinu potražnje. No, u slučaju kada potražnja nije stalna, učinkovitijim se pokazala izgradnja proizvodnih postrojenja s nižim fiksnim troškovima, poput postrojenja na plin ili naftne derivate. Zbog niske cijene plina posljednjih godina pokazala se, međutim, isplativijom izgradnja elektrana na prirodni plin u funkciji “osnovnog opterećenja” u odnosu na elektrane na ugljen ili nuklearne elektrane. Energetska kriza kao posljedica rata u Ukrajini u 2022. godini potaknula je veću proizvodnju električne energije iz termoelektrana na ugljen. Sve veća upotreba vjetra i sunca u proizvodnji električne energije pridonijela je smanjenju graničnih troškova proizvodnje električne energije. Njihova varijabilnost, međutim, ne omogućava zamjenu konvencionalnih

² Dispečiranje je upravljanje tokovima električne energije (snage) i regulacije napona u elektroenergetskom sustavu, uključujući i razmjenu s drugim sustavima (*Zakon o tržištu električne energije 2021*, čl. 3, st. 11).

elektrana. Naime, njihov maksimalni izlazni kapacitet u vršnim razdobljima ograničen je vremenskim uvjetima. Cijena goriva, dakle, bitno utječe na isplativost postrojenja za proizvodnju električne energije i odluku o njihovoj izgradnji.

Jedna od posebnosti vezana uz električnu energiju je što pojedinačno elektrane ne mogu kvalitetno zadovoljiti potrebe potrošača i isporučiti odgovarajuće količine električne energije što nameće potrebu njihovog zajedničkog rada i međusobnog povezivanja (Jakovac 2010). Osim toga, električna energija se proizvodi i prenosi u okviru elektroenergetskog sustava za nepoznatog potrošača, dok paralelno ne postoji način kojim bi se jedinica električne energije isporučena potrošaču mogla fizički slijediti do proizvođača koji ju je proizveo.

Nadalje, elektroenergetski sektor se smatra kapitalno intenzivnim (Jakovac 2010; Beber, Pašičko i Car, 2018; Wang, Mugera i White 2019; Liu i dr. 2021) što znači da su mu fiksni troškovi veći od varijabilnih. Veći proizvodni kapaciteti rezultiraju nižim prosječnim troškovima po jedinici proizvedene električne energije, što korelirala s ekonomijom razmjera. S porastom obujma proizvodnje opadaju jedinični troškovi električne energije. Prema Roumasset, Chakravorty i Kinping (1997) svaka je faza životnog ciklusa energije (istraživanje, ekstrakcija, pretvorba i potrošnja) potpomognuta tehnologijom koja odgovara određenoj vrsti i klasi goriva. Slijedeći takva promišljanja, zastupa se stajalište da je implementacija novih tehnologija proizvodnje energije u pojedinim gospodarstvima povezana s razinom kapitalne intenzivnosti gospodarstva, kao omjerom kapitala i rada. Tehničke promjene u proizvodnji energije obično teže većoj upotrebi kapitala od rada (Acemoglu 2002). Mogu biti potaknute promjenama relativnih faktorskih cijena (cjenovni učinak kroz promjenu visine troškova) ili promjenom relativne količine faktora, odnosno povećanjem intenziteta kapitala (učinak veličine tržišta). Promjena relativnih faktorskih cijena stvorit će poticaje za razvoj inovativnih tehnologija koristeći skuplji faktor, odnosno kapital umjesto rada. Promjene relativne količine faktora potaknut će tehnološki napredak korištenjem prevladavajućeg faktora, odnosno kapitala. U tom kontekstu, povećanje kapitalnog intenziteta potaknut će tehničke promjene usmjerene na modernu energiju koja je kapitalno intenzivna (Wang, Mugera, i White 2019). Napredne energetske tehnologije obično prihvaćaju dobavljači energije u gospodarstvu s relativno visokim kapitalnim intenzitetom, zbog zahtjeva za kvalificiranom radnom snagom i infrastrukturom. Ciljevi dekarbonizacije električne energije, primjerice, ne mogu se ostvariti bez upotrebe tehnologije koja koristi obnovljive izvore energije (Motuziene i dr. 2022). Njihovo prihvaćanje vjerojatnije je u gospodarstvima s visokim kapitalnim intenzitetom.

Elektroenergetski sektor prati rizičnost ulaganja u proizvodnju, potencirana visokim fiksnim infrastrukturnim troškovima te teško predvidivim ekonomskim uvjetima proizvodnje (cijena goriva, tehnološki napredak, promjene u politici i dr.). Zbog toga je dugoročno planiranje jedan od preduvjeta smanjenja troškova i rizika ulaganja u elektroenergetski sektor. Kroz tzv. “integrirano planiranje resursa” proizvođači nastoje odrediti najisplativiju kombinaciju resursa. To uključuje procjenu vrste goriva, veličinu i vrijeme ulaganja u nove resurse kako bi se zadovoljila očekivanja buduće potražnje (Hartman 2016). Jakovac (2010) povezuje racionalnost u radu i razvoju elektroenergetskog sektora prvenstveno s racionalnom politikom ulaganja, dok se u manjoj mjeri odnosi na povećanje produktivnosti i rentabilnosti sustava nakon završetka investicijskog pothvata.

Imajući na umu veličinu i složenost elektroenergetskog sustava jedna od posebnosti je i mogućnost tzv. raspada elektroenergetskog sustava³, odnosno slučajnih prekida u opskrbi električnom energijom (Jakovac 2010). Ti prekidi zahvaćaju individualne potrošače i gospodarske subjekte te mogu uzrokovati znatne troškove. Zbog toga je stabilnost isporuke električne energije veoma važna komponenta učinkovitog upravljanja elektroenergetskim sustavom.

Električna energija povezuje međusobno sve potrošače unutar električne mreže putem vodova. To je jedini energent koji direktno ulazi i u kućanstva i u industrijska postrojenja. Ne postoji, dakle, pravi supstitut za ovaj oblik energije. Može se, stoga, reći da je električna energija gotovo nezamjenjiv energent (Jakovac 2010). Ona zahvaća sva područja ljudskog djelovanja. Pojednostavljeno, ona je osnovna energija koja na današnjem stupnju razvoja pokreće infrastrukturu (HEP Proizvodnja n.d.). Električna energija ima veliku važnost za društvenu zajednicu, s ekonomskog, ekološkog i društvenog aspekta.

2.1.2. Načini proizvodnje električne energije

U proizvodnji električne energije koriste se različite tehnologije, pri čemu neke, poput parnih kotlova, imaju dugu povijest koja seže u 19. stoljeće, dok su postrojenja za proizvodnju električne energije iz Sunčeve energije ili vjetroelektrane novija tehnologija. No, u stvarnosti, parni kotlovi i vjetroelektrane su mnogo stariji. Parni kotlovi su prvotno izumljeni za pokretanje

³ Jedan od mogućih pogonskih stanja elektroenergetskog sustava (Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o. 2017, čl. 9).

strojeva i mljevenje žita, što se i dalje koristi, ali je u 21. stoljeću njihova upotreba u prvom redu odnosu na proizvodnju električne energije.

Proizvodnja električne energije odvija se kroz tehnološke procese pretvorbe energije, pri čemu se koriste različiti izvori energenata (npr. voda ili fosilna goriva poput ugljena, plina i loživog ulja). Energija tih energenata se transformira u električnu energiju putem elektromehaničke energije koja nastaje vrtnjom u turbinama, bilo hidro ili termo, pretvarajući je u električnu energiju u generatorima. Dobivena električna energija se, potom, kroz transformatorske postaje prenosi u elektroenergetski sustav kroz koji se distribuira i otprema krajnjim korisnicima. Uz navedenu transformaciju, sve je češća i važnija pretvorba sunčeve energije u električnu energiju. Pri tome se koriste različiti načini, preko mehaničke energije vjetra, valova, plime i oseke do izravne pretvorbe bez mehaničke energije pri čemu se koriste fotonaponske elektrane i slične tehnologije. Ove vrste obnovljivih izvora energije postaju sve popularniji i značajniji u proizvodnji električne energije.

Najveći dio električne energije nastaje pretvorbom mehaničke energije koja se dobiva pretvorbom toplinske, potencijalne i kinetičke energije u elektranama. Znatno manji dio proizvodnje električne energije ostvaruje se, ili se može ostvariti, pretvorbom kemijske energije (gorive ćelije), energijom Sunčeva isijavanja (s pomoću solarnih poluvodičkih elemenata) i pretvorbom toplinske energije. Tehnološki proces u elektroenergetskom sustavu započinje osiguranjem dovoljnih količina prirodnih oblika energije, nastavlja se proizvodnjom električne energije i izvršava prijenosom i razdiobom električne energije do konačnih potrošača.

S obzirom na izvor energije odnosno energiju koja se pretvara u električnu energiju razlikuju se (Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021; Sarkar 2021):

- termoelektrane,
- nuklearne elektrane,
- hidroelektrane,
- vjetroelektrane,
- geotermalne elektrane,
- elektrane na biomasu,
- elektrane na valove, plimu i oseku,
- sunčane (solarne) elektrane.

Termoelektrane i nuklearne elektrane su temeljne proizvodne jedinice električne energije. Glavne su im značajke velike jedinične snage, visoka raspoloživost, pouzdanost i predvidivost te stabilnost tehničkih parametara glede zahtjeva elektroenergetske mreže. S obzirom na

pogonski stroj razlikuju se turbinske (parna, plinska, parno-plinska) termoelektrane i termoelektrane s motorima s unutarnjim izgaranjem (Diesel, plinska, benzinska) (Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021).

Parna elektrana proizvodi električnu energiju po principu “vanjskog izgaranja”, pri čemu se “toplina izgaranja” goriva prenosi na primarni pokretač “radnim medijem”. U generatoru pare, niskotemperaturna voda je radni medij koji prima toplinu izgaranja goriva i postaje visokoenergetska para. Toplina pare pretvara se u mehaničku energiju u parnoj turbini, a zatim u električnu energiju u generatoru (Sarkas 2015, 39). Najčešći izvori energije koji se koriste za proizvodnju električne energije u parnoj termoelektrani su fosilna goriva (ugljen, sirova nafta, prirodni plin).

Elektrane na prirodni plin proizvode električnu energiju izgaranjem prirodnog plina kao goriva. Osim prirodnog plina kao gorivo se koristi plin iz visokih peći ili lakša goriva (Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021). Postrojenja za prirodni plin koriste plinsku turbinu. Prirodni plin sagorijeva u komorama u kojima se dovodi i komprimirani zrak te se smjesa širi kroz plinsku turbinu, uzrokujući okretanje generatora i kompresora, stvarajući električnu energiju. Iz tog procesa nastaje otpadna toplina, odnosno gubitci sustava zbog drugog zakona termodinamike (Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021). U nekim postrojenjima koristi se i otpadna toplina. Elektrane na prirodni plin su cjenovno pristupačnije u odnosu na parne elektrane i s kraćim vremenom izgradnje. Također, imaju vrlo visoku termodinamičku učinkovitost u usporedbi s elektranama na ugljen ili naftu. Prirodni plin je fosilno gorivo koje ima važnu ulogu u proizvodnji električne energije na globalnoj razini zbog svoje relativne prednosti u odnosu na druga fosilna goriva. Sagorijevanje prirodnog plina proizvodi gotovo 45 % manje emisija CO₂, 80 % manje dušikovih oksida (NO_x), uz zanemarivu količinu sumpornih oksida (SO_x), čestica i žive u odnosu na ugljen kao primarno fosilno gorivo (Smith i Gülen 2012). Prirodni plin sudjeluje u četvrtini proizvodnje električne energije u svijetu. Lako se skladišti, a može se isporučiti cjevovodima ili pretočiti u tekućinu i transportirati brodovima. Poremećaji u opskrbi Europe plinom, kao posljedica ruske invazije na Ukrajinu i prekida isporuke ruskog plina plinovodima, potaknuli su velika ulaganja u terminale za ukapljeni prirodni plin (engl. *liquified natural gas*, LNG), što će omogućiti trgovinu plinom na sličan način kao s naftom. Elektrane na plin mogu se brzo uključiti i isključiti te su prikladne za sezonske i kratkoročne fluktuacije potražnje. No, upotreba prirodnog plina za proizvodnju električne energije ima i nedostataka. Unatoč znatnom doprinosu u poboljšanju kvalitete zraka, postrojenja za prirodni plin imaju negativan učinak na klimatske promjene. Iako je njihova

emisija CO₂ manja u odnosu na elektrane na ugljen, ipak je ta količina znatna. Osim toga, tijekom procesa dopremanja prirodnog plina iz rudnika do elektrane oslobađa se metan (prirodni plin koji se ispušta u atmosferu).

Kod *plinsko-parnih termoelektrana* kombiniraju se plinskoturbinski i parnoturbinski procesi. Takva kombinacija rezultira većim stupnjem djelovanja u odnosu na plinske ili parne elektrane. Kod ovih termoelektrana koristi se tekuće i plinovito gorivo, a može se koristiti i ugljen koji se pri izgaranju rasplinjava i čisti u posebnim postrojenjima ili izgara u posebnim komorama pod tlakom dok se plinovi koji, pri tome nastaju, filtriraju prije ulaska u turbinu (Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021). S obzirom na to da je za rad ovih termoelektrana potrebno čisto gorivo te da su potrebe za rashladnom vodom manje u odnosu na plinske i parne termoelektrane, prihvatljivije su s ekološkog aspekta.

Dizelske elektrane za proizvodnju električne energije koriste dizel motor kao glavni pokretač. Izgaranjem dizel goriva nastaje rotacijska energija. Alternator pretvara rotacijsku energiju dizelskog motora u električnu energiju. Kapacitet dizelskih elektrana je između 2 i 50 MW. Općenito se ugrađuju u područjima u kojima opskrba ugljenom ili prirodnim plinom nije dostupna u dovoljnim količinama, u uvjetima kada postoje potrebe za malom količinom električne energije i zadovoljenjem potreba diskontinuirane potražnje, kao i u slučajevima kada opskrba električnom energijom treba biti kontinuirana (primjerice, u bolnicama) (Rajput 2016, 218). Dizelske elektrane se koriste i kao središnja stanica za opskrbna tijela te su općenito prihvaćene kao dopuna hidroelektrana ili toplinskih stanica u kojima su postrojenja za proizvodnju u stanju pripravnosti imaju ključnu ulogu u izvanrednim situacijama. Potražnja za proizvodnjom električne energije u dizelskim elektranama unutar mreže i izvan nje raste u zemljama suočenim s poteškoćama u izgradnji novih ili rekonstrukciji postojećih hidroelektrana. Razvoj termoelektrana i hidroelektrana zahtijeva dugoročno planiranje koje nije uvijek moguće uskladiti s dinamičnim rastom potražnje za električnom energijom stanovništva i industrije. Upotreba dizelskih elektrana povećava emisiju stakleničkih plinova, a troškovi električne energije su iznimno visoki jer kupci plaćaju energiju, gorivo koje se koristi u proizvodnji električne energije te druge povezane izravne i neizravne troškove (Kabeyi i Olanrewaju 2023). Ove elektrane imaju visoke operativne troškove, kao i troškove održavanja i podmazivanja. Kapacitet dizelskih jedinica je ograničen i ne mogu se konstruirati u velikim dimenzijama. Ozbiljan problem ovih elektrana je buka koju proizvode. Proizvodnja dizelske energije uključuju česte kvarove što znači i manju pouzdanost i dostupnost energije. Rajput (2016, 218) među prednostima dizelskih elektrana navodi: jednostavan dizajn i montažu, mogu

odgovoriti na različita opterećenja bez ikakvih poteškoća, manji su gubici u stanju mirovanja, zauzimaju manje prostora, mogu se vrlo brzo uključiti i isključiti, zahtijevaju manje količine vode za hlađenje, iziskuju niže kapitalne troškove od parnih elektrana, zahtijevaju manje operativnog i nadzornog osoblja u odnosu na parne elektrane, učinkovitije su od parnih elektrana u rasponu snage od 150 MW.

Proizvodnja električne energije iz fosilnih goriva sudjelovala je u ukupnoj globalnoj proizvodnji električne energije u 2022. godini s oko 60 %, uz sudjelovanje ugljena s oko 35 % (Statista Research Department 2023), što iziskuje dodatne napore u smanjenju emisije stakleničkih plinova u atmosferu. Tehnologijom hvatanja CO₂ povećava se ekološka prihvatljivost elektrana na fosilna goriva. U primjeni su tri tehnike za uklanjanje i 'pročišćavanje' CO₂: naknadno sagorijevanje, prethodno sagorijevanje i izgaranje kisikom. Njihova primjena povećava troškove proizvodnje električne energije, ali ima pozitivne učinke na zaštitu okoliša. Primjerice, u postrojenjima u kojima fosilno gorivo izgara u kisiku umjesto u zraku, izdvaja se gotovo čisti CO₂ koji se može transportirati i skladištiti. Procesi u tim elektroenergetskim postrojenjima nazivaju se "nultom emisijom" s obzirom na to da se sav CO₂ može uhvatiti. Ova metoda je učinkovitija od metode naknadnog i metode prethodnog sagorijevanja. No, početni proces sagorijevanja kisika je energetski intenzivan.

Nuklearne elektrane su termoelektrane u kojima je izvor topline nuklearni reaktor. Za razliku od drugih termoelektrana koje koriste fosilna goriva, nuklearne elektrane koriste fisijско gorivo koje omogućuje lančanu reakciju fisije. Tipične karakteristike termoelektrana odnose se i na nuklearne elektrane. Toplina proizvedena parom pokreće parnu turbinu povezanu s generatorom koji proizvodi električnu energiju. No, u usporedbi s termoelektranama na druge vrste goriva, u procesu proizvodnje električne energije nuklearne elektrane proizvode vrlo male količine stakleničkih plinova. Zbog toga se u tom segmentu često uspoređuju s energetskim lancem vjetroelektrana i ubrajaju se u nisko-ugljične tehnologije za proizvodnju električne energije (Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva 2008). Nadalje, nuklearna energija, ima značajan doprinos povećanju diferencijacije izvora energije. Prednost njenog korištenja u odnosu na druge načine proizvodnje električne energije jest što cijene, dobivene električne energije, imaju nisku razinu osjetljivosti na promjenu cijene primarnog energenta, nuklearnog goriva (Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva 2008). Rajput (2016) navodi prikladnost izgradnje nuklearnih elektrana u područjima s potencijalom industrijskog razvoja, ali ograničenih konvencionalnih izvora energije te u situaciji kada postojeća elektroenergetska mreža ima potrebu za dodatnim zadovoljenjem energetske potražnje, jer su postojeći

hidroenergetski resursi maksimalno iskorišteni, a fosilna goriva su nedostatna ili proizvode visoke troškove transporta. Iako upotreba nuklearne energije ima najveći potencijal za smanjenje emisije stakleničkih plinova, njezina primjena iziskuje sustavno planiranje odlaganja otpada kako bi se spriječile negativne posljedice na okoliš. Rajput (2016) među glavnim prednostima nuklearnih elektrana navodi potrebu za manjim prostorom u odnosu na druge konvencionalne elektrane jednake veličine, ispunjenje velikih potreba za energijom, bolje performanse pri visokim faktorima opterećenja (80 do 90 %), vrlo mala potrošnja goriva u odnosu na konvencionalne vrste elektrana, veća pouzdanost rada nuklearnih elektrana, otpornost na nepovoljne vremenske uvjete, veći kapacitet i dr. Međutim, nuklearne elektrane imaju i određene nedostatke. Najznačajniji su zbrinjavanje radioaktivnog otpada, štetni uvjeti rada za zdravlje radnika, kao i posljedice koje bi mogle nastati terorističkim ili ratnim aktivnostima na području s nuklearnom elektranom. Rajput (2016) u nedostatke uključuje i: visoke kapitalne troškove, stalno prisutnu opasnost od radioaktivnosti u nuklearnim stanicama što iziskuje i veće mjere opreza i održavanja, izostanak učinkovitog upravljanja kod različitog opterećenja, visoke troškove održavanja.

U *hidroelektranama* se za proizvodnju električne energije koristi energija vode koja pomiče turbine koje zatim pokreću električne generatore. Energija vode koja se, pri tome, koristi može biti kinetička ili potencijalna. Hidroenergija je konvencionalni obnovljivi izvor energije, čist, bez zagađenja i općenito bez štetnih utjecaja na okoliš. Rajput (2016) među glavnim preprekama u korištenju hidroenergetskih resursa identificira velika ulaganja, dugo razdoblje razvoja i povećane troškove prijenosa električne energije. Uz termoenergiju, hidroenergija je važna za proizvodnju električne energije. Prema podacima Statista Research Department (2023) hidroelektrane su sudjelovale s oko 15 % u ukupnoj svjetskoj proizvodnji električne energije u 2022. godini. Osim prednosti, hidroelektrane imaju i nedostatke. Na proizvodnju električne energije u hidroelektranama potrebna je stalna dostupnost vode. U tu svrhu može se koristiti voda prikupljena u prirodnim jezerima i akumulacijama na velikim nadmorskim visinama ili se može voda skladištiti izgradnjom brana preko tekućih potoka. Dostupnost vode ovisi o količini oborina kao primarnom izvoru vode na koju utječu klimatski čimbenici, kao što su temperatura, vlažnost, naoblaka, vjetar i dr. Neke od prvih inovacija u korištenju vode za energiju sežu daleko u prošlost, u vrijeme dinastije Han u Kini između 202. godine pr.n.e. i 9. godine (okretni čekići pokretani okomito postavljenim vodenim kotačem korišteni za mljevenje i ljuštenje žitarica, lomljenje rude i dr.). No, tek krajem 19. stoljeća voda se koristi za potrebe proizvodnje električne energije. Prva hidroelektrana pokrenuta je 1882. godine u Wisconsinu u Sjedinjenim

Američkim Državama (skr. SAD), a desetljeće koje je uslijedilo obilježilo je stavljanje u pogon stotine hidroelektrana, a njihov razvoj prati kontinuitet do današnjih dana. Iako su hidroelektrane važan segment razvoja društva te su omogućile proizvodnju električne energije, činjenica je da je postavljanje brana preusmjerilo tokove rijeka i potoka, te često dovelo do društvene nepravde potapanjem cijelih sela, šteta u okolišu i ugroženosti slatkovodnog biljnog i životinjskog svijeta. Na svijetu postoji više od 45.000 brana viših od četiri kata (The World Commission on Dams 2000). Izvješće Svjetske komisije za brane (engl. *The World Commission on Dams*, WCD) iz 2000. godine ukazalo je na potrebu preispitivanja opravdanosti dotadašnje prakse i iniciralo promjene u planiranju i razvoju hidroelektrana u fokusu održivosti i društvene pravednosti. Različite opcije proizvodnje električne energije u 21. stoljeću ostavljaju mogućnost društvenim zajednicama preispitivanja i drugih mogućnosti kako bi riješile problem proizvodnje i zadovoljenja potreba za električnom energijom. Napori na globalnoj razini doveli su do razvoja Protokola za ocjenu održivosti hidroenergije (engl. *Hydropower Sustainability Assessment Protocol*, skr. HSAP), alata za procjenu projekata koji uključuje niz društvenih, ekoloških, tehničkih i ekonomskih kriterija Međunarodnog udruženja za hidroenergiju. Protokol je prvi put objavljen u 2010. godini, a posljednji je put izmijenjen 2020. godine. Protokol pokriva sve faze životnog vijeka projekta: planiranje, pripremu, provedbu i rad (International Hydropower Association 2020). Primjena Protokola omogućava procjenu održivosti razvoja i rada hidroelektrane. Inicijativa za održivu hidroenergiju na globalnoj razini pridonosi borbi protiv klimatskih promjena i zaštiti okoliša.

Vjetroelektrane proizvode električnu energiju uz pomoć energije vjetra. Kinetička energija vjetra se pretvara u električnu energiju pomoć jedne ili niza vjetrovskih turbina (Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021b). Iako se vjetar koristi više stoljeća za mljevenje žita ili crpljenje vode, interes velikih razmjera za proizvodnju električne energije prisutan je tek posljednjih 50-ak godina. Prednosti energije vjetra ogledaju se u njejoj obnovljivosti, nema potrebe za opskrbom gorivom i prijevozom u sustavima za pretvorbu energije vjetra, ekonomski je konkurentna te je idealan izbor za ruralna i udaljena područja te područja u kojima nedostaju drugi izvori energije (Rajput 2016, 498). Osim prednosti, proizvodnja električne energije u vjetroelektranama ima određene nedostatke. Jačina vjetra nije konstantna što otežava planiranje opskrbe električnom energijom proizvedenom iz vjetroelektrana. Dostupnost energije vjetra varira te je ovisna o vremenskim uvjetima. Osim toga, sustavi za pretvorbu energije vjetra proizvode buku u radu te su potrebne velike površine za njihovu ugradnju. Izgradnja vjetroelektrana uvjetovana je povoljnim geografskim lokacijama minimalne jačine vjetra od 20

km/h, daleko od naseljenih područja. Kako bi se postigla kontinuiranost energije vjetra potrebno ju je skladištiti u baterijama za pohranu energije i/ili upotreba dizelskih generatora za napajanje kontinuiranom snagom. Kao jedan od nedostataka ističe se i velika težina lopatica vjetroturbina što otežava njihovu ugradnju, a konstrukcija namijenjena izdržljivosti u ekstremnim vremenskim uvjetima otežava njihovo rastavljanje i odnošenje na odlagalište otpada. Nadalje, vjetroelektrane, ne mogu samostalno odgovoriti na veće zahtjeve potražnje. No, tehnološke inovacije omogućuju proizvodnju električne energije u velikim količinama. Ulaganja vlada širom svijeta u obnovljive izvore energije potaknuli su investicije u vjetroelektrane i njihov dinamičan razvoj.

Geotermalne elektrane iskorištavaju prirodne podzemne izvore topline za proizvodnju električne energije (Li i dr. 2023). Za pokretanje generatora koristi se vruća voda i para iz Zemlje, što geotermalnu energiju čini prihvatljivom s ekološkog stajališta bez ispuštanja štetnih plinova u atmosferu. U procesu proizvodnje električne energije samo se ispušta para. U primjeni su tri vrste geotermalnih elektrana (International Renewable Energy Agency, 2017, 8):

- elektrane izravne suhe pare (engl. *Direct dry steam plants*) – uređaj za pretvorbu je parna turbina dizajnirana za izravno korištenje tekućine niskog tlaka i velikog volumena proizvedene u parnom polju. Suhe parne elektrane obično koriste kondenzacijske turbine. Kondenzat se ponovno ubrizgava (zatvoreni ciklus) ili isparava u mokrim rashladnim tornjevima. Temperatura pare koja se koristi je 150° C ili više,
- elektrane separirane pare (engl. *Flash plants*) – najčešći je tip geotermalnih elektrana. Princip rada je sličan elektranama na izravne suhe pare, ali se para dobiva procesom odvajanja koji se naziva treperenje. Para se zatim usmjerava na turbine, dobiveni kondenzat se šalje na regeneraciju ili daljnje treperenje pri nižem tlaku. Elektrane separirane pare najbolje rade s temperaturama bušotina većim od 180 °C,
- binarne elektrane (engl. *Binary plants*) – voda koja se kod ovih elektrana koristi je niže temperature u odnosu na druge geotermalne elektrane. Postupak ima veću efikasnost, a niže temperature vode omogućuju veću dostupnost potrebnih geotermalnih rezervoara. Binarne elektrane se obično koriste za temperature resursa između 100 °C i 170 °C. Iako mogu raditi i s temperaturama nižim od 100 °C, učinkovitost proizvodnje električne energije se smanjuje. Koristi se zatvoreni sustav s obzirom na to da se korištena voda vraća ponovno u rezervoar pa je manji gubitak topline, a gubitka vode gotovo nema,

- elektrane kombiniranih ciklusa ili hibridne elektrane – korištenjem kombiniranih ciklusa osigurava se relativno visoka učinkovitost. Tipična veličina elektrana s kombiniranim ciklusom kreće se od nekoliko MW do 10 MW. Hibridne geotermalne elektrane kombiniraju različite izvore topline, primjerice, toplinu iz koncentriranog postrojenja za solarnu energiju koja se dodaje geotermalnoj slanoj vodi, povećavajući temperaturu i izlaznu snagu.

Geotermalna energija je klasificirana kao obnovljiva jer je gotovo neiscrpna kao što je solarna energija ili energija vjetra. U usporedbi s drugim obnovljivim izvorima energije, geotermalna energija ima potencijal za stabilniju i dosljedniju proizvodnju električne energije, jer je dostupna tijekom cijele godine. Osim toga, proizvodnja električne energije u geotermalnim elektranama ima niže operativne troškove (International Renewable Energy Agency, 2017). Međutim, za proizvodnju električne energije potrebni su izvori sa srednje ili visokim temperaturama koji se obično nalaze u blizini aktivnih vulkana. Glavnom preprekom razvoju proizvodnje električne energije iz geotermalne energije identificirane su poteškoće u osiguranju sredstava za istraživanje i operacije bušenja. Rješenje ovog problema vidi se u javnom financiranju i osnivanju javnih poduzeća za iskorištavanje geotermalnih resursa. Među ostalim preprekama su dugotrajni administrativni postupak izdavanja dozvola i često složena procedura javnih rasprava na razini lokalne zajednice o korištenju geotermalnih resursa što može utjecati na dugo razdoblje realizacije projekata. Ograničenje predstavljaju i različiti propisi provedbe procjene utjecaja na okoliš u različitim zemljama (International Renewable Energy Agency, 2017). Projekti geotermalne energije su kapitalno intenzivni, kao i drugi projekti vezani za proizvodnju električne energije. No, imaju vrlo niske i predvidljive operativne troškove. Elektrane na geotermalnu energiju, kao alternativan način proizvodnje električne energije, mogu imati značajan doprinos u nastojanjima da se smanje učinci klimatskih promjena. Predstavljaju čiste izvore energije u zemljama s lako dostupnim geotermalnim resursima.

Elektrane na biomasu koriste biomasu za proizvodnju električne energije. Biomasa je organska tvar biljnog, životinjskog i mikroorganskog podrijetla, živa ili neživa, nastala rastom na kopnu i u vodi. Uključuje i energetske usjeve i otpad, kao što su ostaci šumarstva (pamučne stabljike, neoljuštena slama, rižina ljuska, piljevina) i niz drugih poljoprivrednih i industrijskih nusproizvoda, koji se svi mogu koristiti za proizvodnju energije (Gebreegziabher i dr. 2014, 1412). Biomasa se koristi za proizvodnju bioplina, biodizela, biobenzina, kao i paleta koji se spaljivanjem koriste za proizvodnju energije. Energija dobivena iz biomase naziva se energijom

biomase (Rajput 2016, 519). Jedan je od oblika obnovljivih izvora energije jer se organske tvari generiraju svakodnevno, za razliku od ugljena, nafte i prirodnog plina nastalih od mrtve, zakopane biomase pod tlakom i temperaturom tijekom milijuna godina. Koristi se i za proizvodnju električne energije i za grijanje termokemijskim i biokemijskim procesima pretvorbe kao što su izgaranje, uplinjavanje, piroliza i anaerobna/aerobna probava (Gebreegziabher i dr. 2014, 1412). Prednosti korištenja biomase u proizvodnji električne energije ogledaju se u niskoj cijeni biomase te pretpostavljene nulte emisije ugljika u odnosu na fosilna goriva. No, biomasa ima vrlo visok sadržaj vlage što smanjuje učinkovitost izgaranja (Bridgwater, Toft, i Brammer 2002), uzrokuje poteškoće u radu te prijeti ekološkim ograničenjima. Stoga su elektrane na biomasu često integrirane s postrojenjima u kojima se biomasa usitnjava i termički obrađuje (suši) prije upotrebe (Le Lostec i dr. 2008; Gebreegziabher i dr. 2014). Nedostaci korištenja biomase ogledaju se u intenzivnim zahtjevima sušenja, varijabilnosti vrsta i veličina biomase te velikog jaza u toplinskoj učinkovitosti sušenja. Sušenje iziskuje povećanje troškova energije, a prisutna je i zabrinutost vezane uz emisiju stakleničkih plinova izgaranjem fosilnih goriva. Gebreegziabher i dr. (2014) ističu kako ispravno korištenje pare ili otpadne topline ili elektrane za sušenje može značajno smanjiti troškove energije. Sušenjem biomase parom smanjuju se gubitci energije te se pravilnom integracijom parne elektrane i sušenja biomase može povećati energetska učinkovitost elektrane na biomasu.

Elektrane na valove, plimu i oseku u proizvodnji električne energije koriste energiju oceana. Općenito se energija mora može podijeliti u četiri kategorije (Rajput 2016, 506): energija plime i oseke, energija valova, pretvorba toplinske energije mora i energija koja nastaje iz sustava sunce-more kao posljedica isparavanja vode sunčevim zagrijavanjem, odnosno hidrološkim ciklusom. Tako dobivena energija je obnovljiva energija. Prva komercijalna elektrana koja je koristila plimu i oseku u svijetu konstruirana je u Francuskoj 1965. godine preko ušća estuarija La Rance, kapaciteta 240 MW. Kako se ne bi dublje ulazilo u problematiku elektrana na valove, plimu i oseku, na ovom mjestu se samo daje uvid u prednosti i nedostatke korištenja snage mora u proizvodnji električne energije. Rajput (2016) među prednostima posebno ističe neiscrpljivost energije mora uz izostanak zagađenja okoliša kod proizvodnje električne energije. Osim toga elektrane ne zauzimaju velike površine, a u kombinaciji s termalnim ili hidroelektričnim sustavom mogu zadovoljiti vršnu potražnju za električnom energijom. Kod sustava proizvodnje električne energije uz pomoć valova, štiti se obalna linija od destruktivnog djelovanja velikih valova, smanjuje erozija i pomaže u stvaranju umjetne luke. Kod elektrana na plimu i oseku

nedostatak čini prvenstveno varijacije u rasponu plime i oseke što onemogućava ujednačenost dobivene izlazne energije i nepouzdanost, kao i kod elektrana koje koriste energiju valova. To nadalje utječe na učinkovitost elektrana. Osim toga, zbog morske vode veća je opasnost od korozivnih djelovanja na postrojenjima. U usporedbi s drugim izvorima energije, elektrane na energiju mora su znatno skuplje, a troškovi prijenosa energije su visoki. Elektrane koje koriste energiju valova, primjerice, moraju visoke zahtjeve otpornosti na iznimnu snagu valova.

Sunčane (solarne) elektrane pretvaraju sunčevo zračenje u električnu energiju uz pomoć različitih sustava (solarne toplinske elektrane, fotonaponske elektrane i dr.). Sunčeva energija koja se dobiva na površini Zemlje ovisi o lokaciji, godišnjem dobu, dobu dana, vremenskim uvjetima i sl. Proizvodnja električne energije u solarnim elektranama je ekološki potpuno prihvatljiva jer ne stvara elemente zagađenja okoliša. Uz trenutno dostupnu tehnologiju, solarne energija je jedna od najučinkovitijih i najobilnijih obnovljivih izvora energije. Obično se solarne elektrane grade na velikim otvorenim prostorima, u obliku solarnih farmi, koje proizvode veće količine energije. S obzirom na to da je riječ o ograničenom i povremenom izvoru, solarne elektrane mogu zadovoljiti vršnu potražnju. Nepouzdanost i neusklađenost između dostupnosti izvora i potražnje za energijom predstavljaju ključne probleme jače implementacije solarnih elektrana. Problem se nastoji riješiti inovacijama u segmentu pohranjivanja viška energije tijekom vršnih sati sunca koja se koristi tijekom noći za kontinuiranu proizvodnju električne energije u postrojenjima koncentrirane solarne energije (Alnaimat, i Rashid 2019; Crespo 2021). Održivo i trajno skladištenje energije vidi se kao opcija koja bi omogućila veću implementaciju solarnih energija.

Evidentno je da se za različite izvore energije koriste različiti načini njezine pretvorbe u električnu energiju uz korištenje odgovarajućih postrojenja. Inovativna rješenja čine dostupnim nove izvore energije, a njihovim međusobnim kombiniranjem postiže se energetska konkurentnost i smanjuje energetska ovisnost. U Tablici 1 dan je uvid u oblike primarne energije prema obnovljivosti i konvencionalnosti primjene.

Tablica 1. Oblici primarne energije prema obnovljivosti i konvencionalnosti primjene

Oblik primarne energije	Neobnovljiv	Obnovljiv	Konvencionalan	Nekonvencionalan
Ugljen	×		×	
Sirova nafta	×		×	
Prirodni plin	×		×	
Nuklearno fizijsko gorivo	×		×	
Ogrjevno drvo		×	×	
Vodne snage (velike HE)		×	×	
Vodne snage (male HE)		×		×
Geotermalni izvori		×		×
Biomasa i otpad		×		×
Vjetar		×		×
Sunčeva energija		×		×
Toplina okoline		×		×
Plima i oseka		×		×
Morski valovi		×		×

Izvor: Izrada autora prema: Rajput, R. K. (2016). A textbook of power plant engineering. New Delhi: Laxmi Publications (P) Ltd. <https://dokumen.pub/a-textbook-of-power-plant-engineering-5nbsped-9788131802557.html> (pristupljeno 11. siječnja 2023.)

Iz Tablice 1 može se vidjeti da svi konvencionalni izvori energije nisu obnovljivi, dok su svi obnovljivi izvori energije konvencionalni. Cilj je postići stabilnost opskrbe potrošača proizvodnjom električne energije iz različitih izvora, uz sve veću zamjenu fosilnih goriva obnovljivim izvorima.

2.2. Upravljanje elektroenergetskim sustavima

Elektroenergetski sustav je složen sustav u tehničkom i tehnološkom smislu kojim je obuhvaćena proizvodnja, prijenos, raspodjela i potrošnja električne energije na lokalnoj, regionalnoj ili nacionalnoj razini (Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021a). Za proizvodnju električne energije koristi konvencionalne i nekonvencionalne izvore energije. Konvencionalnu proizvodnju električne energije karakterizira centralizirana proizvodnja velikih razmjera u centraliziranim postrojenjima, pri čemu je mjesto proizvodnje često vrlo udaljeno od mjesta potrošnje. Učinkovito upravljati elektroenergetskim sustavom znači “osigurati da se u svakom trenutku svakom potrošaču dostavi onoliko električne energije kolika je njegova trenutna potreba” (Tešnjak, Banovac i Kuzle 2009, 2).

Elektroenergetski sustavi su u početku radili neovisno jedan o drugom. Velike elektrane djelovale su kao izolirana postrojenja integrirana u električnu mrežu, smještene uz sam izvor

energije ili na velikoj udaljenosti od krajnjih potrošača. S obzirom na veću udaljenost koju je električna energija trebala prijeći od elektrane do potrošača bilo je nužno postojanje velikih trafostanica s transformatorima, za podizanje napona električne struje, odnosno smanjenje tog napona kako bi je potrošači mogli koristiti. Potrošače je električnom energijom opskrbljivalo poduzeće na njegovom području kroz vlastiti sustav isporuke električne energije. Centralizirana proizvodnja postrojenja uključuju elektrane na fosilna goriva, nuklearne elektrane, hidroelektrane, vjetroelektrane i dr. Elektroenergetski sektor su obilježila rastuća tržišta na kojima dominira malo tvrtki, velike mreže, velike proizvodne jedinice i korištenje fosilnih goriva i obogaćenog urana kao izvora goriva (Takashi i dr. 2005, I).

U drugoj polovici 20. stoljeća postaje jasno da se povezivanjem elektroenergetskih sustava može postići veća učinkovitost i ekonomičnost. Električnu energiju potrošačima može isporučiti lokalni distributer iz centralizirane elektrane koja se nalazi u sasvim drugoj državi i u vlasništvu je drugog poduzeća. Električnu energiju nije moguće skladištiti, a distribucija mora biti stabilna s ujednačenom i stalno uravnotežena s potrebama potrošača. Povezivanjem elektroenergetskih sustava na međunarodnoj razini, najčešće među susjednim državama, postiže se dodatna stabilnost i pouzdanost isporuke električne energije. Prisutni su i štetni utjecaji na okoliš uslijed korištenja fosilnih izvora energije. Osim toga, postaje sve jasnije da ekonomija velikih razmjera ne postiže učinkovitost, što utječe na promjene u modelu upravljanja elektroenergetskim sustavom. Ključnu ulogu u razvoju elektroenergetskog sektora ima javna politika. Na globalnoj razini potiče se održivi razvoj i zamjena fosilnih goriva obnovljivim izvorima energije, preispituju se učinci pojedinih oblika energije na okoliš i širu zajednicu. Fokus se stavlja na distribuirane izvore energije.

2.2.1. Fizička i ekonomska svojstva elektroenergetskog sustava

Fizička i ekonomska svojstva elektroenergetskog sustava u velikoj su mjeri uvjetovala oblik organizacije i upravljanja elektroenergetskim sustavom tijekom povijesti, ograničavajući obujam primjene tržišnih mehanizama kao zamjene tradicionalnim oblicima organizacije monopola s centraliziranom proizvodnjom te vertikalnim i horizontalnim integracijama između i unutar funkcija.

Zadovoljenje različitih segmenata opterećenja omogućuje upotreba različitih elektrana s različitom raspodjelom troškova kapitala i operativnih troškova. Postrojenja za proizvodnju električne energije su relativno kapitalno intenzivna s obzirom na značajne i često dominantne

početne troškove ulaganja u ukupnim troškovima. No, omjer kapitala i operativnih troškova značajno varira. Najveći je za nuklearne elektrane, zatim velike elektrane na ugljen, vjetroelektrane, solarne elektrane i veće hidroelektrane, a najmanji za plinske turbine ili postrojenja s pokretana motorima s unutarnjim izgaranjem.

Nuklearne elektrane, elektrane na ugljen i hidroelektrane s velikim akumulacijama omogućuju stabilnu opskrbu električnom energijom. Veću isplativost postižu s dužim vijekom upotrebe kako bi se amortizirali vrlo visoki kapitalni troškova tijekom maksimalnog broja sati i smanjio jedinični trošak proizvodnje svakog kilovat-sata. To vrijedi i za solarnu energiju i vjetar, no kod ovih elektrana nije moguće kontrolirati opseg njihove upotrebe što onemogućava stabilnu isporuku energije. Posljedično, nuklearne elektrane, elektrane na ugljen i neke hidroelektrane optimalne su za zadovoljenje potražnje osnovnog opterećenja. Elektrane s plinskim turbinama ili generatori koji koriste motore s unutarnjim izgaranjem obično se preferiraju za zadovoljenje vršne potražnje ili kod rješavanja hitnih situacija. Na primjer, na otocima ili drugim izoliranim turističkim odredištima tijekom sezone ili u bolnicama u slučaju nedostupnosti električne struje iz mreže. Hidroelektrane s malim akumulacijama prikladne su za upotrebu tijekom vršnih sati zbog visokih oportunitetnih troškova.

U svrhu ekonomičnosti, stabilnosti distribucije i postizanja kvalitete u distribuciji i opskrbi stanovništva električnom energijom, elektrane se povezuju u elektroenergetske sustave putem električne mreže. Električna energija se distribuira kroz mrežu visokog napona s prijenosom na niži napon, no s upotrebom alternativnih izvora energije postoji potreba za dvosmjernim prijenosom. Električna mreža je raspodijeljena kako bi se opskrbio što veći broj potrošača (Beber, Pašačko, i Car 2018). Konvencionalna podjela energetske mreže je na prijenosne i distribucijske mreže (Bonzanni 2022, 213). Prijenos podrazumijeva prijenos električne energije na velike udaljenosti kroz visokonaponske vodove za električnu energiju, a distribucija se odnosi na mreže koje povezuju prijenosne sustave s krajnjim korisnicima putem niskonaponskih vodova. Između prijenosa i distribucije ne postoji konvencionalna linija razdvajanja. Većina električnih mreža radi pod naponom manjim od 50 kV, a u primjeni su i električne mreže napona do 132 kV. Velikim potrošačima, poput industrijskih postrojenja, omogućava se direktno spajanje na prijenosnu mrežu, pri čemu zaobilaze fazu distribucije. Evolucija energetskih sustava i spajanje alternativnih izvora energije na distribucijsku mrežu istaknula je potrebu promjene jednosmjernog rada energetskih sustava, iz visokonaponskih vodova u niskonaponske u dvosmjerni rad. Rast proizvodnje energije iz distribuiranih obnovljivih izvora spojenih na električnu mrežu dovodi i do povećanja broja slučajeva u kojima

električna energija prelazi iz niskonaponskih vodova u visokonaponske što potiče uporabu dvosmjernog rada električne mreže Promjene koje su se tijekom evolucije elektroenergetskog sustava događale utjecale su na primjenu različitih koncepata upravljanja električnom mrežom.

2.2.2. Konvencionalni oblici organizacije i upravljanje elektroenergetskim sustavima

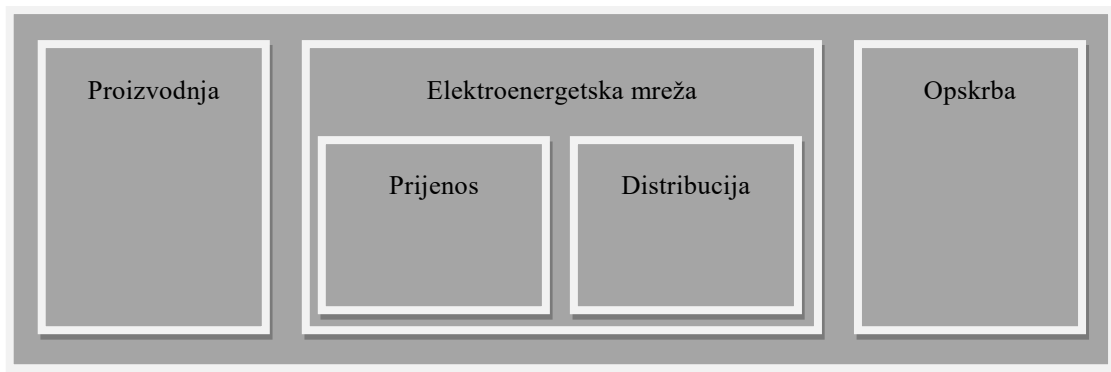
U literaturi postoji konsenzus o elektroenergetskom sektoru kao *prirodnom monopolu* (Vlahinić Lenz i dr. 2019; Bonzanni, 2022). “Poduzeće koje bilježi rastuće prinose razmjera (ekonomija razmjera) zahvaljujući neprekidnom obaranju prosječnog ukupnog troška u stanju je potisnuti sve konkurente s tržišta i osvojiti monopolni položaj” (Ferenčak 2003, 155). Uslijed postotnog povećanja njegovog ukupnog proizvoda većeg od postotnog povećanja angažiranog inputa, poduzeće je sposobno opskrbiti tržište odgovarajućim dobrom uz niži prosječni ukupni trošak nego veći broj manjih poduzeća. Ekonomija razmjera energetskih mreža je toliko velika da, bez obzira na razinu proizvodnje, dugoročni prosječni trošak prijenosa električne energije kontinuirano opada, i uvijek je iznad dugoročnog graničnog troška. To rezultira dominantnom prednošću prvog na tržištu i nepremostivom preprekom onima koji kasnije ulaze na tržište. Pokušaji ulaska konkurencije u prirodne monopole rezultiraju neuspjehom novog sudionika, izuzev u slučaju kontinuiranog subvencioniranja. Natjecanje u energetskim mrežama, dakle, nije održivo niti je poželjno.

Elektroenergetski sektor je većim dijelom svoje povijesti slijedio model koji je uspostavio Samuel Insull, glavni direktor Edison General Electric Company, kojemu se pripisuju zasluge za razvoja električne energije u SAD-u. Insull je početkom 20. stoljeća otkrio da bi sektor mogao rasti i biti profitabilan prodajom električne energije kao robe, da je dostupna ekonomija razmjera, posebno zbog postupnog povećanja učinkovitosti proizvodnje, da vertikalna integracija proizvodnje, prijenosa i distribucije omogućava razvoj drugih gospodarskih sektora, a kontrola nad tržištima pridonosi nižim troškovima. Modelom naplate potrošnje s diferenciranim cijenama (više cijene tijekom sati s najvećom potrošnjom, a niže u vrijeme niske potrošnje) stimulirao je rast potražnje, širenje korisničke baze te stvorilo priliku za izgradnju manjih elektrana i pokretanje postrojenja bliže potrošačima. Svojom poslovnom inovacijom postavio je temelje za rast Chicago Edisona te omogućio svakom kućanstvu i tvrtki u tom području pristup električnoj energiji. Njegova poslovna inovacija rezultirala je izgradnjom monopola.

Iznimku od tog općeg načela prirodnog monopola u elektroenergetskim mrežama čine relativno jednostavni vodovi istosmjerne struje u kojima, unatoč postojanju konkurencije,

pružatelji usluga mogu osigurati profitabilnost na tržištu u slučaju dovoljno velikog obujma potražnje (Bonzanni 2022). Izostanak kontrole vlasništva nad energetsom mrežom može imati za posljedicu pretjeranu tržišnu snagu, što stvara prilike za zatvaranje tržišta konkurentima i diskriminaciju između tvrtki kojima je nužno korištenje mreže, primjerice, proizvodnja i opskrba električne energije. Ekonomska teorija pokazuje da se dugoročnim ugovorima može upravljati nejednakim odnosom između vlasnika i korisnika električne mreže. No, u praksi takav odnos sudionika na tržištu obeshrabruje ulazak novih igrača, čime se monopol proširuje i na segment proizvodnje i opskrbe. Naime, proizvodnja i opskrba se ne smatraju prirodnim monopolom za razliku od faze prijenosa i distribucije koje se smatraju prirodnim monopolom bez obzira na razinu liberalizacije tržišta te je pod kontrolom nezavisnog operatora sustava (Jakovac 2010).

Promatrano kroz povijest može se uočiti dominacija vertikalno integriranih monopola, koja su često uključivala centralizirane elektrane na fosilna goriva ili nuklearne elektrane, u vlasništvu države (Uredba (EU) 2019/943 2019, t. 2). Osim vertikalno integriranog poduzeća koji pruža usluge u cijelom lancu, prisutna je i vertikalna integracija unutar razdijeljenih funkcija elektroenergetskog sustava, kako je prikazano shemom 1. Također, je primijenjeno centralizirano upravljanje poslovanjem što je proizašlo iz složenosti procesa planiranja, razvoja i upravljanja elektroenergetskim sustavom te činjenice da interno upravljanje pojednostavljuje upravljanje komercijalnim vezama između pojedinih subjekata unutar elektroenergetskog sustava (Prša 2015).



Shema 1. Vertikalno integrirana poduzeća u elektroenergetskom sustavu

Izvor: Bonzanni, Andra. (2022). The Economics of Energy Networks. U *The Palgrave Handbook of International Energy Economics*, (e-book) ur. Hafner, Manfred, i Giacomo Luciani, 213-233. Cham: Palgrave Macmillan, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-86884-0> (pristupljeno 10. ožujka 2023.)

Filipović i Tanić (2010) identificiraju prednosti integracije unutar elektroenergetskog sustava:

- zajedničkim vlasništvom omogućena je minimalizacija troškova u znatnoj većoj mjeri nego kod razdvojenih djelatnosti,
- vertikalna integracija proizvodnje i prijenosa ublažava komercijalnu vezu između investicija u proizvodne kapacitete i povrata uloženi sredstava. Prisutan visok rizik neizvjesnosti povrata uloženi sredstava interes investitora usmjerava ka ulaganju samo u slučaju osiguranja investicija, primjerice u obliku dugoročnog ugovaranja isporuke,
- u segmentu proizvodnje i distribucije, integracija pridonosi investicijskom planiranju i hitnim intervencijama u opskrbi potrošača.

Iskorištavajući svoj tržišni položaj monopolisti mogu putem cijene električne energije bitno utjecati na druge gospodarske sektore i društvo u cjelini. U slučaju kada se monopolist rukovodi isključivo maksimiziranjem profita, može podignuti cijene električne energije iznad graničnih troškova. S obzirom na vrlo nisku cjenovnu elastičnost potražnje za energijom i prelijevanja troškova energije na druge gospodarske sektore i građanstvo, takve odluke mogu bitno utjecati na smanjenje aktivnosti gospodarskih subjekata i platežne moći stanovništva. Zbog toga javna intervencija može biti opravdana. Ona se manifestira u obliku promjene vlasništva ili regulacije države unutar energetskog sektora. Unatoč značajnim razlikama ova dva modela, oba osiguravaju da monopolistu nije u prvom planu maksimiziranje profita već da se pri oblikovanju politike cijena bude društveno odgovoran uzimajući u obzir učinke njegovih odluka na društvenu zajednicu.

Javno vlasništvo je jedna od mjera koja se poduzimaju kako bi se spriječila zlouporaba tržišne moći monopolista. Takva politika je bila široko zastupljena u drugoj polovici 20. stoljeća širom svijeta. U mnogim zemljama svijeta nakon drugog svjetskog rata elektroenergetski sektor je nacionaliziran, u prvom redu iz strateških potreba, a organizaciju je, u pravilu, činila jedno vertikalno integrirano poduzeće (Vlahinić Lenc 2019). Takva organizacija elektroenergetskog sektora imala je svojstvo prirodnog monopola u vlasništvu države. Nacionalizacija energetskog sustava u Francuskoj je provedena 1946. godine, a u Velikoj Britaniji 1948. godine. Opravdanost nacionalizacije se naglašavala u pitanjima pravednosti, “poštenog” određivanja cijena i raspodjeli proizvodnje uz kontinuirani razvoj energetskog sektora (Chick i Nelles 2007). Nacionalizacijom je nestala konkurencija. Unatoč tome, nacionalizacija je stekla odgovarajuću reputaciju povezivanjem s industrijama za koje je postojala vjerojatnost da će iskorištavati ekonomiju razmjera koja proizlazi iz visokih stopa rasta potražnje. Potražnja za električnom energijom u Francuskoj i Velikoj Britaniji rasla je 1950-ih i 1960-ih godina po godišnjoj stopi od oko 7 %. (Chick i Nelles 2007). Nova ulaganja za zadovoljavanje rastuće

potražnje po osnovi prosječnih, a ne graničnih troškova nisu se pokazala optimalnim. No, endogena tehnološka poboljšanja i ekonomija velikih razmjera kao rezultat novih postrojenja utjecala su na poboljšanje produktivnosti. Regulatorne agencije, u takvim sustavima, strogo su regulirale energetske politiku, a država je kroz energetske sustav provodila socijalnu politiku. Javno vlasništvo posljedica je i izravnog uključivanja središnje ili lokalne vlasti u uspostavu elektroenergetskog sustava, kao npr. općinskog komunalnog poduzeća u Njemačkoj. Jedan od oblika javnog vlasništva je i združeno vlasništvo kojeg čini djelomično ili potpuno privatni subjekti, ali im interes nije maksimiziranje profita.

Alternativni model javnom vlasništvu je *regulacija*. Kod ovog modela vlasništvo u elektroenergetskom sustavu imaju privatne tvrtke, ali javna tijela kroz zakonodavstvo i regulatorne akte reguliraju politiku cijena, uvjete pružanja usluga i druge ključne odluke vezane uz poslovanje i investicije. Tvrtke koje podliježu takvoj regulaciji nazivaju se regulatorni subjekt. Kao bi se zajamčila njihova tehnička kompetencija i neutralnost, nadležnost za donošenje pravila obično se dodjeljuje tehnokratskom tijelu koje je formalno neovisno. To je, primjerice, slučaj s energetske tvrtkom National Grid u Velikoj Britaniji koja isporučuje električnu struju i plin, a koja je podliježe regulaciji cijena i drugih mjera neovisnog energetske regulatora (Ofgem - Ured za tržište plina i električne energije) čiji je cilj zaštita potrošača, poticanje dekarbonizacije i poboljšanje energetske sustava (Ofgem n.d.).

Evidentno je da tehničko-tehnološke i ekonomske promjene imaju evolucijski karakter, dok promjene kao posljedica političkih odluka, primjerice, nacionalizacija, dovode do promjene vlasništva i, po pravilu, uključuje viši stupanj vertikalne i horizontalne integracije. Desetljeća prije pristupa liberalizaciji tržišta električne energije karakterizirana su odmakom od javnog vlasništva prema regulaciji privatnog vlasništva. Regulacija stvara pretpostavke za liberalizaciju unutar elektroenergetskog sektora.

2.2.3. *Deintegracija elektroenergetskog sustava*

Gospodarski i ekološki razlozi utjecali su na revidiranje ograničenja tržišnog natjecanje i oslanjanje na fosilna goriva tijekom 1990-ih godina. Tome su prethodili izostanak kontinuiranog tehnološkog poboljšanja i povećanja ekonomije razmjera u proizvodnji parnih turbina, prve naftne krize, nuklearne nesreće, nestašice ugljena, rastuća inflacija i dr. Tehnološki problemi u kombinaciji s problemima opskrbe gorivom i ekološkim problemima

Prisutnu tranziciju obilježavaju promjene u različitim segmentima. Tržišta se liberaliziraju i otvaraju konkurenciji. Električna energija se i dalje u većini zemalja svijeta dobiva iz centraliziranih postrojenja, kao što su elektrane na fosilna goriva, nuklearne elektrane, hidroelektrane, vjetroelektrane i dr. No, njihova izrazita financijska isplativost značajno se smanjuje uslijed velikih gubitaka energije koji nastaju pri prijenosu i distribuciji električne energije do potrošača te negativnih učinaka na okoliš. Osim toga, centralizirane elektrane mogu utjecati na okoliš emisijom onečišćujućih tvari iz zraka, korištenjem i ispuštanjem vode koja se koristi za proizvodnju pare ili hlađenje, stvaranjem otpada koji može imati opasne tvari, upotrebom zemljišta za elektrane i dalekovode (EPA 2023). Stoga se izvori fosilnih goriva nadopunjuju i zamjenjuju alternativnom energijom. Zbog iscrpljenosti fosilnih izvora i opasnosti od zagađenja okoliša, nekonvencionalni izvori energije dobivaju sve značajniju ulogu, u obliku energetske sustava temeljenog na distribuiranoj proizvodnji električne energije (Pandey i dr. 2013). Povećanje učinkovitosti više nije pod utjecajem povećanja proizvodnih kapaciteta, već pod utjecajem manjih jedinica koje se nalaze bliže mjestima potražnje. Tranziciju obilježavaju tzv. distribuirani resursi. Izvori opskrbe ili potražnje električne energije malih razmjera postaju distribuirani izvori energije za proizvodnju električne energije povezani električnom mrežom i smješteni u blizini centara opterećenja. Te promjene dovode i do “razdvajanja (engl. *unbundling*), odnosno deintegracije unutar elektroenergetskog sustava mrežnih (prijenos i distribucija) od tržišnih djelatnosti (proizvodnja i opskrba)” (Prša 2015, 20) te do vertikalne deintegracije mrežnih djelatnosti i stvaranja zasebnih tvrtki koje se ne mogu baviti drugim aktivnostima u lancu vrijednosti električne energije. Razdvajanje se odnosi na djelatnosti koje su potencijalno podložne konkurenciji, kao što je proizvodnja i opskrba, od onih kod kojih konkurencija nije moguća ili dopuštenja, kao što su prijenos i distribucija (u Europskoj uniji prijenos i distribucija energije regulirani su monopoli). Dakle, tvrtke prijenosa i distribucije su regulirani subjekti, a tvrtkama aktivnim u drugim segmentima elektroenergetskog sustava (proizvodnja i opskrba) ostavljena je mogućnost maksimiziranja profita i tržišnog natjecanja (Banovac i Zmijarević 2007). Teorija objašnjava da se razdvajanjem izbjegavaju sukobi interesa te osigurava donošenje operativnih i dugoročnih

strateških odluka vezanih uz električne mreže na neovisan i transparentan način te se izbjegava diskriminacija tvrtki aktivnih u sektoru. Bez dominantnog aktera na tržištu koji bi imao ogromnu prednost u odnosu na druge tvrtke na osnovi kontrole nad električnom mrežom, omogućeno je tvrtkama natjecanje na ravnopravnoj osnovi, investiranje i pružanje potrošačima veću razinu kvalitete usluga i niže cijene. Filipović i Tanić navode nekoliko prednosti deintegracije odnosno razdvajanja “proizvodnje i distribucije električne energije:

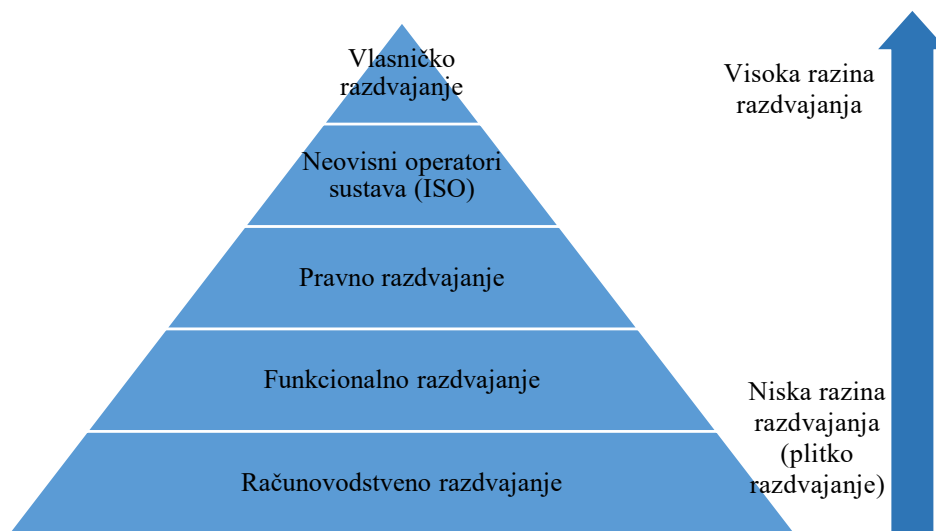
- 8) uspostava transparentnosti poslovanja čime se odstranjuju mogućnosti skrivene neefikasnosti i prelijevanje troškova,
- 9) pritisak na smanjenje distribucijskih troškova,
- 10) pritisak na smanjenje proizvodnih troškova,
- 11) postojanje prirodnog monopola u dijelu distribucijskih funkcija” (2010, 16).

Razlogom za regulirani monopol u električnoj mreži (prijenosu i distribuciji) navodi se značaj mreže u povezivanju proizvođača električne energije s potrošačima. Pristup mreži mora biti dostupan svakome tko želi prodati ili kupiti energiju po razumnoj cijeni. Nadalje, dupliciranje postojeće infrastrukture ili nije moguće ili zahtjeva vrlo velika financijska sredstva. Osim toga tvrtka koja bi kontrolirala mrežu te istovremeno je bila uključena u konkurentske segmente opskrbnog lanca imala bi interes u ograničavanju ili uskraćivanju pristupa drugim tvrtkama aktivnim u proizvodnji i/ili opskrbi. Stoga je osiguranje pravednog, transparentnog i nediskriminirajućeg pristupa svakom sudioniku elektroenergetskog tržišta prvi i nužan uvjet postizanja učinkovite konkurencije u elektroenergetskom sektoru. No, nije dovoljno jamčiti pošteno tržišno natjecanje. Naime, tvrtka koja kontrolira mrežu, u slučaju kada je obvezna odobriti pristup trećim stranama, po mogućnosti na reguliranoj osnovi, može i dalje imati koristi od nejednakih uvjeta. Konkretno, može odgoditi širenje mreže u prisutnosti zagušenja koje segmentira tržište i odnositi se diskriminirajuće prema jednom od njegovih konkurenata. Alternativno, može subvencionirati jednu od svojih tvrtki, primjerice, u sektoru opskrbe, resursima koji dolaze iz neke od njenih drugih aktivnosti. Uklanjanje takvih interesa, između ostalog, olakšava regulatorni nadzor.

Razdvajanjem funkcija, vlasništvo i upravljanje funkcijama uglavnom se podudara, no mogu ih obavljati i različiti subjekti. Razdvojene tvrtke u električnoj mreži po vlasničkoj osnovi u Europi se nazivaju (Prša 2015; Bonzanni 2022): operatori prijenosnog sustava (engl. *Transmission System Operator*, TSO) ili operatori distribucijskog sustava (engl. *Distribution System Operators*, DSOs). Bonzanni (2022) je identificirao četiri konceptualna modela razdvajanja unutar električne mreže s obzirom na vlasništvo:

- 1) razdvajanje vlasništva – vlasništvo se prenosi na novoosnovanu tvrtku koja postaje operator prenesene djelatnosti, pri čemu se ne zadržavaju nikakve veze s vertikalno integriranim poduzećem kojemu je prethodno pripadao te ne smije obavljati djelatnosti osim prijenosa i distribucije (primjerice, National Grid u Velikoj Britaniji osnovan kao nezavisni TSO),
- 2) pravno (ili funkcionalno) razdvajanje – smatra se plićim oblikom razdvajanja; vlasništvo i upravljanje mrežom prenosi se na zasebnu podružnicu vertikalno integriranog poduzeća (usvojen u Francuskoj u kojoj su električne mreže prenesene na RTE, ali jedini dioničari te tvrtke ostaje bivši vertikalno integrirani monopolist EDF),
- 3) operativno razdvajanje – još jedan od blažih oblika razdvajanja kod kojeg su vlasništvo nad električnom mrežom i upravljanje odvojeni, pri čemu vlasništvo obično ostaje vertikalno integriranom poduzeću, dok se upravljanje prenosi na neovisni subjekt, tj. neovisnog operatora sustava. Primjer su neovisni operatori sustava (engl. *Independent System Operator*, ISO) i regionalne organizacije prijenosa (*Regional Transmission Organizations*, RTOs), odnosno multidržavni mrežni operatori u SAD-u.
- 4) računovodstveno razdvajanje – vlasništvo električne mreže i upravljanje ostaju unutar vertikalno integrirane tvrtke, ali se za aktivnosti prijenosa i distribucije izrađuju zasebni financijski izvještaji. Blagi je oblik razdvajanja koji ne rezultira neovisnim donošenjem odluka, ali regulatorima pruža dovoljno informacija za praćenje ponašanja vertikalno integrirane tvrtke i eventualnu intervenciju u slučaju potrebe.

Prikaz različitih oblika razdvajanja može se vidjeti iz Sheme 2.



Shema 2. Prikaz različitih oblika razdvajanja

Izvor: Florence School of Regulation. (2020). "Unbundling in the European electricity and gas". <https://fsr.eu.eu/unbundling-in-the-european-electricity-and-gas-sectors/> (pristupljeno 17. svibnja 2023.)

S obzirom na prijenos vlasništva u primijenjenim modelima razdvajanja može se uočiti povezanost privatizacije i razdvajanja (Hofbauer 2009; Meletiou, Cambini, Masera 2018). Velika Britanija je bila prva u Europi koja je započela privatizaciju elektroenergetskog sustava 1990. godine, nakon restrukturiranja Central Electricity Generation Board (CEGB) u četiri zasebne tvrtke u vlasništvu britanske vlade. Posljednja od četiri tvrtke privatizirana je u srpnju 1996. godine, a posljednja faza privatizacije završena je u srpnju 1996. godine. Privatizacija, međutim, nije značila potpunu deregulaciju, već su nakon privatizacije regulirane maloprodajne cijene, a veleprodajne stope su zamrznute (Privatization and the Globalization of Energy Markets n.d.). U skandinavskim zemljama je, također, privatizacija uslijedila nakon razdvajanja. Norveška je u 1991. i 1992. godini deregulirala svoja tržišta električne energije, podijelivši Statkraft, nacionalnu elektroenergetsku tvrtku, u dvije neovisne tvrtke: Statkraft SF (proizvodnja električne energije) i Statnett SF (prijenos električne energije), te ih privatizirala. Nakon privatizacije uslijedila su i regionalna spajanja u skandinavskoj elektroprivredi te je norveški Statkraft kupio švedski Sydkraft (Privatization and the Globalization of Energy Markets n.d.). Između skandinavskih zemalja uspostavljen je dogovor o širenju tržišta električne energije koji obuhvaća sve skandinavske zemlje. No, privatizacija nije uvijek vezana uz razdvajanje. Primjer je Poljska, u kojoj je Nacionalni elektroenergetski sustav razdvojen u podsustave: proizvodnja, prijenos i distribucija (Ministerstva Gospodarki n.d.), ali su sve tri tvrtke u vlasništvu države.

Horizontalna integracija u proizvodnji i opskrbi smanjuje broj sudionika na tržištu i povećava tržišnu moć integrirane tvrtke (Yang, Yan i Gu 2023). Razdvajanjem horizontalne integracije u proizvodnji i opskrbi smanjuje se tržišna moć i monopolski položaj integrirane tvrtke te onemogućava diskriminacija pristupu mreži. Kao argumenti za prisutnost horizontalnih integracija navode se pojednostavljenje mehanizama kojima se osiguravaju dostatni kapaciteti i postiže ekonomija razmjera. Međutim, postizanje ekonomije razmjera ne ovisi o integraciji. Filipović i Tanić (2010) navode tri alternativna modela koja ne uključuju horizontalnu integraciju:

- 1) kooperativni model – kod kojeg se upravljanje i otpremanje odvija na nacionalnoj osnovi (primjer Belgije i Nizozemske),
- 2) regionalni model – upravljanje sustavom se povjerava regionalnim elektrodistributerima (primjer Njemačke) ili regionalnoj tvrtki za prijenos koja koordinira rad dezintegriranih proizvodnih poduzeća (primjer Danske i Luksemburga),
- 3) tržišni model – kod kojeg je prisutna konkurencija proizvodnih poduzeća (primjer Engleske i Welsa).

Osim pozitivnih učinaka, razdvajanje može imati i negativne učinke, odnosno može smanjiti ili eliminirati neke od ekonomija razmjera koje su prethodno bile dostupne vertikalno integriranim tvrtkama. Zbog toga razdvajanje zahtjeva razvoj novih mehanizama koordinacije unutar restrukturiranog sektora kako bi se ograničile nastale neučinkovitosti

Razdvajanje djelatnosti je općeprihvaćena praksa u europskim zemljama koja prethodi prilagodbi novim uvjetima poslovanja liberaliziranog tržišta električne energije (Banovac i Zmijarević 2007; Ciucci 2023). S obzirom na to da razdvajanje nije samo sebi svrha već sredstvo postizanja boljih rezultata, brojnim studijama se nastojalo pokazati učinkovitost takvog pristupa (The Energy Sector Management Assistance Program 2011; European Commission 2016). Međutim, elektroenergetski sustav ne djeluje izdvojeno od drugih utjecala pa je teško dati relevantnu ocjenu učinkovitosti razdvajanja bez šire rasprave o učinkovitosti liberalizacije.

2.3. Razvojna obilježja tržišta električne energije

Na tržištu električne energije kao i na drugim tržištima uspostavlja se trgovina robom između kupaca i prodavatelja. Cilj im je osigurati dovoljnu količinu električne energije kako bi potrebe potražnje u svakom trenutku bile zadovoljene. Tržište električne energije nije proizašlo iz neorganiziranog tržišta, već je to dizajnirano tržište (engl. *Electricity Market Design*) formirano u regulatornom procesu dijelom zato što se električna energija smatra uslugom koja zadovoljava osnovne ljudske potrebe, ali i zbog tehničkih značajki (Crampton, 2017). Električnu energiju, naime, nije moguće skladištiti u značajnim količinama, niti ju je moguće lako transportirati, a proizvodne jedinice su često suočene s ograničenjima fleksibilnosti. Zbog toga tržišta električne energije ne nastaju prirodnim putem, već ih je potrebno organizirati. Majstrović (2008) razlikuje strukturu i organizaciju tržišta. Tržišnom strukturom obuhvaćena su obilježja tržišta, primjerice, tehnološke značajke, vlasnička struktura, obilježja proizvodnje i prijenosa, razina regulacije i dr. Organizacijom tržišta obuhvaćena su njegova podržišta te njihovi međusobni odnosi i veze. Organizaciju tržišta je nužno uskladiti sa strukturom.

Promjene koje su se dogodile u elektroenergetskom sustavu protekla tri desetljeća dovele su do restrukturiranja i liberalizacije tržišta električne energije. U početku razvijeno kao monopol s vremenom se razvija do konkurentskog veleprodajnog tržišta, popraćeno promjenama u upravljanju i značajnim tehnološkim napretkom. Posljednja faza razvoja prema tržištu električne energije došla je s uvođenjem (kratkoročnog) spot organiziranog tržišta električne energije koja određuju proizvedene i potrošene količine kao i cijene za potrošenu energiju i povezane usluge u

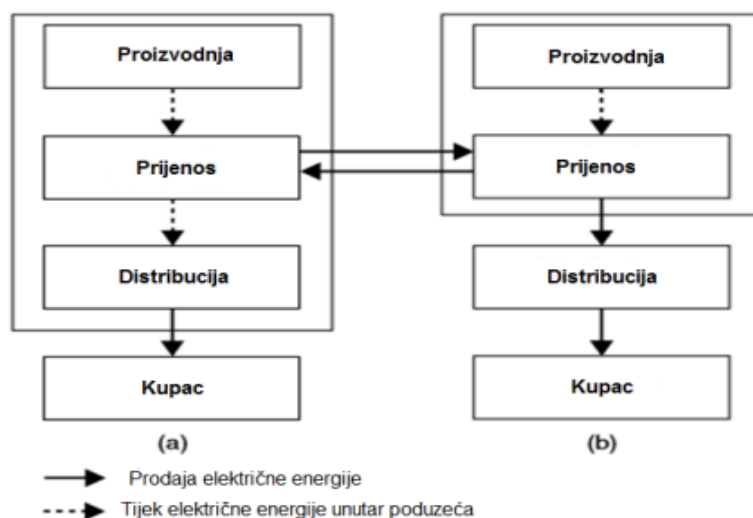
svakom trenutku i na svakoj lokaciji (Crampton 2017), s nastavkom razvoja prema potpuno otvorenom tržištu. Promjene na tržištu električne energije rezultat su poboljšanja učinkovitosti sektora, poticaja investicija, povećanja kvalitete i sigurnosti sektora te približavanja cijene električne energije troškovima (Vlahinić-Dizdarević 2011).

Majstrovic (2008) u klasifikaciji tržišta električne energije koristi kriterij roka isporuke robe (promptno i terminsko tržište), način trgovanja (bilateralno tržište i burza) te način isporuke robe (fizičko i financijsko), no promjene i novo okruženje uvodi i nove vrste tržišta kao što je tržište energije uravnoteženja, tržište zelenih certifikata i dr.

Pregled razvoja tržišta električne energije omogućava bolje razumijevanje procesa koji se događaju na tržištu električne energije pod utjecajem promjena u okruženju. Novi trendovi potaknuti promišljanjem o održivom razvoju obnovljivim izvorima energije daju ulogu promicatelja promjena na tržištu električne energije.

2.3.1. Tradicionalna struktura tržišta

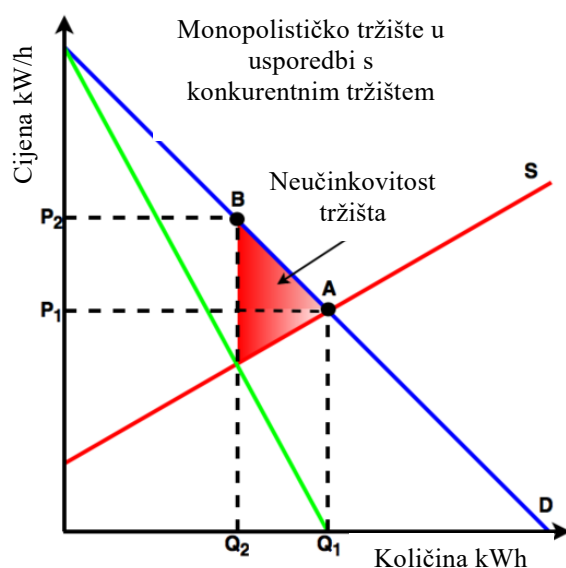
Tradicionalna struktura tržišta električne energije čini monopolnu strukturu tržišta, u kojoj je proizvodnja, distribucija, kontrola i prodaja električne energije dana jednom subjektu. Takva struktura tržišta električne energije, uspostavljena je nakon drugog svjetskog rata u velikom broju država svijeta, u prvom redu, kako bi se udovoljilo strateškim potrebama. Nacionalizacija energetskega sektora koja je pratila te potrebe i organizacija vertikalno integriranog poduzeća čija je funkcija bila opskrbljivanje potrošača na njegovom operativnom području nije ostavljala mogućnost ulaska drugih poduzeća na tržište. Specifični uvjeti u pojedinim zemljama implicirali su i različite tržišne uvjete. Tradicionalni oblik organizacije tržišta električne energije je, zapravo vertikalno integrirani monopol (engl. *Vertically integrated monopoly*) na kojem ne postoji konkurencija, a potrošači su ovisni o jednom nabavnom kanalu koji ih opskrbljuje električnom energijom. Uobičajeno je taj model bio integriran u jednom poduzeću u kojem je bio sadržan cijeli lanac, proizvodnja, prijenos, distribucija i opskrba kupca električnom energijom, najčešće na cijelom području države, a regulatorne mjere su se uglavnom odnosile na kontrolu cijene električne energije koju je provodila država koja je ujedno bila i vlasnik poduzeća (Kirschen i Strbac, 2004). Na tržištu, dakle, postoji samo jedan dobavljač za kojeg ne postoji adekvatna zamjena (Shema 3). Poduzeće je ili potpuno vertikalno integrirano (Shema 3a) ili distribucijom upravlja jedno ili više zasebnih poduzeća (shema 3b).



Shema 3. Model monopola na tržištu električne energije

Izvor: Hunt i Shuttleworth. (1996)., prema: Kirschen, D. S., i Strbac, G. (2004). Fundamentals of Power System Economics, John Wiley and Sons., p. 4., https://www.usb.ac.ir/FileStaff/7926_2019-4-10-12-27-43.pdf (pristupljeno 1. svibnja 2023.)

Monopoli su se pokazali neučinkovitim jer ne postoji konkurencija koja bi osigurala “fer” cijenu i količinu. Neučinkovitost tržišta ogleda se većim cijenama i manjoj dostupnosti proizvoda i usluga (Grafikon 1).

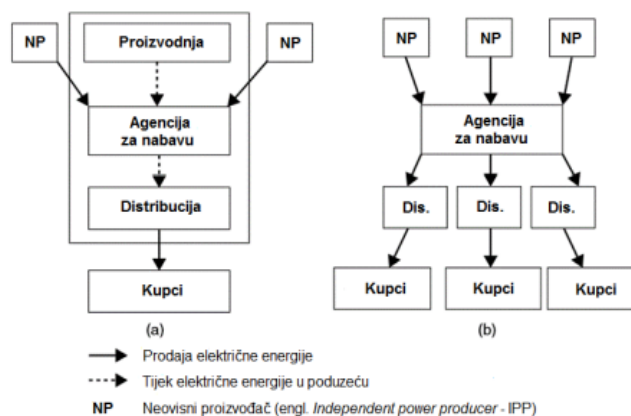


Grafikon 1. Učinak monopolističkog tržišta u odnosu na konkurentsko tržište
 Izvor: Energy Education, Monopoly. (n.d.). <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Monopoly> (pristupljeno 13. 6. 2023.)

Grafikon 1 pokazuje konkurentsku ravnotežu tržišta u točki A, pri čemu ponuda (S) zadovoljava potražnju (D). Cijena (P_C) i količina (Q_C), također, odražavaju tu ravnotežu. U točki B je monopolistička ravnoteža, gdje jedan prodavač kontrolira tržište. Prodavač može ograničiti dostupnu količinu (Q_M) i povisiti cijenu (P_M). Neučinkovitost na tržištu prikazana je

crvenim trokutom. S obzirom na to da je ravnoteža narušena, gubitak imaju i potrošači i proizvođači. To se naziva mrtvi gubitak, koji se na monopolističkom tržištu pojavljuje kao rezultat ograničene ponude. Neučinkovitost tržišta električne energije može dovesti do negativnih društvenih implikacija. Visoke cijene osnovnih dobara poput električne cijene mogu izazvati negativne učinke, kao što je zamjena izvora energije onima štetnim za zdravlje ljudi (emisija stakleničkih plinova), što u konačnici može povećanje broja oboljelih i troškove zdravstvenog sustava.

U početnoj fazi uvođenja konkurencije u sektor opskrbe električnom energijom, integrirano komunalno poduzeće više ne posjeduje sve proizvodne kapacitete. Na tržištu se pojavljuju neovisni proizvođači električne energije koji su povezani s mrežom te proizvedenu električnu energiju prodaju komunalnom poduzeću koje djeluje kao agent za nabavu (Shema 4a). U daljnjoj fazi ovog modela komunalno poduzeće ne posjeduje proizvodne kapacitete te svu energiju kupuje od neovisnih proizvođača (Shema 4b). Također, razdvajaju se distribucija i maloprodaja. Maloprodajni sektor kupuje električnu energiju koju njegovi potrošači potroše od veleprodajne agencije za nabavu električne energije. Stope koje odredi agencija za nabavu moraju biti regulirane jer ima monopol nad maloprodajom i monopson⁴ nad neovisnim proizvođačima električne energije. U ovom modelu, dakle, cijena ne odražava trošak na isti način kao što je to na slobodnom tržištu. Ipak, prisutne su prednosti uvođenjem konkurencije među proizvođačima bez uspostave konkurentskog tržišta. Na ovim je tržištima prisutna cjenovno neelastična potražnja i tek mali broj velikih proizvođača električne energije.

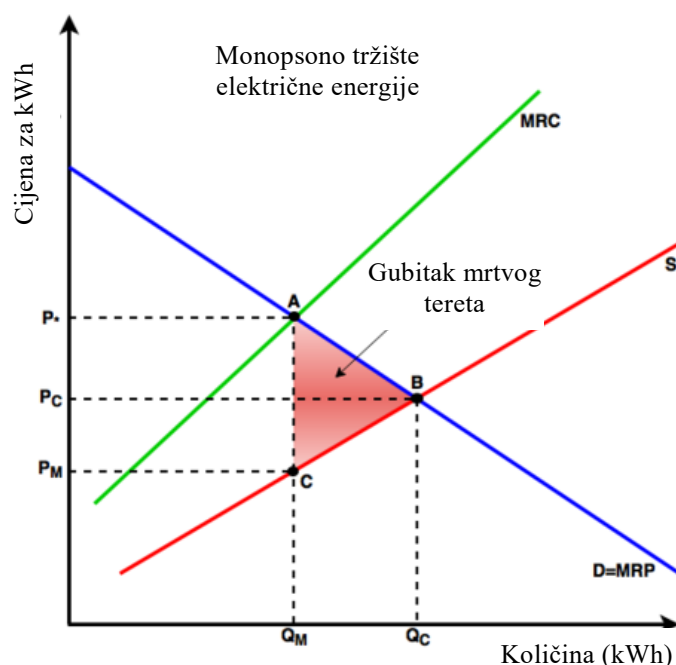


Shema 4. Primjena agencijskog modela tržišta električne energije. a) integrirani model, b) deintegrirani model

Izvor: Hunt i Shuttleworth, (1996)., prema: Kirschen, D. S., i Strbac, G. (2004). Fundamentals of Power System Economics, John Wiley and Sons., p. 5., https://www.usb.ac.ir/FileStaff/7926_2019-4-10-12-27-43.pdf (pristupljeno 1. svibnja 2023.)

⁴ Monopson – monopol kupca, stanje tržištu kada postoji samo jedan kupac i više prodavača nekog proizvoda (Hrvatska enciklopedija. n.d.)

Na monopsonom tržištu, odnosno modelu jednog kupca (engl. *Single buyer*), proizvođač električne energije može električnu energiju prodavati samo jednom kupcu te je prisiljen prihvatiti cijenu koju mu kupac ponudi, čime je narušena ravnoteža na tržištu, kako je prikazano na Grafikonu 2. U točki B uspostavljena je tržišna ravnoteža, tržište je konkurentno te ponuda (S) zadovoljava potražnju (D). Ravnotežu također odražavaju cijena (P_C) i količina (Q_C). U točki C postoji monopolsko tržište sa samo jednim kupcem. S obzirom na to da na tržištu nema konkurencije, tržište završava u točki (C). Kupac u točki C dobiva istu količinu (Q_M) kao i u točki A, ali plaća (P_M) tek dio cijene P^* . Crveni trokut prikazuje mrtvi gubitak na tržištu kao posljedica monopsona.

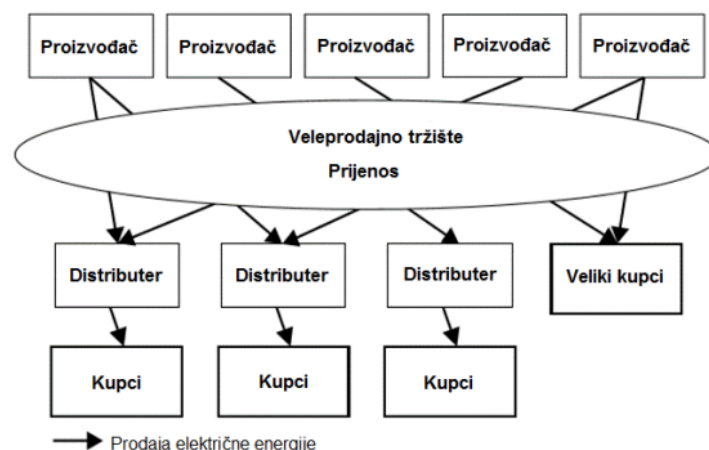


Grafikon 2. Učinak monopsonskog tržišta u odnosu na konkurentno tržište
 Izvor: Energy Education, Monopoly (n.d.). <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Monopoly> (pristupljeno 13. 6. 2023.)

Nedostatak konkurencije može dovesti do neučinkovitosti tržišta. No, tržište električne energije može imati koristi od prirodnog monopsonog tržišta, s obzirom na to da jedno ili mali broj velikih poduzeća kontroliraju tržište. Proizvođači električne energije prisiljeni su prodavati na tržištu električnu energiju po niskoj cijeni zbog monopolističkog tržišta. Poduzeće prodaje svoju električnu energiju u mrežu po niskim cijenama potrošačima. Agencija za nabavu, u ovom slučaju, regulira cijenu električne energije i tržište električne energije u cjelini, što dovodi do niskih cijena električne energije. Vlade odlučuju o određenom rasponu cijene po kojima će

proizvođači prodavati svoju električnu energiju, pri čemu se umjetno stvorenom niskom cijenom jamči dostupnost električne energije svima. S obzirom na važnost električne energije u društvu, postojanje monopola i monopsona može biti učinkovito rješenje na tržištu električne energije. Potrebno je, pri tome, istaknuti kako monopson na tržištu električne energije, zbog mrtvog gubitka, po svojoj prirodi nije “ekonomski učinkovit”, ali je nominalno učinkovit. Naime, teorija pokazuje učinkovitost tržišta bez monopsona, ali priroda električne energije zahtijeva zaštitu od tržišnih sila u svrhu osiguranja stalne opskrbe i cijena, što monopson omogućava. Uspostavljanjem monopsona na tržištu, poduzeće je spremno odreći se određenog prihoda kako bi se zajamčila određena razina društvene korisnosti i zadovoljilo potrebe društva za električnom energijom. Konkurencija u ovom modelu može se uvesti u procesu javne nabave pri izgradnji i upravljanju elektranom.

Model veleprodajnog tržišta (engl. *Wholesale competition*) (Shema 5) je sljedeća faza u razvoju tržišta električne energije prema liberalizaciji tržišta. U ovom modelu nema agencije za nabavu koja bi bila odgovorna za opskrbu električne energije. Umjesto njih djeluju distribucijska poduzeća (engl. *discos*) koje kupuju električnu energiju za svoje kupce direktno od poduzeća koja proizvode električnu energiju (Kirschen i Strbac 2004). Te se transakcije odvijaju na veleprodajnom tržištu. Distribucijska poduzeća čija je djelatnost maloprodaja, na ovom tržištu imaju veću mogućnost odabrati opskrbljivača energijom iz sektora prijenosa. Također, je omogućeno i velikim potrošačima kupovati električnu energiju direktno od veleprodajnog poduzeća. Na razini maloprodaje sustav ostaje centraliziran jer svaki distributer upravlja distribucijskom mrežom na svom području, ali i kupuje električnu energiju u ime potrošača koji se nalaze na njegovom uslužnom području.



Shema 5. Model veleprodajnog tržišta električne energije

Izvor: Hunt i Shuttleworth, (1996)., prema: Kirschen, D. S., i Strbac, G. (2004). *Fundamentals of Power System Economics*, John Wiley and Sons., p. 6., https://www.usb.ac.ir/FileStaff/7926_2019-4-10-12-27-43.pdf (pristupljeno 1. svibnja 2023.)

Veleprodajno tržište je djelomično otvoreno tržište, na kojem samo dio potrošača ima mogućnost slobodnog odabira dobavljača električne energije, a ostali su u sustavu javne usluge, odnosno uslugu električne energije im omogućava javni opskrbljivač. Model veleprodajnog tržišta može biti strukturiran u obliku *poola* ili bilateralnih transakcija. Kod bilateralnih transakcija uključene su dvije strane: kupac i prodavatelj. Ugovori između ove dvije strane sklapaju se bez sudjelovanja treće strane. Ovisno o raspoloživom vremenu i količinama s kojima se trguje, kupci i prodavači koriste različite oblike bilateralnog trgovanja, kao što su (Kirschen i Strbac, 2004, 52):

- prilagođeni dugoročni ugovori – obuhvaćaju fleksibilne uvjete koji se mogu prilagoditi zahtjevima i potrebama obje strana. Obično se koriste kod prodaje velike količine energije tijekom dugog razdoblja,
- trgovanje izvan šaltera (engl. *over the counter*) – trgovanje se odvija izvan burze. Transakcije obično obuhvaćaju manje količine energije koje se isporučuju prema standardnom profilu, odnosno standardiziranoj definiciji koliko energije treba isporučiti tijekom različitih razdoblja dana i tjedna. Prate ga niži transakcijski troškove te ga proizvođači i potrošači koriste za poboljšanje svoje pozicije kako se bliži vrijeme isporuke,
- elektroničko trgovanje – sudionici unose ponude za kupnju energije i ponude za prodaju energije izravno na računalnom tržištu, a računalo identificira odgovarajuću ponudu te se dogovor automatski postiže.

Pool se koristi kako bi se postigla tržišna ravnoteža. Umjesto da se oslanja na ponovljene interakcije između dobavljača i potrošača, kako bi se postigla tržišna ravnoteža, *pool* pruža mehanizam za sustavno određivanje te ravnoteže. *Pool* udružuje dva ili više poduzeća koja daju ili proizvode električnu energiju. Razmjena električne energije između dva poduzeća temelji se na sporazumu o razmjeni kojim se utvrđuju uvjeti za članove *poola*. Ovi ugovori mogu biti vrlo složeni. Razlikuju se dvije vrste *poola* (Tešnjak i dr. 2009):

- dobrovoljni *pool* (engl. *voluntary pool*) – dobrovoljno udružene koje osniva elektroprivredno poduzeće odgovorno za pouzdanost i integritet prijenosne mreže na svom području. *Pool* se koristi za kratkoročna trgovanja ili s ugovorima čija je cijena utvrđuje u trenutku sklapanja ugovora za isporuku koja će se dogoditi u nekom trenutku u budućnosti,

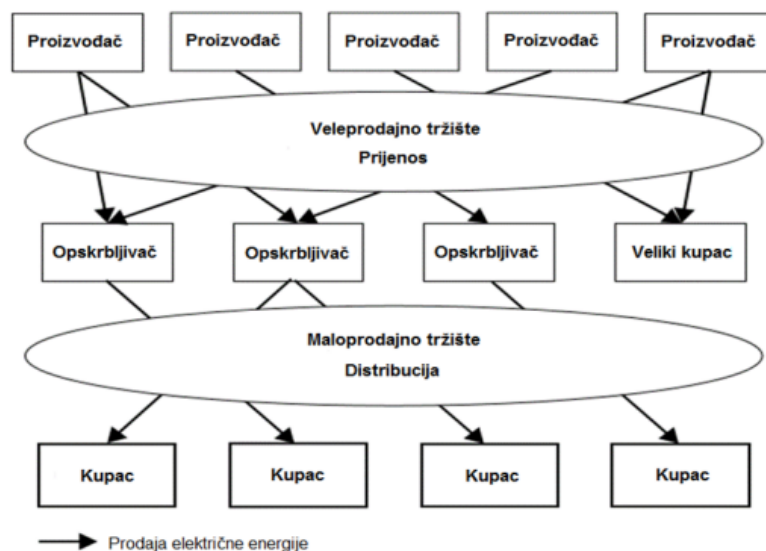
- ovlašteni *pool* (eng. mandatory pool) - za razliku od dobrovoljnog *poola*, čije je trgovanje za sve sudionike tržišta električne energije dobrovoljno, kod ovlaštenog *poola* postoji obveza trgovanja preko centralnog kratkoročnog tržišta. Bilateralna trgovina nije dopuštena, što znači da se trgovina mora obaviti preko *poola*. Ovlašteni *pool* se primjenjivao na nacionalnoj razini u Engleskoj i Walesu do 2000. godine kada je liberalizacija tržišta i provedba reforme elektroenergetskog sustava dovela do njihovog ukidanja, pokretanjem burze električne energije.

Karakteristika *pool* sustava je formiranje cijene i količine električne energije na osnovi centraliziranog optimizacijskog procesa koji se temelji na marginalnim troškovima. Taj zadatak je dan neovisnim institucijama.

Konkurentsko veleprodajno tržište doprinosi snažnijem poticaju smanjenja troškova nego što je to uobičajeno za tipičnu regulaciju troškova usluga, a opskrbljivači su motivirani za brže uvođenje različitih vrsta inovacija kako bi se smanjili troškovi. To podrazumijeva donošenje mudrijih odluka o investiranju, izgradnju novih kapaciteta uz niže troškove, učinkovitije održavanje uz manje troškove rada (Jakovac 2010). Prednost konkurencije ogleda se i u njenoj sposobnosti zadržavanja cijena na razini najnižeg troška.

Krajnji oblik konkurentnog tržišta električne energije je tržište maloprodajne konkurencije (engl. *Retail competition*) (Shema 6). To je oblik tržišta na kojem je potrošačima dana mogućnost odabira vlastitog opskrbljivača električne energije. No, zbog transakcijskih troškova samo se najveći potrošači odlučuju kupovati energiju izravno na veleprodajnom tržištu, dok većina malih i srednjih potrošača kupuje električnu energiju od maloprodajnog trgovca, koji električnu energiju kupuje na veleprodajnom tržištu. Na tržištu se pojavljuju novi subjekti: neovisni operatori, operatori dalekovoda i trgovci na malo (Zishan i dr. 2022, 1). Trgovci na malo električnom energijom, u biti, djeluju kao posrednici između veleprodajnog i maloprodajnog tržišta. Na veleprodajnoj strani, oni kupuju električnu energiju sudjelovanjem na tržištima 'dan unaprijed'⁵ ili *poola* električne energije. Na maloprodajnoj strani, potpisuju ugovore s potrošačima kako bi zadovoljili njihove potrebe za energijom po fiksnoj cijeni za određeno razdoblje, obično godinu dana (Hampton i Foley 2022).

⁵ Tržište dan unaprijed (engl. *day ahead market*) je tržište na kojem se ugovara isporuka električne energije za određenu količinu električne energije na osnovi poznate fiksne cijene sljedećeg dana (Goić 2002, 3).



Shema 6. Model maloprodajnog tržišta električne energije

Izvor: Hunt i Shuttleworth. (1996)., prema: Kirschen, D. S., i Strbac, G. (2004). Fundamentals of Power System Economics, John Wiley and Sons., p. 7., https://www.usb.ac.ir/FileStaff/7926_2019-4-10-12-27-43.pdf (pristupljeno 1. svibnja 2023.)

U modelu maloprodajne konkurencije, aktivnosti distribucijskih tvrtki su obično odvojene od djelatnosti maloprodaje, jer više nemaju lokalni monopol za opskrbu električnom energijom na području koje pokriva njihova mreža. Jedine preostale monopolske funkcije odnose se na pružanje i rad prijenosnih i distribucijskih mreža. Nakon uspostave dostatne konkurentnosti tržišta, maloprodajna cijena se više ne mora regulirati, jer je malim potrošačima omogućena promjena maloprodajnog trgovca u slučaju kada im se ponudi električna energija po prihvatljivoj cijeni. Promatrano s ekonomske perspektive ovaj model najviše zadovoljava, jer se cijene energije određuju tržišnim mehanizmom. Maloprodajna konkurencija osigurava potrošačima tržišno utemeljenu cijenu električne energije, uz pouzdanost usluge. Pri tome je potrebno istaknuti da se trošak prijenosnih i distribucijskih mreža i dalje naplaćuje svim njihovim korisnicima na reguliranoj osnovi jer ove mreže ostaju monopoli. Jakovac (2010) dobrim pokazateljem zrelosti konkurencije i tržišta navodi broj učinkovito nereguliranih potrošača te količinu ukupne električne energije koja se potroši izvan reguliranih tarifa. Tominov (2008) dugoročno osiguranje adekvatnog tržišnog okvira za konkurenciju u maloprodaji električne energije vidi u osiguranju tehničkih, regulatornih i praktičnih uvjeta u svrhu izbjegavanja neželjenih odstupanja i znatnih dodatnih troškova.

Sažeti prikaz navedena četiri osnovna tipa tržišta električne energije dan je u Tablici 2.

Tablica 2. Pregled osnovnih modela tržišta električne energije s obzirom na razinu konkurencije

Model	Monopol	Jedan kupac (engl. <i>Single buyer</i>)	Veleprodajno tržište (engl. <i>Wholesale competition</i>)	Maloprodajno tržište (engl. <i>Retail competition</i>)
Opis	Monopol na svim razinama	Isključivo prema jednom kupcu	Konkurencija u proizvodnji; mogućnost odabira distributera i velikih potrošača	Mogućnost izbora svih kategorija potrošača
Postoji konkurencija u proizvodnji?	Ne	Da/djelomično	Da	Da
Distributeri imaju mogućnost izbora?	Ne	Ne	Ne/da	Da
Potrošači imaju mogućnost izbora?	Ne	Ne	Djelomično	Da

Izvor: Goić, (2002), prema Jakovac, Pavle. (2010). Važnost električne energije i osvrt na reformu elektroenergetskog sektora u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj. *Ekonomika misao i praksa* 19 (2): 251-276. <https://www.unidu.hr/wp-content/plugins/quarascop/download.php?file=3170> (pristupljeno 20. siječnja 2020.).

Usporedbom navedena četiri osnovna modela tržišta električne energije razina konkurentnosti predstavlja važan čimbenik njihovog razlikovanja. Model maloprodaje se smatra najučinkovitijim uz pretpostavku dobro utemeljenog sustava maloprodaje električne energije, visok stupanj razvoja tržišnih institucija, postojanje konstantnog opreza u pogledu tržišnih snaga te postojanje primjerenog načina dispečiranja uz adekvatan nadzorni sustav (Jakovac 2010). Model maloprodajnog tržišta izbjegava nedostatke veleprodajnog tržišta te isključuje regulatora. Zahtjevi za većom učinkovitošću modela dolaze od potrošača, a ne od distributera. U ovom modelu cijena je jedan od ključnih čimbenika odabira opskrbljivača električnom energijom.

2.3.2. Reformirano tržište

Tržišta električne energije od početka 1980-ih godina doživljavaju reformske promjene u cijelom svijetu. Kako je već istaknuto, vertikalno integrirane monopolistička poduzeća se restrukturiraju u konkurentna poduzeća, dolazi do otvaranja tržišta u proizvodnji i opskrbi, uz promjene vlasništva državnih poduzeća privatizacijom (Jakovac i Vlahinić Lenz 2016). Tržište se transformira iz monopola u otvoreno tržište.

Na reformiranim tržištima električne energije može se uočiti važnost učinkovitog tržišnog dizajna. Kako je već istaknuto, tržišta električne energije su dizajnirana tržišta, ona nisu proizašla iz neorganiziranog tržišta. To ujedno ukazuje na važnost dizajna na tržištu električne energije. Stoga ne iznenađuje da su se u svrhu poboljšanja upravljanja i tehnološkog napretka,

dizajni tržišta s vremenom unaprjeđivali. Uočeni nedostaci su se, u značajnoj mjeri, otklanjali. Dizajn tržišta električne energije je, dakle, dinamičan i slijedi promjene koje potenciraju novi izazovi kao rezultat tekuće transformacije elektroenergetskog sustava. Posljednja tri desetljeća tržišta električne energije razvijala su se kako bi odgovorila na složene ekonomske i tehničke izazove. Unatoč velikim zahtjevima tržišta postižu pouzdanost isporuke električne energije po najnižim cijenama za potrošače. Pri tome je potrebno istaknuti kako taj cilj nije jednostavno postići. U svakom trenutku, svake sekunde, ponuda i potražnja moraju biti uravnoteženi. Nužno je zadovoljiti tisuće ograničenja resursa i mreže, a istovremeno slati prave cjenovne signale kako bi se tijekom vremena motiviralo učinkovitu proizvodnju i ulaganje u resurse (Crampton 2017). Veleprodajno i maloprodajno tržište električne energije čine tržišne modele, jer je na njima prisutna konkurencija.

Mikroekonomska teorija sugerira da konkurencija i profit rezultiraju unutaršnjom (proizvodnom) i vanjskom (tržišnom) učinkovitosti te da se koristi prenose na kupce i gospodarstvo u obliku nižih cijena i troškova. Specifičnosti fizičkih karakteristika opskrbe električnom energijom oblikuju njezin optimalni regulatorni dizajn. To uključuje (Jamash i Pollitt 2005): troškove koji ograničavaju ulazak na tržište, vertikalne faze (proizvodnja, prijenos, distribucija i maloprodaja) proizvodnje s različitim optimalnim skalama i robu koja se ne može obnoviti i koja se isporučuje putem mreže koja zahtijeva trenutačnu fizičku ravnotežu ponude i potražnje na svim čvorovima. U takvim okolnostima liberalizacija tržišta uključuju izgradnju kombiniranih konkurentnih energetske i maloprodajnih tržišta te reguliranih prijenosnih i distribucijskih aktivnosti. Uspješna liberalizacija zahtijeva dobro organiziranu opskrbu električnom energijom, povezane pomoćne usluge i tržišta prijenosnih kapaciteta kako bi se postigla konkurencija s fizičkim uravnoteženjem i odgovarajućom regulacijom monopolske moći (Jamash i Pollitt 2005, 13). Unaprjeđenje efikasnosti elektroenergetskog sektora, poticanje investicija, povećanje kvalitete i sigurnosti opskrbe uz približavanje cijena električne energije troškovima neki su od čimbenika koji su utjecali na liberalizaciju tržišta električne energije širom svijeta. Potrebno je istaknuti kako cijena električne energije često nije odražavala troškove te su one više bile socijalno a manje ekonomski formirane što je često uzrokovalo nepokrivenost troškova ostvarenim prihodima. Elektroenergetski sustav u tranzicijskim državama poput Hrvatske bio je opterećen brojnim problemima, kao što su ekonomski gubitci kao rezultat financijske nediscipline i niske razine naplate računa, tehnički gubitci u sustavu uslijed zastarjelosti primijenjene tehnologije, posebice u prijenosnoj mreži (Vlahinić- Dizdarević 2008, 100). Ulaganja javnog kapitala nisu bila dostatna za modernizaciju

sustava i otklanjanje problema. Kako bi se privukli privatni ulagači bilo je nužno pristupiti liberalizaciji tržišta.

Iskustva liberalizacije električne energije u svijetu istaknuli su potrebu implementacije jednog ili više međusobno povezanih faza uspostave liberaliziranog tržišta (Jamash i Pollitt 2005, 13): restrukturiranje sektora, uvođenje tržišnog natjecanja u veleprodaji i maloprodaji, poticajna regulacija prijenosnih i distribucijskih mreža, uspostava neovisnog regulatora i privatizacija, kako je prikazano u Tablici 3.

Tablica 3. Glavne faze reforme tržišta električne energije

Restrukturiranje	Vertikalno razdvajanje proizvodnje, prijenosa, distribucije i maloprodaje. Horizontalno razdvajanje proizvodnje i maloprodajne opskrbe.
Konkurencija i tržišta	Veleprodajno tržište i maloprodajno tržišno natjecanje. Omogućavanje novim akterima u proizvodnji i maloprodaju.
Regulacija	Uspostava neovisnog regulatora. Pružanje pristupu mreži trećim stranama. Poticaj za regulaciju u prijenosnoj i distribucijskoj mreži.
Vlasništvo	Dozvoljavanje pristupa novim privatnim akterima. Privatizacija postojećih javnih poduzeća.

Izvor: Jamash, Tooraj, i Pollitt, Michael. (2005). European Electricity Liberalisation. 26: 11-41. <https://www.jstor.org/stable/23297005> (pristupljeno 11. veljače 2022.)

U uvjetima narušene prirodne ravnoteže i klimatskih promjena tranzicijska tržišta poprimaju novi dizajn uzrokovan energetsom tranzicijom i utjecajima na različite dionike (tržišne operatore, proizvođače, industrijske potrošače, veleprodavače i trgovce na malo) (Bichler i dr., 2022). Crampton (2017) među silama koje pokreću promjene posljednjih godina navodi širenje obnovljivih izvora energije, odgovor na potražnju, distribuiranu proizvodnju, pametne kuće i skladištenje električne energije u baterijama. Promjene su, posebice, potaknute upotrebom obnovljivih izvora energije pri čemu se u elektroenergetski sustav uključuje veliki broj proizvođača električne energije. Tome pridonosi i rast važnosti električne energije kako se njezina uloga u prometu i grijanju širi tehnologijama, kao što su električna vozila i toplinske crpke. Proizvodnja električne energije trenutačno je najveći izvor emisija ugljičnog dioksida (CO₂) na globalnoj razini, ali i sektor koji predvodi prijelaz na nultu neto stopu emisija brzim povećanjem obnovljivih izvora energije poput solarne energije i energije vjetra (International Energy Agency 2023). S ciljevima dekarbonizacije koji su posljednjih godina značajno napredovali, tržišta električne energije suočavaju se s novim ciljevima, koji zahtijevaju intervenciju novih tehnologija, novih modela i sudionika na tržištu (Wainstein i Bumpus 2016). Temeljni cilj koji se dizajnom tržišta električne energije želi postići je pouzdanost i učinkovitost opskrbe električnom energijom (Crampton, 2017; Bublitz i dr., 2019).

Države koje su provele reformu tržišta električne energije usvojile su različite tržišne modele koji su se razvijali u fazama, odražavajući proces učenja i podsjetnik su da je liberalizacija tržišta još uvijek u tijeku. Iskustva reformiranih tržišta pokazuju koristi koje proizlaze iz unutarnjeg tržišta u smislu povećanja učinkovitosti, smanjenja cijena, viših standarda usluga i povećane konkurencije (Bojnec i Križaj, 2021). Tijekom procesa provedbe deregulacije i liberalizacije koristi za potrošače bili su u prisutnosti konkurencije na tržištu i mogućnosti izbora između više dobavljača, što je utjecalo na poboljšanje usluga i energetske sigurnost. Električna energija na liberaliziranom i otvorenom tržištu postaje roba s kojom se slobodno trguje.

Foster i Rana (2020) u svom izvješću o provedbi mjera reformi elektroenergetskog sektora u 20 razvijenih država i 88 država u razvoju, u razdoblju od 1995. do 2015. godine, daju uvid u globalne obrasce reformi elektroenergetskog sektora. Pri tome ističu kao se reforma energetske sektora u državama u razvoju nije razvijala u skladu s teorijskim modelom te da postoji veća vjerojatnost provedbe reforme energetske sektora ako je u skladu s političkim sustavom i ideologijom države, a predvode ih oni koji uživaju široku potporu dionika. Također, navode važan doprinos privatnog sektora u proširenju kapaciteta za proizvodnju električne energije u državama u razvoju uz prisutnost značajnih izazova kojima se privatni sektor susretao te sudjelovanju privatnog sektora u prinosu i distribuciji električne energije u osiguranju dobrih rezultata u povoljnom okruženju. Nadalje, u državama koje su bile spremne za formiranje veleprodajnog tržišta električne energije ova su tržišta doprinijela poboljšanju učinkovitosti, dok je u drugim državama u razvoju zamijećeno zaostajanje u procesu tranzicije. U izvješću je istaknuta povezanost dobre korporativne prakse i boljih poslovnih rezultata, posebice u pogledu ljudskih resursa i financijske discipline. Pri tome su dobre korporativne prakse bile rasprostranjenije među privatiziranim komunalnim poduzećima u odnosu na ona koja nisu privatizirana. Također, su istaknuli kao široko prihvaćene regulatorne okvire nije uvijek slijedila provedba, posebice kada su komunalne usluge ostale u državnom vlasništvu. Povrat troškova pokazao se iznimno teškim, pri čemu je ograničeni napredak više bio povezan s učinkovitošću nego s povećanjem cijena. Nadalje, na ishode reforme energetske sektora uvelike su utjecali prisutni početni uvjeti koji su se razlikovali od države do države, a dobre sektorske rezultate postigle su države koje su usvojile različite institucionalne obrasce sektorske organizacije.

U izvješću se, također daju preporuke za buduće reforme da budu više oblikovane kontekstom, vođene ishodima i utemeljene alternativama. Nužnim se smatra prijelaz s

konteksta neutralnog pristupa reformi na pristup koji je oblikovan kontekstom. U osmišljavanju reformi posebno treba voditi računa o uvjetima u pojedinoj zemlji. Model reformi utemeljen 1990-ih u velikoj je mjeri bio izveden iz ekonomskih načela i testiran u relativno sofisticiranom okruženju. Rezultat je izostanak okvira za prilagodbu reformi pojedinoj države. U praksi su se važnim pokazali brojni gospodarski i politički preduvjeti koje je potrebno uzeti u obzir kako bi se oblikovala primjenjiva reforma. Izvješće također ukazuje na potrebu prijelaza s procesno orijentirane reforme prema reformi orijentiranoj na ishod. Model reformi iz 1990-ih godina bio je prije svega fokusiran na određeni paket institucionalnih reformi, koje bi s vremenom rezultirale boljim ukupnim sektorskim ishodom. Foster i Rana (2020) ukazuju na potrebu osmišljavanja reformskog procesa utvrđivanjem najkritičnijih ishoda i pogledom unatrag utvrđivanje mjera koje će ukloniti uska grla i prepreke koje sprječavaju željene ishode. Potrebno je, također, primijeniti pluralistički raspon institucionalnih modela. Naime, model koji je u jednoj zemlji pokazao dobre rezultate reformi, u drugoj zemlji nije doveo do očekivanih rezultata. Osim toga, neke zemlje koje su primijenile tek dio reformi postigle su gotovo iste rezultate kao i one koje su išle dalje s programom reformi.

Izvješće, također, ukazuje na različite ishode provedbe reformi za uzlazna i silazna tržišta. Prema Foster i Rana (2020) sve razvijene zemlje i dvije trećine zemalja u razvoju uvelo je neki oblik zakonske odredbe za potporu određenoj fazi tržišnog natjecanja na uzlaznom tržištu. Stupanj konkurencije u tim zemljama, međutim uvelike varira, od osnovnog uvođenja javnog natječaja do potpuno konkurentnih veleprodajnih tržišta. Zemlje koje su donijele zakonodavni okvir za dizajniranje maloprodajnog tržišta uglavnom se nalaze u Europi, gdje su direktive i propisi Europske unije o liberalizaciji pridonijeli razvoju tržišta električne energije. Izvan Europske unije zakonodavstvo vezano za maloprodajna tržišta definirano je u Australiji, Kanadi, Ruskoj Federaciji, Novom Zelandu, Švicarskoj i SAD-u. U zemljama u razvoju postoji tek nekoliko zemalja koje su usvojile zakonodavne propise vezane za maloprodajno tržište: u Latinskoj Americi (Argentina, Brazil, Čile, Gvatemala, Peru), istočnoj Europi (Kazahstan, Turska, Ukrajina) i Aziji (Indija, Filipini). No, prisutnost zakonodavnih odredbi ne znači, ujedno da u tim zemljama postoji funkcionalno maloprodajno tržište. Konkurencija na maloprodajnom tržištu ne postoji u mnogim navedenim zemljama. Postoje i varijacije unutar jedne države. Primjerice, u SAD-u većina država ima regulirane maloprodajne cijene, maloprodajno tržište je često ograničeno na velike potrošače ili su konkurentne cijene neprivlačne u odnosu na regulirane cijene. Prisutna je, dakle, značajna heterogenost u stupnju tržišnog natjecanja umjesto postojanja dihotomije između tržišnog natjecanja i regulacije. S

jedne strane, postoje potpuno konkurentna maloprodajna tržišta, primjerice u slučaju Velike Britanije, Njemačke, Novog Zelanda, Australije, primjerice, dok su s druge strane tržišta, na kojima su cijene za male potrošače u značajnom mjeri regulirane, kao što je to slučaj s Francuskom. Postoje i tržišta na kojima postoji određena razina državne intervencije u obliku postavljanja tarifa, kao što je to slučaj u Italiji, ili odobravanja tarifa, kao što je slučaj u Nizozemskoj.

Studije (Poudineh, 2019), međutim, pokazuju da maloprodajna tržišta nisu u potpunosti ispunila date im zadaće. Primjer maloprodajnog tržišta u Velikoj Britaniji, kao pionirskog tržišta, u postliberaliziranom razdoblju pokazuje da tržište ne ispunjava svoje osnovne ciljeve niti može pratiti tehnološke promjene, zahtjeve potrošača i energetske tranziciju. Poudineh (2019) navodi šest uzroka koji su onemogućili ostvarenje zacrtanih ciljeva maloprodajnog tržišta električne energije. U prvom redu, ističe kako su mjere za smanjenje barijera za ulazak na tržište narušile tržišno natjecanje, izložile potrošače riziku i dovele do nepoštene raspodjele troškova sustava. Primijenjeni regulatorni model (koji dobavljače koji su ispod određenog praga izuzima od društvenih i ekoloških odgovornosti) rezultirao je rastom maloprodajnog tržišta, ali po cijenu nejednakih uvjeta za trgovce na malo, neodrživih poslovnih modela i poremećaja cjenovnih signala. Drugo, jedna od najvećih slabosti liberaliziranih maloprodajnih tržišta električne energije je izostanak angažmana potrošača. Maloprodajno tržište električne energije je osmišljeno s pretpostavkom da će potrošači reagirati kao i na drugim maloprodajnim tržištima. No, u praksi je izostalo sudjelovanje potrošača čemu je pridonio niz prepreka promjene pružatelja usluga, kao što su složenost maloprodajnog tržišta i tarife za električnu energiju, transakcijski troškovi, nesigurnost u pogledu kvalitete usluga novih opskrbljivača, uočene prepreke i pristranost u ponašanju. Treće, važnost koju energija ima u životu ljudi, pretvorila ju je u jedinstvenu robu koja potrošačima pruža skup definiranih prava, kao što su pravo na priključak za električnu energiju, mogućnost prebacivanja bez dodatnih troškova, pružanje jasnih informacija o ugovoru, pravo odustajanja i dr. Prisutne su i velike obveze u dozvolama dobavljača kako bi se spriječila šteta za potrošače uzrokovana negativnim učincima tržišta. No, te su dozvole uglavnom definirane uz pojam “isporuke”, što znači da će mnoge aktivnosti novih sudionika biti izvan tog pojma. Osim toga, zaštitni propisi ne smiju sprječavati inovacije i trebali bi biti proporcionalni riziku kojem su izloženi potrošači. Na primjer, obveza pružanja univerzalne usluge na maloprodajnom tržištu može spriječiti nove sudionike da se specijaliziraju i inoviraju unutar energetskog poslovnog modela specifičnog za kupca. Četvrto, od privatizacije elektroenergetske industrija bilježi značajne promjene u svim segmentima.

Potrošači mogu proizvoditi, skladištiti i prodavati električnu energiju što utječe na fleksibilnost elektroenergetskog sustava, koji se odlikuje visokom razinom interinentnosti. Pojavljuju se novi poslovni modeli, koji su često izvan operativnog fokusa ili kompetencija tradicionalnih dobavljača. To uključuje agregatore za upravljanje potrošnjom, pružatelje energetske usluga u zajednici, pružatelje više usluga (druge usluge uz energetske usluge), pružatelje usluga prebacivanja, proizvođače, platforme za ravnopravno tržište, pametne kuće i pružatelje usluga upravljanja energijom. No, postojeća pravila nameću značajnu složenost i ograničenja onima koji žele te nove poslovne modele uvesti na tržište jer se često ne mogu uskladiti sa zahtjevima tradicionalnih dozvola za opskrbu kao što su, primjerice, modeli s više dobavljača. Nadalje, složenost propisa kojima se uređuje maloprodajno tržište mogu biti prepreka ispunjavanju obveza i za tradicionalne dobavljače, a pogotovo za nove sudionike koji nemaju istu razinu resursa za rješavanje regulatornih zahtjeva. Osim toga, pojava novih aktera i modela na tržištu dovodi do promjene dizajna maloprodajnog tržišta. Vertikalne strukture u kojima tradicionalni dobavljač jedini ima pristup tržištu više nisu dominantan model, a postoji velika vjerojatnost da će buduća maloprodajna tržišta pružiti suživot horizontalnih struktura (*prosumer*-mreža-*prosumer*⁶) i vertikalnih struktura (veleprodaja-mreža-maloprodaja). Peto, postoji dvosmjerna interakcija između maloprodajnog tržišta i mrežnog segmenta elektroenergetskog sektora. S jedne strane, učinkovito oblikovanje tarifa distribucijske mreže koje odražava troškove, motivira trgovce na malo na osmišljavanje svojih konačnih tarifa koje će odražavati troškove mreže i poduzimanje drugih mjera kojima pomažu potrošačima da promjenom potrošačkog ponašanja smanje troškove mreže, jer se tako smanjuju i troškovi trgovca na malo. S druge strane, dobro funkcioniranje maloprodajnog tržišta utječe na troškove održavanja i nadogradnje mreže, jer mjere koje trgovci na malo poduzimaju utječu na način potrošačeve upotrebe mreže i, stoga, na buduće troškove mreže. Iz toga proizlazi da za optimalno korištenje i dimenzioniranje mreže nije dovoljno oblikovati učinkovite mrežne tarife, već da važnu ulogu na maloprodajnom tržištu ima i razina tržišnog natjecanja. Šesto, mjere države i troškovna politika smanjuju veličinu konkurentnog dijela maloprodajne tarife. Za razliku od troškova mreže, za koje se trgovci na malo mogu poticati smanjenjem tarifa za sve, trgovci na malo nemaju stvaran utjecaj na politiku troškova. Međutim, mogu izbjeći politiku troškova ugovaranjem kupnje električne energije s distribuiranom proizvodnjom. Navedeno ističe potrebu provedbe reformi na tržištu maloprodaje.

⁶ *Prosumeri* su potrošači električne energije koji je istovremeno i proizvode.

Vidljivo je, dakle, da reforma tržišta električne energije nije završena već je ovo tržište podložno poboljšanjima kako bi se otklonili identificirani problemi.

2.4. Karakteristike tržišta električne energije u Europskoj uniji

Tržište električne energije u Europskoj uniji doživjelo je znakovite promjene tijekom posljednjih godina kao rezultat energetske tranzicije potaknute sve većim prijetnjama klimatskih promjena na stabilnost svjetske biosfere, pa i ekonomskog prosperiteta (Glenk, Meier, i Reichelstein 2021). Europska unija slijedi temeljne ciljeve Kyoto protokola iz 1997. i Pariškog sporazuma iz 2015. godine, donesenih u sklopu Okvirne konvencije o klimatskim promjenama Ujedinjenih naroda (engl. *United Nations Framework Convention on Climate Change*, skr. UNFCCC) čija je potpisnica. Scenarij ograničenja globalnog zagrijavanja ispod 2 °C ističe važnu ulogu pojačane elektrifikacije konačne potražnje energije (Keramidas i dr. 2020). Energetske kriza zabilježena u 2022. godini kao posljedica ruske invazije na Ukrajinu dodatno je potaknula reformu električne energije u Europskoj uniji. Takav slijed događanja mijenja i dizajn tržišta električne energije u Europskoj uniji čije su karakteristike predmet interesa ovog dijela doktorskog rada.

2.4.1. Regulatorni okvir tržišta električne energije u Europskoj uniji

Države članice Europske unije započele su s liberalizacijom svojih monopoliziranih tržišta tijekom devedesetih godina 20. stoljeća kao prethodnicom usklađivanja i liberalizacije unutarnjeg energetskeg tržišta Europske unije koji svoju pravnu osnovu ima u člancima 114. i 194. Ugovora o funkcioniranju Europske unije (Ciucci 2023). Liberalizacija tržišta odvijala se do 2023. godine kroz pet zakonodavnih paketa o električnoj energiji (i plinu). Direktivama koje su donijete u okviru prvog (1996. godine s usvajanjem u pravni sustav država članica do 1998. godine) i drugog (2003. godine s usvajanjem u pravni sustav država članica do 2004. godine) energetskeg paketa, omogućen je industrijskim i privatnim potrošačima slobodan odabir između više dobavljača na tržištu električne energije (i plina). Drugi paket je izmijenjen trećim paketom u travnju 2009. godine kojim je nastavljena liberalizacija unutarnjeg tržišta električne energije (Stoerring i Horl 2017). Ovaj je paket potaknuo niz reformi, kao što je razdvajanje proizvodnje energije i opskrbe energijom od rada prijenosnih mreža, definiranje novih zahtjeva koji se odnose na neovisne regulatore, osnivanje Europske agencije za suradnju različitih

nacionalnih energetske regulatora (engl. *Agency for the Cooperation of Energy Regulators*, skr. ACER)⁷, Europske mreže operatora prijenosnih sustava za električnu energiju (engl. *European Network of Transmission System Operators*, skr. ENTSO-E)⁸ te povećanje prava potrošača na maloprodajnom tržištu (Ciucci 2023). Na ovom paketu je ujedno utemeljeno unutarnje energetske tržište Europske unije.

U veljači 2015. godine objavljena je Strategija energetske unije (COM/2015/080) kojom je postavljen temeljni cilj “izgradnje energetske unije koja bi potrošačima (kućanstva i poduzeća) dala sigurnu, održivu, konkurentnu i pristupačnu energiju” (European Commission n.d.). Energetska unija daje okvir za realizaciju pet glavnih ciljeva energetske politike Europske unije. Jedna od pet dimenzija energetske unije odnosi se na potpunu integraciju energetske tržišta, što podrazumijeva uspostavu slobodnog protoka energije kroz Europsku uniju kroz odgovarajuću infrastrukturu i bez tehničkih ili regulatornih prepreka.

Četvrti i peti zakonodavni paket pratili su Strategiju energetske unije te su usmjereni prema formiranju energetske neovisne Europske unije i obnovljivim izvorima energije. U 2019. godini je usvojen četvrti zakonodavni energetske paketa pod nazivom “Čista energija za sve Europljane”. Uz Direktivu (EU) 2019/944 o električnoj energiji, ovaj je paket sadržavao i tri uredbe: Uredbu (EU) 2019/943 o električnoj energiji, Uredbu (EU) 2019/941 o pripravnosti na rizike i Uredbu (EU) 2019/942 o Agenciji EU-a za suradnju energetske regulatora. Ovim su paketom uvedena nova tržišna pravila za obnovljive izvore energije, poticaji za potrošače te pragovi za subvencije za elektrane, uključujući i mehanizme za razvoj kapaciteta. Također, proširene su nadležnosti ACER-a za prekogranična područja te su dani zahtjevi za izradu kriznih planova (Ciucci 2023). Rezolucija Europskog parlamenta iz 2016. godine pod nazivom “Ususret novom modelu energetske tržišta” (P8_TA(2016)0333) koja je prethodila donošenju četvrtog paketa dala je smjernice modelu energetske tržišta koji bi podržao sve veći udio obnovljive energije i aktivnih potrošača, pri čemu je zagovarana kombinacija likvidnih kratkoročnih tržišta i dugoročnih cjenovnih signala (Stoerring i Horl 2017). Peti zakonodavni paket o energiji, nazvan “Spremni za 55 %”, objavljen je 2021. godine, a cilj mu je bio revizija zakonodavstva Europske unije s novim inicijativama kako bi se uskladila politika Europske unije s klimatskim ciljevima (smanjenje emisija Europske unije za najmanje 55 % do 2030.

⁷ Europska agencija za suradnju različitih nacionalnih energetske regulatora osnovana je u ožujku 2011. godine, sa sjedištem u Ljubljani, Slovenija.

⁸ Europsku mrežu operatora prijenosnih sustava za električnu energiju osnovalo je 19. prosinca 2008. godine 42 europske operatora prijenosnog sustava, a operativna je postala 1. srpnja 2009. godine. U 2024. godini predstavlja 40 operatora prijenosnog sustava električne energije iz 35 europskih zemalja čime izlazi iz okvira Europske unije.

godine, odnosno neutralizacija emisije do 2050. godine) (Europsko vijeće, Vijeće Europske unije n.d.). Ruska agresija u Ukrajini krajem veljače 2022. godine utjecala je na donošenje niza zakonodavnih mjera kako bi se prekinuo uvoz fosilnih goriva iz Rusije, uvele mjere uštede energije, donijele potrebne strukturne mjere na tržištu električne energije te ubrzalo povećanje udjela energije iz obnovljivih izvora kako bi Europska unija bila neovisna o ruskim izvorima energije. Pri tome je usvojen REPowerEU, zajedničko europsko djelovanje za povoljniju, sigurniju i održiviju energiju (COM(2022) 108). Naglasak je u Komunikaciji stavljen na ubrzanje zelene tranzicije i smanjenje potražnje za plinom koja bitno utječe na tržište električne energije.

Energetska unija se, između ostalog, zasniva na dizajnu tržišta električne energije i unutarnjem energetsom tržištu te su petim paketom obuhvaćeni zakonodavni akti koji reguliraju ovo područje, među kojima su ključni: Uredba o unutarnjem tržištu električne energije (Uredba (EU) 2019/943), Direktiva (EU) 2019/944 i Uredba (EU) 2019/941. Uredbom o unutarnjem tržištu električne energije (Uredba (EU) 2019/943) postavljeni su temelji funkcioniranja energetske unije, posebice njenog klimatskog i energetskeg okvira do 2030. godine te temeljna načela dobrog funkcioniranja integriranih tržišta električne energije koja omogućuju svim sudionicima slobodan pristup tržištu pod objektivnim, transparentnim i nediskriminirajućim uvjetima uz formiranje cijena na temelju ponude i potražnje (čl. 3). Stvaranje tržišta električne energije koja će biti integrirana, konkurentna, fleksibilna i transparentna te orijentirana potrošačima potpomognuto je Direktivom o zajedničkim pravilima za unutarnje tržište električne energije (Direktiva (EU) 2019/944) kojom su “uspostavljena zajednička pravila za proizvodnju, prijenos, distribuciju i skladištenje energije te opskrbu električnom energijom, s odredbama o zaštiti potrošača” (čl. 1). Direktivom su date i odredbe koje se odnose na zaštitu potrošača u kućanstvima, posebice socijalno ugroženih, mogućnost besplatnog korištenja barem jednog alata za usporedbu ponuda dobavljača i promjene opskrbljivača, kao i odredbe omogućuju potrošačima aktivno sudjelovanje, primjerice, prodajom električne energije koju su sami proizveli, a da pri tome ne podliježu nerazmjernim ili diskriminatornim tehničkim zahtjevima. Uredba o pripravnosti na rizike u sektoru električne energije (Uredba (EU) 2019/941) utvrđuje pravila nužna za uspostavu suradnje među državama članicama s ciljem sprječavanja elektroenergetskih kriza, pripremu na njih, kao i upravljanje njima kako bi se podržali zahtjevi konkurentnog unutarnjeg tržišta električne energije (čl. 1). Ova tri zakonska akta su izmijenjena u 2022. godini u skladu s novonastalim energetskeg

potrebama Europske unije vezanim uz energetska krizu izazvane ruskim ratnim aktivnostima u Ukrajini Uredbom (EU) 2022/869 od 30. svibnja 2022. godine.

U ožujku 2023. godine Europska komisija je predložila reformu modela tržišta električne energije. Pri tome je poseban fokus stavljen na potrebu revizije nekoliko zakonodavnih akata unije: Uredbi (EU) 2019/943 o unutarnjem tržištu električne energije i (EU) 2019/942 o osnivanju Agencije Europske unije za suradnju energetske regulatora te direktiva (EU) 2018/2001 o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora i (EU) 2019/944 o zajedničkim pravilima za unutarnje tržište električne energije, radi poboljšanja modela tržišta električne energije u Europskoj Uniji (Europski parlament i Vijeće, 2023a), kao izmjenu uredbi (EU) br. 1227/2011 (Uredba REMIT) o cjelovitosti i transparentnosti veleprodajnog tržišta energije kako bi se poboljšala zaštita Europske unije od tržišne manipulacije na veleprodajnom tržištu energije (Europski parlament i Vijeće, 2023). U ožujku 2024. godine Vijeće Europske unije je donijelo uredbu kojom se mijenjaju uredbe (EU) br. 1227/2011 (Uredba REMIT) i (EU) 2019/942 i time ojačan nadzor na tržištu i ujedno smanjena mogućnost tržišne manipulacije na veleprodajnom tržištu električne energije (Vijeće Europske unije 2024).

Svrha reforme je potaknuti povećanje uporabe energije iz obnovljivih izvora te postupno povećati korištenje plina kako bi se zaštitilo potrošače od nestabilnih cijena fosilnih goriva i spriječila moguća manipulacija tržišta te povećao stupanj čistoće industrije Europske unije i konkurentnost (Europska komisija 2023).

Na ovom mjestu neće se ulaziti dublje u problematiku obnovljivih izvora energije s obzirom na to da se ova tema obrađuje u posebnom poglavlju, no potrebno je istaknuti kako se reformom želi smanjiti utjecaj fosilnih goriva na cijenu električne energije i troškove potrošača električne energije tako da se poveća udio proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u ukupnoj proizvodnji električne energije te da se poveća transparentnost tržišta i pošteno tržišno natjecanje na europskim veleprodajnim tržištima energije (Ciucci 2023). Skok cijena energenata u 2022. godini na globalnoj razini doveo je do povećanja troškova proizvodnje električne energije. U zemljama s reguliranim tarifama i dugoročnim sporazumima o opskrbi gorivom povećanja troškova su bila umjerenija (LNG indeksiran na naftu, dugoročni ugovori ili ugovori o opskrbi gorivom), za razliku od regija ovisnih o kratkoročnim tržištima nabave goriva koje su ozbiljno bile pogođene. Konkretno, rekordno visoke cijene LNG-a dovele su do poteškoća u nabavi plina u zemljama južne Azije rezultirajući nestankom električne energije i racionalizacijom potrošnje električne energije u regiji (IEA 2023). Visoke cijene energenata predstavljaju ozbiljan problem gospodarstvima u nastajanju i u razvoju. Učinci energetske krize

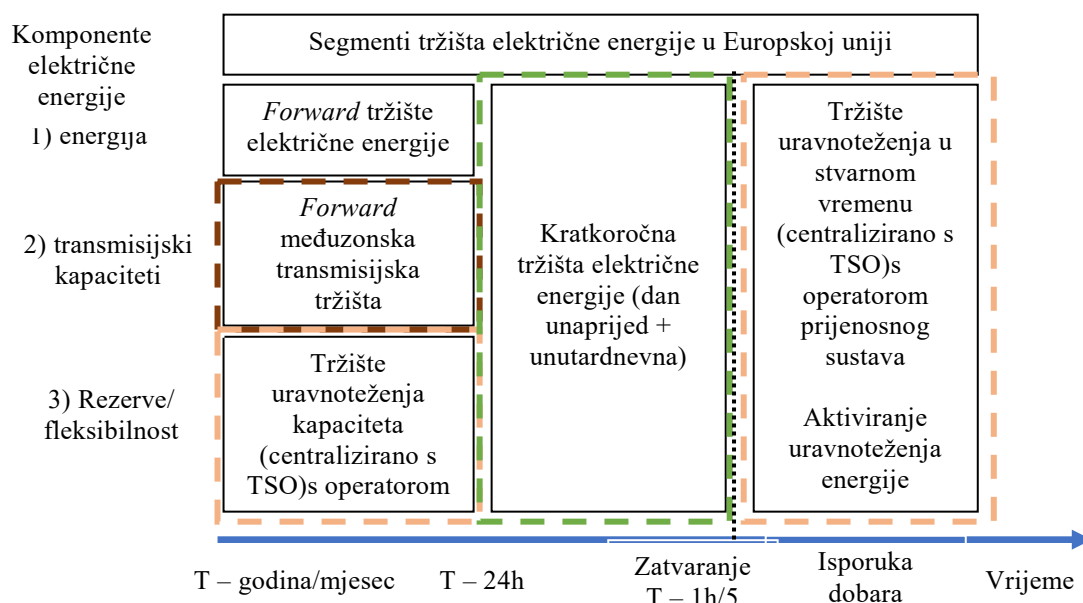
na europsko i svjetsko gospodarstvo potaknula je Europsku uniju na poduzimanje mjera potrebnih za ubrzanje zelene tranzicije i time osiguranje opskrbe stanovništva energijom iz obnovljivih izvora koji su cjenovni pristupačniji i koji pružaju zemljama članicama energetske neovisnost. U skladu s tim regulatorni okvir tržišta električne energije podložan je reviziji i usklađivanju s novim zahtjevima.

2.4.2. Analiza dizajna tržišta električne energije u Europskoj uniji

Tijekom 1990-ih godina zemlje članice Europske unije liberalizirale su svoje energetske sustave te primijenile dizajn tržišta električne energije u skladu sa svojim nacionalnim zakonodavstvom (Bichler i dr., 2022) i ciljevima koji se dizajnom tržišta električne energije žele postići, a odnose se na učinkovitu i pouzdanu opskrbu električnom energijom (Crampton, 2017). Razvojna obilježja europskih tržišta električne energije, od strogo reguliranih do liberaliziranih, pokazuje vrlo slične karakteristike u različitim europskim zemljama. Razlog tome može se tražiti u zajedničkom europskom zakonodavstvu, koji je dao smjernice razvoja tržišta električne energije. Smjernice se uglavnom odnose na opća načela, ali ne i na tržišna pravila koja bi, eventualno, rezultirala integriranim europskim tržištem. Europska tržišta električne energije obično slijede model zonskih tržišta temeljenih na razmjeni (Crampton, 2017), pri čemu je rad tržišta odvojen od rada sustava. Tržišta su fragmentirana s obzirom da proizlaze iz nacionalnih tržišta, a integracija tržišta među zemljama je ograničena.

U svrhu boljeg razumijevanja tržišta električne energije potrebno je istaknuti da ono djeluje kao burza na kojoj se trguje električnom energijom kao robom, pri čemu se trgovina odvija između zemalja ili unutar zemlje. Tržište se sastoji od dvije komponente: tržište u stvarnom vremenu nazvano *Spot* tržište i tržište dan unaprijed nazvano *Forward* (Srivastava i dr., 2011; Imran i Kockar, 2014). Model ciljanog dizajna europskog unutarnjeg tržišta električne energije temelji se na vremenskom slijedu terminskih, kratkoročnih dan unaprijed i unutardnevnih tržišta kao i tržišta uravnoteženja u stvarnom vremenu (Shema 7). Tržišta djeluju u skladu sa skupom pravila koje je usvojila Europska komisija, nazvane EU Pravila za mrežu (mrežni kodeksi) (engl. *Network Codes*, skr. NCS) i smjericama za električnu energiju (engl. *Guidelines*, skr. GLs), koja su se ujedno pokazala ključnima za ostvarenje integriranog tržišta električne energije u Europskoj uniji (Europska komisija 2021). Mrežne kodekse definira ENTSO-E pod vodstvom ACER-a. Pravila se odnose na tri međusobno povezana područja: priključak na mrežu, rad sustava i tržišta. S obzirom na nemogućnost skladištenja električne energije, fizička trgovina električnom energijom odvija se samo u stvarnom vremenu koje je, u biti jedino pravo *spot* tržište (kratkoročna

tržišta), dok su ostala tržišta terminska na kojima se trguje derivatima koji dospijevaju u stvarnom vremenu na *spot* tržištu.



Shema 7. Dizajn tržišta električne energije u Europskoj uniji

Izvor: Meeus i Schittekatte, 2018, prema: Schumacher, Linda i dr. (2019). The future electricity intraday market design.

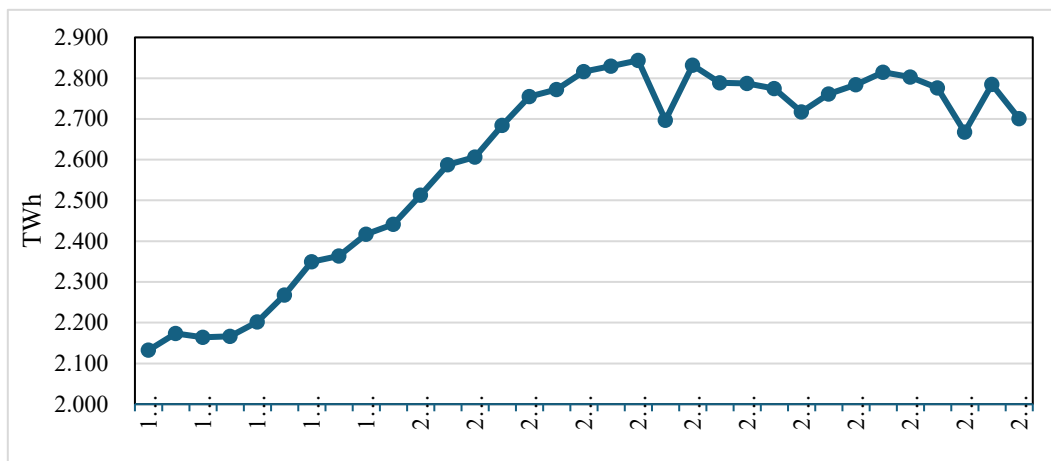
European Commission, Directorate-General for Energy, Bruxelles. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/004191> (pristupljeno 14. prosinca 2023.)

Tržište električne energije u Europskoj uniji, kao i na drugim tržištima, uključuje različite sudionike u opskrbnom lancu, od proizvođača (elektrane na fosilna goriva, nuklearne elektrane, elektrane na obnovljive izvore energije kao što su vjetroelektrane, solarni paneli i dr.) do dobavljača, do krajnjih potrošača, s veleprodajnim cijenama na jednom kraju opskrbnog lanca do cijena za krajnje korisnike na drugom kraju (industrijske potrošače, kućanstva i dr.). Tržištem upravljaju posebno nominirani operatori tržišta električne energije (engl. *Nominated Electricity Market Operator*, skr. NEMO), npr. CROPEX u Hrvatskoj, EPEX Spot SE⁹ u Austriji, Belgiji, Danskoj, Finskoj, Francuskoj, Njemačkoj, Velikoj Britaniji, Luksemburgu, Nizozemskoj, Norveškoj, Poljskoj, Švedskoj i Švicarskoj, HUPX Zrt. u Mađarskoj, GME Spa u Italiji itd. (All NEMO Committee, n.d.). Upravljaju kratkoročnim tržištima koja uravnotežuju ponudu i potražnju s isporukom električne energije kojom se trguje istog ili sljedećeg dana. To su, u biti, *spot* tržišta. U međuvremenu, OPS-ovi upravljaju elektroenergetskom mrežom i

⁹ EPEX Spot SE je europska burza električne energije sa sjedištem u Parizu i uredima u Amsterdamu, Berlinu, Bernu, Bruxellesu, Londonu i Beču, koja upravlja energetskim *spot* tržištima za kratkoročno trgovanje u Austriji, Belgiji, Danskoj, Finskoj, Francuskoj, Njemačkoj, Velikoj Britaniji, Luksemburgu, Nizozemskoj, Norveškoj, Poljskoj, Švedskoj i Švicarskoj. U 2020. godini EPEX Spot SE je pokrenuo svoja promptna tržišta za unutarodnevno trgovanje. EPEX Spot SE, <https://www.epexspot.com/en> (pristupljeno 14. prosinca 2023.)

odgovorni su za sigurnost sustava, odnosno ravnotežu ponude i potražnje na svakoj lokaciji mreže i za svaku vremensku točku. Važno je napomenuti da su europska tržišta električne energije povezana, što znači da se koordinirano poravnanje tržišta provodi u različitim zemljama za središnje tržište dan unaprijed.

Analizom neto proizvodnje električne energije¹⁰ u Europskoj uniji može se uočiti značajno povećanje tijekom posljednja tri desetljeća (1990.-2022.), pri čemu se rast proizvodnje električne energije kretao dinamično do 2008. godine, kada je dosegnut vrhunac (2.998,7 teravat sati (TWh)). U sljedećem razdoblju prisutne su oscilacije proizvodnje po pojedinim godinama, uz trend smanjenja u odnosu na 2008. godinu. U 2022. godini proizvodnja je iznosila 2.824,3 TWh te je smanjena u odnosu na 2021. godinu za 3,1 % dok je istovremeno ostvareno povećanje u odnosu na 2020. godinu (2.789,5 TWh) za 1,2 %, kada je dosegla najnižu razinu od 2002. godine (2.757,0 TWh) (Grafikon 3). Globalna financijska kriza koja se prelila u globalnu gospodarsku krizu utjecala je na smanjenje proizvodnje električne energije u razdoblju nakon 2008. godine, dok je u 2020. godini proizvodnja električne energija bila odraz smanjenja gospodarske aktivnosti uslijed poduzetih mjera sprječavanja širenja koronavirusa. U 2021. godini može se uočiti oporavak, no već u 2022. godini globalna energetska kriza posljedično dovodi do smanjenja proizvodnje električne energije.



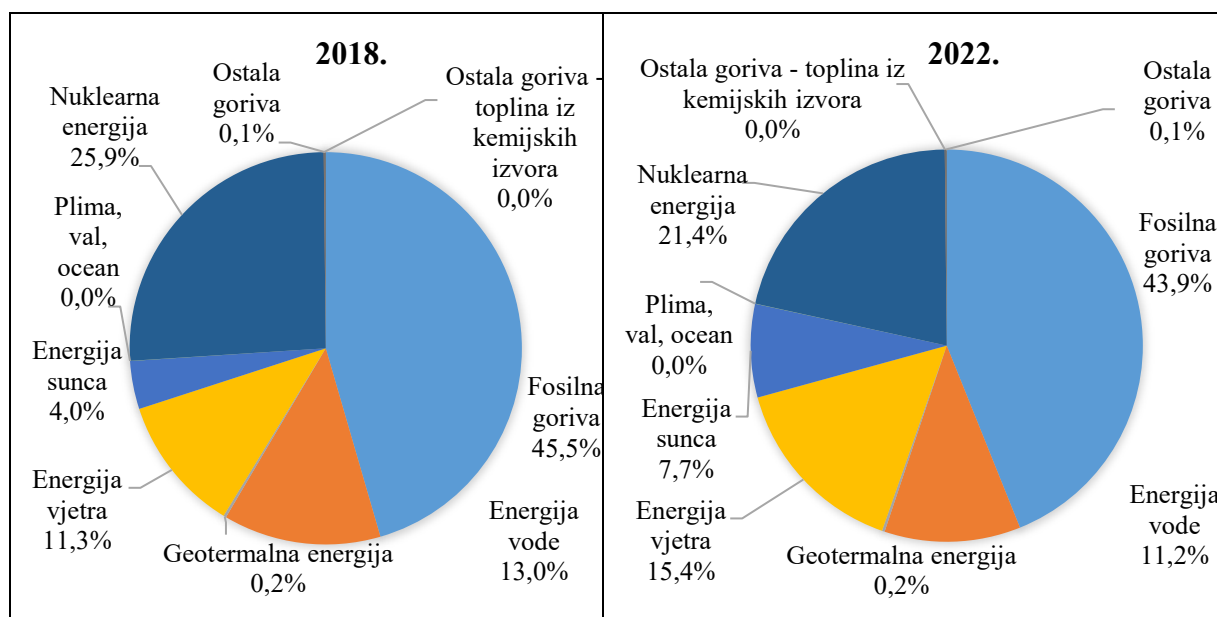
Grafikon 3. Neto proizvodnja električne energije u Europskoj Uniji, 1990.-2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Gross and net production of electricity and derived heat by type of plant and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_peh__custom_11995594/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Prema podacima Eurostata (2023) za više od polovice (55,1 %) neto električne energije proizvedene u Europskoj uniji u 2022. godini koriste se niskougljični izvori energije (Grafikon

¹⁰ Neto proizvedena električna energija je ukupno proizvedena električna energija u elektranama umanjena za električnu energiju potrebnu elektranama za proizvodnju električne energije.

4). Dominantno mjesto u strukturi, međutim, još uvijek imaju fosilna goriva kao visokouglični izvori energije (43,9 % u 2022. godini), no u usporedbi s 2018. godinom (45,5 %) može se uočiti smanjenje njihovog udjela. U nuklearnim elektranama proizvodi se oko petine neto električne energije (21,4 % u 2022. godini) s tendencijom smanjenja u odnosu na 2018. godinu (25,9 %).



Grafikon 4. Struktura izvora neto električne energije u EU-27 2018. i 2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Gross and net production of electricity and derived heat by type of plant and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_peh_custom_11995594/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Među obnovljivim izvorima energije prikazanim na Grafikonu 4, najveći udio neto električne energije u 2022. godini bio je iz vjetroelektrana (15,4 %) te je u odnosu na 2018. godinu taj udio povećan za 4,1 %. Hidroelektrane su u 2022. godini sudjelovale s 11,2 % te su u odnosu na 2018. godinu smanjile svoj udio za 1,8 % što se može povezati s klimatskim uvjetima i količinom oborina u pojedinim godinama. Udio neto električne energije proizvedene iz solarnih elektrana u 2022. godini povećan je za 3,7 %.

Pregled proizvodnje električne energije po zemljama članicama Europske unije ukazuje na najveće sudjelovanje Njemačke u ukupnoj proizvodnji električne energije u Europskoj uniji, s 20,4 % u 2022. godini, a slijedi je Francuska sa 16,8 % te Španjolska s 10,5 % i Italija s 10,2 % tržišnog udjela. Također, se može uočiti smanjenje tržišnog udjela Njemačke i Italije u 2022. godini u odnosu na 2018. godinu (0,8 % odnosno 3,1 %) dok su Španjolska i Italija povećale svoj tržišni udio, za 0,9 %, odnosno za 0,2 %. Uz njih je još jedanaest zemalja članica EU-27

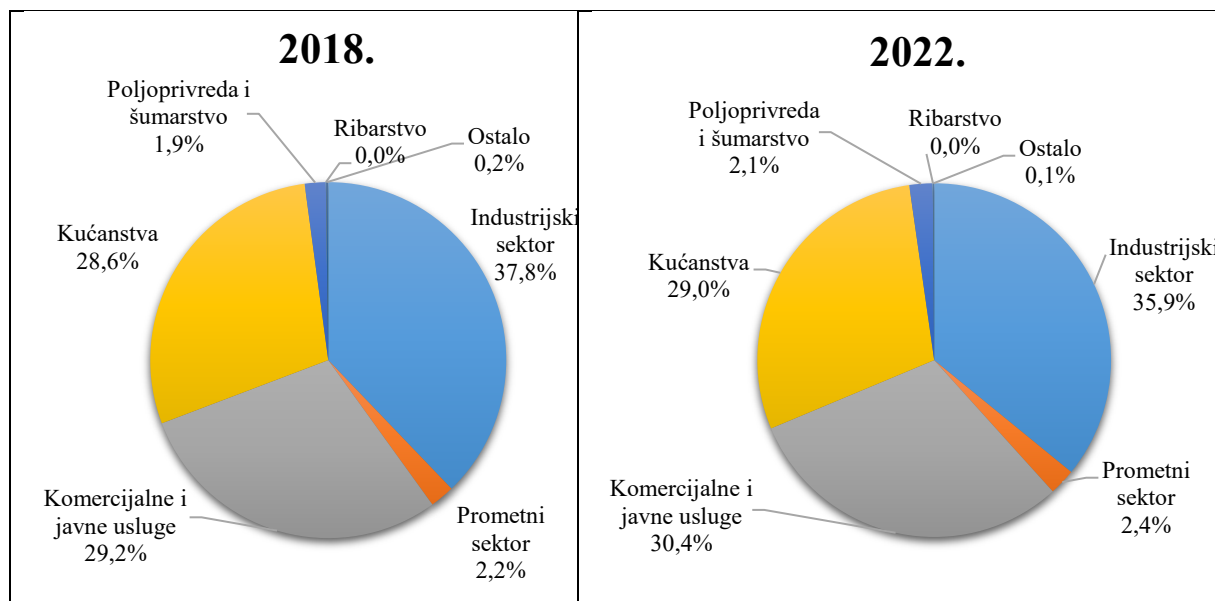
povećale svoj tržišni udio u 2022. godini u odnosu na 2018. godinu, tri ih je smanjilo, a devet zadržalo tržišni udio na istoj razini (Tablica 4).

Tablica 4. Neto proizvodnja električne energije po zemljama članicama EU-27 2018. i 2022. godine

	Neto proizvodnja, GWh		Indeks 2022./2018.	Udio, u %	
	2018.	2022.		2018.	2022.
Belgija	92.287,5	72.070,6	128,1	2,6	3,4
Bugarska	45.960,0	42.714,4	107,6	1,5	1,7
Češka Republika	78.195,4	80.886,2	96,7	2,9	2,9
Danska	34.095,6	29.315,5	116,3	1,0	1,3
Njemačka	552.027,0	605.651,0	91,1	21,6	20,4
Estonija	7.524,0	10.932,8	68,8	0,4	0,3
Irska	33.032,4	30.353,4	108,8	1,1	1,2
Grčka	51.596,8	50.083,7	103,0	1,8	1,9
Španjolska	283.174,0	263.827,0	107,3	9,4	10,5
Francuska	454.642,1	557.698,4	81,5	19,9	16,8
Hrvatska	13.696,4	13.181,6	103,9	0,5	0,5
Italija	274.616,2	279.844,6	98,1	10,0	10,2
Cipar	5.025,4	4.827,3	104,1	0,2	0,2
Latvija	4.768,0	6.203,2	76,8	0,2	0,2
Litva	4.497,0	3.314,3	135,7	0,1	0,2
Luksemburg	2.219,8	2.170,2	102,3	0,1	0,1
Mađarska	33.783,4	29.891,0	113,0	1,1	1,3
Malta	2.241,7	1.912,3	117,2	0,1	0,1
Nizozemska	118.009,9	110.840,8	106,5	4,0	4,4
Austrija	67.160,5	65.383,7	102,7	2,3	2,5
Poljska	167.092,0	155.259,7	107,6	5,5	6,2
Portugal	48.161,0	58.197,2	82,8	2,1	1,8
Rumunjska	51.004,7	60.175,5	84,8	2,1	1,9
Slovačka	12.867,6	15.442,0	83,3	0,6	0,5
Slovenija	24.294,0	24.863,0	97,7	0,9	0,9
Finska	69.194,0	67.533,0	102,5	2,4	2,6
Švedska	169.996,0	159.677,0	106,5	5,7	6,3
EU-17	2.802.249,3	2.701.162,1	96,4	100,0	100,0

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Gross and net production of electricity and derived heat by type of plant and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_peh_custom_11995594/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

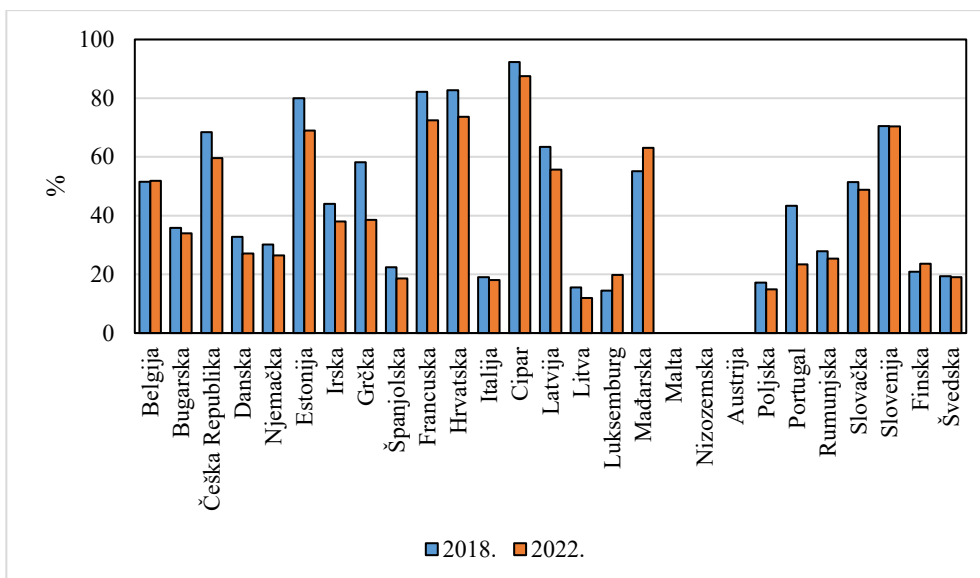
Podatci u Tablici 4 pokazuju da je u razdoblju od 2018. do 2022. godine došlo do smanjenja neto proizvodnje električne energije u EU-27. Najveći ukupni porast zabilježen je u Litvi (35,7 %), Belgiji (28,1 %) i Malti (17,2). Među državama članicama EU-27 niža razina neto proizvodnje električne energije, najveće smanjenje zabilježeno je u Estoniji (31,2 %), Latviji (23,2 %) i Francuskoj (18,5 %). Potrebno je istaknuti kako promjene u proizvodnji električne energije nisu izravno povezane s promjenama u potrošnji električne energije, jer su one pod utjecajem i uvoza i izvoza električne energije. Finalna potrošnja u 2022. godine u EU-27 iznosila je 2.489,1 TWh, što je 92,1 % neto proizvodnje električne energije. U strukturi potrošnje električne energije najveći udio u 2022. godini imao je industrijski sektor (35,9 %), a slijede komercijalne i javne usluge (30,4 %) te kućanstva (29,0 %). Industrijski sektor u 2022. godini bilježi smanjenje udjela u ukupnoj potrošnji za 1,9 %, dok je u ostalim sektorima zabilježen rast tog udjela (Grafikon 5).



Grafikon 5. Ukupna potrošnja električne energije u EU-27 po sektorima, 2018. i 2022. godine
Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Supply, transformation and consumption of electricity.
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_cb_e__custom_10867668/default/table?lang=en
(pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Podatci o ukupnoj potrošnji električne energije u industrijskom sektoru mogu se povezati s kretanjima ukupne industrijske proizvodnje. Industrijska proizvodnja je u 2018. godini imala tek skromni rast (1,2 %), u odnosu na 2017. godinu, u kojoj je vrijednost indeksa gotovo dosegla razinu prije financijske i gospodarske krize 2008. godine, a u 2019. godini zabilježen je pad industrijske proizvodnje (-0,2 %). U 2020. godini kriza izazvana pandemijom Covid-19 i mjere njenog obuzdavanja rezultirali su drastičnim smanjenjem industrijske proizvodnje (-7,3 %) koja se u 2021. godini oporavlja (9,1 %), no u 2022. godini ukupna industrijska proizvodnja bilježi smanjenje stope rasta kao posljedica energetske krize (3,1 %) (Eurostat 2023a).

Jedna od mjera koja se koristi za praćenje liberalizacije tržišta električne energije je tržišni udio najvećeg proizvođača u svakoj državi (Eurostat 2023). Među državama članicama Europske unije (izuzev Austrije, Malte i Nizozemske za koje nema podataka) stopu udjela veću od 80 % najvećeg proizvođača električne energije na nacionalnom tržištu u 2022. godini prijavio je Cipar, a stopu veću od 70 % Francuska i Hrvatska. Najnižu stopu prijavio je Luksemburg (12,0 %), Portugal (14,9 %) i Švedska (19,0 %), pa se može reći kako je u ovim državama postignut i najveći stupanj liberalizacije tržišta električne energije u Europskoj uniji (Grafikon 6).



Grafikon 6. Tržišni udio najvećeg proizvođača na tržištu električne energije u zemljama članicama Europske unije, 2018. i 2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Energy market indicator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_MARKET__custom_12044093/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

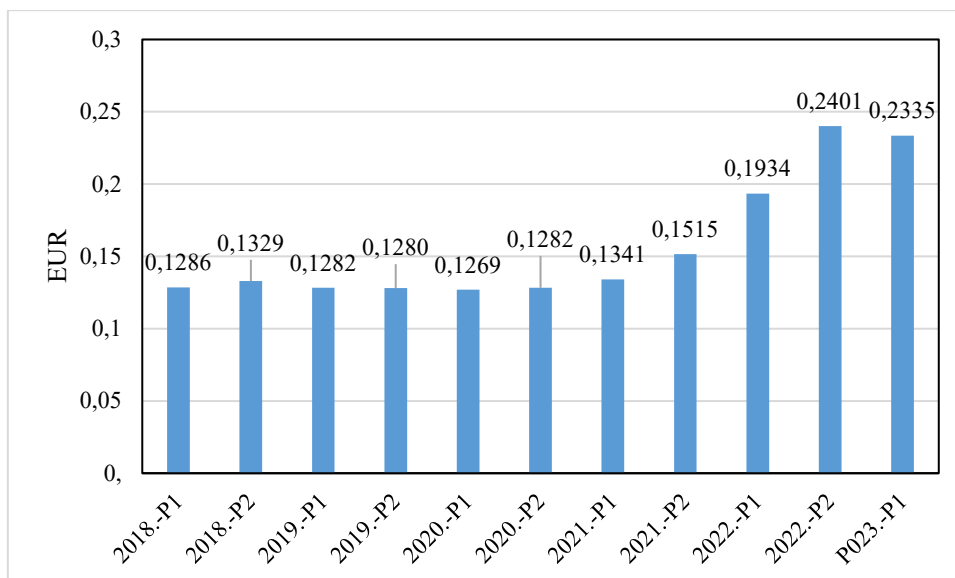
Analiza razvoja liberalizacije tržišta električne energije u Europskoj uniji na temelju podataka iz Grafikona 6 otkriva da je u gotovo svim državama članicama Europske unije u razdoblju od 2018. do 2022. godine smanjen udio najvećeg proizvođača električne energije na nacionalnom tržištu, odnosno da je povećan stupanj liberalizacije tržišta električne energije. Najveće smanjenje vidljivo je u Portugalu (sa 43,3 % na 23,5 %), Grčkoj (s 58,2 % na 38,6 %) i Estoniji (s 80,0 % na 69,0 %). No, u četiri države članice (Belgija, Luksemburg, Mađarska i Finska) udio najvećeg proizvođača električne energije na tržištu je povećan, što pokazuje smanjenje stupnja liberalizacije tržišta električne energije u tim državama. Najveće povećanje zabilježeno je u Mađarskoj (7,9 %), gdje tržištem dominira MVM Grupa (*Magyar Villamos Művek Zártkörűen működő Részvénytársaság*, engl. *Hungarian Electrical Works*), koja je u vlasništvu države i jedini je veletrgovac električne energije u Mađarskoj te jedini opskrbljivač električnom energijom. Svoj tržišni udio povećala je u 2020. godini preuzimanjem Mátra Power Plant, velikog dobavljača električne energije i druge najveće elektrane u Mađarskoj (Patricolo 2020). U Luksemburgu je zabilježeno povećanje tržišnog udjela najvećeg proizvođača električne energije za 5,3 %, u Finskoj za 2,8 % i u Belgiji za 0,3 %.

Cijena električne energije koju plaća krajnji potrošač u Europskoj uniji sastoji se od više komponenti koje određuju nacionalne politike zemalja članica te se razlikuju od zemlje do zemlje, a mogu se razlikovati i od lokaliteta do lokaliteta. Među tim komponentama je cijena snage električne energije, poticaji vlada, porezi i druge pristojbe, klimatski obrasci, regulativa

industrije i dr. Cijene se mogu razlikovati s obzirom na vrstu potrošača (kućanstva, industrija i dr.).

Formiranje cijena na tržištu električne energije u Europskoj uniji slijedi mehanizam koji daje prednost korištenju najjeftinijih proizvodnih tehnologija uz osiguranje opskrbe za europske krajnje potrošače. Veleprodajne cijene na *spot* tržištu podložne su promjenama iz sata u sat te se formiraju na temelju ponude i potražnje. Tijekom noći, primjerice, kada je niska potražnja za električnom energijom, cijene su niže s obzirom na to da se potrebne količine električne energije u to doba dana zadovoljavaju iz obnovljivih izvora energije. Tijekom dana, međutim, proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije ne zadovoljava potrebe potražnje te s rastom potražnje dolazi do rasta troškova uslijed uključivanja drugih proizvođača u proizvodni lanac, primjerice nuklearne elektrane, termoelektrane na ugljen i na posljeticu, kada potražnja dosegne najvišu razinu uključuju se elektrane na plin. Cijenu električne energije u svakom trenutku određuje posljednji proizvođač u lancu, što znači da je određuju elektrane na plin (Hina 2023), odnosno cijena plina kao glavnog pogonskog goriva u proizvodnji električne energije određuje cijenu električne energije. Taj se mehanizam naziva načelo 'reda zasluga' (European Council, Council of the European Union n.d.). Prema njemu se cijena električne energije na *spot* tržištu energije za dan unaprijed određuje prema graničnom trošku posljednjeg opskrbljivača redoslijedom kojim elektrane isporučuju električnu energiju na tržištu, odnosno redoslijedom graničnih proizvodnih cijena elektrana od najnižih do najviših. Granični trošak pokazuje koliki su troškovi proizvođača za jedan dodatni MWh električne energije (EPEX Spot SE, n.d.). Proizvođači dobivaju istu cijenu za proizvedenu električnu energiju. Potrebno je, također, istaknuti kako u Europskoj uniji korištenje ugljena i plina u proizvodnji električne energije podliježe trošku emisije ugljičnog dioksida odnosno proizvođači trebaju posjedovati dozvolu za emisiju stakleničkih plinova, tzv. ITS dozvolu (engl. *Emission Trading Scheme*) što opterećuje troškove proizvodnje električne energije iz fosilnih goriva, pa time utječu i na cijenu električne energije proizvedene iz ovih izvora.

Cijene električne energije su u 2021. i 2022. godini značajno porasle, posebice pod utjecajem ruske invazije u Ukrajini kao posljedica rekordnih razina cijena plina (Grafikon 7).



Grafikon 7. Cijene električne energije za kućanstva u EU-27, I. polugodište 2018. – I. polugodište 2023.

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Electricity prices for household consumers – bi-annual data (from 2007 onwards).

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_204__custom_10921858/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Primijenjeni dizajn tržišta električne energije u Europskoj uniji je mnogo godina pružao učinkovitost, omogućujući iskorištavanje ekonomskih prednosti jedinstvenog energetskog tržišta, osiguravajući pouzdanost opskrbe i potičući proces dekarbonizacije (European Commission 2023). No, dizajn tržišta pokazuje i određene slabosti tijekom krize visokih i nestabilnih cijena električne energije potaknutih ratom u Ukrajini, kada se novonastali troškovi prebacuju na krajnje potrošače, a sigurnost opskrbe potrošača dovede u pitanje. Te su okolnosti istaknule potrebu za reformom postojećeg dizajna tržišta kako bi se potrošači i poslovni subjekti bolje zaštitili od visokih cijena električne energije, povećala otpornost sustava te ubrzala tranzicija u skladu s Europskim zelenim planom i REPowerEU planom.

Reforma tržišta električne energije koju je predložila Europska komisija u 2023. godini uključila je prijedlog dugoročnih ugovora o kupovini električne energije čija bi svrha bila zaštititi potrošače od izloženosti kratkoročnih promjena cijena fosilnih goriva (Hina 2023). Naime, dugoročnim ugovorima promjene na tržištu ne bi utjecala na ugovorenu cijenu. Cilj koji se želi reformom postići, odnosi se na povećanje stabilnosti cijena na tržištu te bolja zaštita od manipulacija na tržištu jačanjem transparentnosti i mehanizama nadzora tržišta.

2.5. Tržište električne energije u Republici Hrvatskoj

Proces restrukturiranja elektroenergetskog sustava i tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj posljednjih se godina dosta intenzivno razvija usporedo s prisutnim promjenama u sektorima energetske usluga diljem svijeta te procesa uspostave otvorenog i konkurentnog unutarnjeg energetskog tržišta Europske unije, novih tržišnih odnosa i primijenjene organizacije elektroenergetskog sustava (Bukša 2011; Vlahinić 2011; Beus i dr. 2018; Borozan 2021). Glavni pokretači promjena su: restrukturiranje vertikalno integrirane monopolističke organizacije u raščlanjene poslovne subjekte, privatizacija elektroenergetskih poduzeća u državnom vlasništvu te uvođenje tržišta električne energije. Zakonski je propisana postupna dinamika otvaranja tržišta električne energije te je od 2008. godine potpuno otvoreno (HOPS n.d.). Kratak pregled zakonodavnog okvira i analiza stanja na tržištu električne energije omogućava bolje razumijevanje odnosa na tržištu električne energije u Republici Hrvatskoj.

2.5.1. Zakonodavni i institucionalni okvir

Republika Hrvatska, kao članica Europske unije, nacionalno zakonodavstvo vezano uz tržište električne energije usklađuje s relevantnim pravnim stečevinama Europske unije (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2019). Stupin (2015) ukazuje na potpuno promijenjeni pravni režim uređenja energetskog sektora Republike Hrvatske donošenjem “energetskog paketa”¹¹ u 2001. godini, kao dijelom zacrtane reforme energetskog sektora i približavanja energetske politici Europske unije. Usvajanjem *Zakona o energetici* (2001) započeo je proces liberalizacije hrvatskog elektroenergetskog sektora. Ovim je zakonom stvoren zakonodavni okvir neophodan za pružanje veće slobode opskrbljivačima i kupcima pri prodaji i nabavi električne energije. Zakon je poslužio i za formiranje tržišnog okvira usmjerenog na učinkovitost i pouzdanost (Beus i dr. 2018). Usvajanjem *Zakona o tržištu električne energije* u 2001. godini stvorene su pretpostavke za otvaranje tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj te poboljšanje kvalitete usluga električne energije. Naknadno je usvojen *Zakon o proizvodnji, distribuciji i opskrbi električnom energijom*, u 2004. godini te niz podzakonskih akata kojima je sa zakonima oblikovan sustav pravnih pravila kojim je reguliran sektor električne energije u Republici Hrvatskoj. Glavni subjekt u hrvatskom elektroenergetskom sektoru, Hrvatska elektroprivreda

¹¹ Energetskim paketom je obuhvaćeno donošenje pet zakonskih akata: *Zakon o energiji*, *Zakon o regulaciji energetske usluge*, *Zakon o tržištu električne energije*, *Zakon o tržištu plina* i *Zakon o tržištu nafte i naftnih derivata*. Zakonom o energiji utvrđena su pitanja koja se odnose na ustrojstvo i poslovanje cijelog energetskog sektora u Republici Hrvatskoj.

(HEP) koja je bila odgovorna za proizvodnju, distribuciju i opskrbu električnom energijom započela je proces restrukturiranja s ciljem prilagodbe liberaliziranom europskom tržištu. Zakonodavstvo prati promjene na tržištu električne energije te se *Zakon o tržištu električne energije* više puta mijenja i nadopunjuje kao i druga pravna pravila vezana uz energiju.

Temeljni zakonski akti koji reguliraju tržište električne energije su: *Zakon o energiji*, usvojen 2012. godine s izmjenama i dopunama u 2014., 2016. i 2018. godini i *Zakon o tržištu električne energije*, usvojen u 2021. godini s izmjenama i dopunama u 2023. godini. *Zakonom o tržištu električne energije* (2021, čl. 1) propisana su zajednička pravila za proizvodnju, distribuciju i skladištenje energije te opskrbu električnom energijom koja s odredbama zaštite potrošača tvore pravna pravila određena radi formiranja integriranog, konkurentnog, fleksibilnog, poštenog i transparentnog tržišta električne energije kao dijela elektroenergetskog tržišta Europske unije. Usvajanjem Zakona u 2021. godini uvode se značajne promjene na tržištu električne energije za koje se očekuje da će doprinijeti njegovom razvoju uvođenjem novih elektroenergetskih djelatnosti: djelatnosti agregiranja, organiziranja energetske zajednice građana, skladištenja električne energije te djelatnosti operatora zatvorenog distribucijskog sustava (HERA 2022a, 16). S istim očekivanjima usvojen je i novi *Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji krajem* 2021. godine (s izmjenama u 2023. godini), a kojim se uvode novine na tržištu električne energije, poput zajednica obnovljive energije, ugovor o kupnji energije iz obnovljivih izvora energije, uzajamno trgovanje (*peer-to-peer*) energijom iz obnovljivih izvora, i dr. Razvoj tržišta električne energije pod utjecajem je i sve većeg broja krajnjih kupaca koji koriste obnovljive izvore energije za vlastite potrebe (tzv. aktivni kupci). Za građane je posebno interesantan mehanizam dijeljenja energije, koji omogućuje razmjenu električne energije predane u elektroenergetsku mrežu između obračunskih mjernih mjesta unutar skupine krajnjih kupaca (HERA 2022). S pojavom novih elektroenergetskih djelatnosti, posebice agregiranja i skladištenja, očekuje se značajan razvoj novih poslovnih modela u energetici. Novi modeli trebali bi potaknuti jači razvoj kratkoročnih tržišta električne energije, omogućujući fleksibilnije i dinamičnije upravljanje proizvodnjom i potrošnjom energije. Razvoj tih djelatnosti donosi inovativna rješenja koja optimiziraju energetske resurse, smanjuju troškove te povećavaju stabilnost i održivost elektroenergetskog sustava.

Usvojen je i cijeli niz pravila sadržanih u Pravilniku o općim uvjetima za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom (2022), Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom (2015; 2020), Pravilnik o uvjetima kvalitete opskrbe električnom energijom (2022) i Metodologija utvrđivanja podrijetla električne energije (2014; 2019) koje donosi Hrvatska

energetska regulatorna agencija (HERA), zatim pravila koja se odnose na tržište sadržana u Pravilima o promjeni opskrbljivača i agregatora (2022), Pravilima za razgraničenje potrošnje i očitavanja brojila u postupku promjene opskrbljivača (2016), Pravilima organiziranja tržišta električne energije (2019; 2020) kojima se uređuju primjerice, ugovorni odnosi, obveze i odgovornosti subjekata i korisnika mreže, postupak prilikom promjene vlasništva građevine, kategorija za korištenje mreže, prikupljanje i obrađivanje mjernih podataka s obračunskih mjernih mjesta i dr. (čl 1), Pravilima o uravnoteženju elektroenergetskog sustava (2019) i dr. U slučaju poremećaja na domaćem tržištu energije zakonodavac može donositi posebne mjere. Tako je u 2022. godini zbog poremećaja na domaćem tržištu energije zakonodavac donio posebne mjere koje se odnose na trgovinu električnom energijom, načinom i uvjetima formiranja cijena za određene kategorije kupaca električne energije i toplinske energije i nadzor nad primjenom cijena sadržane u Uredbi o otklanjanju poremećaja na domaćem tržištu (2022). Ova je Uredba imala privremeni karakter, za razdoblje od 1. listopada 2022. do 31. ožujka 2023. godine. Posebne mjere su nastavljene i nakon završetka ovog razdoblja uređene Uredbom o otklanjanju poremećaja na domaćem tržištu energije (2023) za razdoblje od 1. travnja 2023. do 30. rujna 2023. godine, a za dio mjera koje se odnose na toplinsku energiju do 31. ožujka 2024. godine

Usvajanjem energetske zakona postavljen je institucionalni okvir sektora električne energije u Republici Hrvatskoj. Pružatelji javnih usluga koji aktivno opskrbljuju krajnje kupce električne energije i regulatorne agencije s tijelima državne uprave čine institucionalni okvir sektora električne energije (Stupin 2015). Institucionalni okvir se može promatrati kroz dva segmenta.

Prvi segment čine aktivnosti unutar sustava državne uprave koje se odnose na utvrđivanje i provedbu energetske politike i planiranje energetskog razvoja definiranog u Strategiji energetskog razvoja (Zakon o energiji 2012, čl. 5), sigurne opskrbe električnom energijom u Republici Hrvatskoj te međunarodne aktivnostima unutar Europske unije (Stupin 2015). U 2020. godini donijeta je Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu (2020) kojom je dan novi iskorak transformaciji energetskog sustava Hrvatske ka realizaciji vizije niskougljične energije i energetske politike kojom se bez dodatnog opterećenja državnog proračuna u okviru potpora i poticaja osigurava pristupačna, kvalitetna i sigurna opskrba energije.

Drugi segment institucionalnog okvira odnosi se na regulatornu agenciju (Hrvatska energetska regulatorna agencija, HERA) kojoj je zakonodavac dao javne ovlasti u energetskom

sektoru. HERA je osnovana 2004. godine usvajanjem *Zakona o regulaciji energetske djelatnosti* (2004; 2007), a s donošenjem novog *Zakona o regulaciji energetske djelatnosti* u 2012. godini i njegovim izmjenama i dopunama u 2018. godini nastavila je s radom. Temeljem *Zakona o regulaciji energetske djelatnosti* (2018, čl. 7) HERA je samostalna, neovisna pravna osoba s javnim ovlastima za regulaciju energetske djelatnosti, a njene ovlasti uređene su *Zakonom o regulaciji energetske djelatnosti* i *Zakonom o energiji*. Uz navedene zakone u segmentu elektroenergetskog sektora ovlasti HERA-e uređene su i *Zakonom o tržištu električne energije*. Osnivač HERA-e je Republika Hrvatska, a osnivačka prava ima Vlada Republike Hrvatske. Za svoj rad HERA odgovara Hrvatskom saboru (*Zakona o regulaciji energetske djelatnosti* 2018, 8). HERA obavlja zakonom utvrđene poslove temeljem javne ovlasti, a odnose se na poslove vezane uz regulaciju energetske djelatnosti. Jedan od ciljeva koji su definirani regulacijom energetske djelatnosti odnose se na uspostavu učinkovitog energetskog tržišta i tržišnog natjecanja. U segmentu električne energije učinkovito djelovanje tržišta električne energije uspostavlja se sustavom reguliranog djelovanja elektroenergetskih subjekata, posebice onih elektroenergetskih djelatnosti koje se obavljaju kao javne usluge i u javnom interesu s jedne strane te uređenja tržišta električne energije s druge strane u skladu sa zakonskim odredbama (*Zakon o regulaciji energetske djelatnosti* 2018, 4). Time se promiče učinkovito i racionalno korištenje električne energije, razvoj poduzetništva u elektroenergetskom sustavu, investiranje u elektroenergetski sustav te zaštita okoliša.

Temeljem *Zakona o tržištu električne energije* (2021, čl. 4) elektroenergetske djelatnosti se obavljaju kao pružanje javnih usluga ili kao tržišne djelatnosti, odnosno prema pravilima kojima se uređuju tržišni odnosi. *Zakon o regulaciji energetske djelatnosti* (2018, 6) uređuje provedbu regulacije elektroenergetske djelatnosti (uz druge energetske djelatnosti) u dijelu koji se odnosi na reguliranje elektroenergetske djelatnosti te u dijelu koji se odnosi na tržišne elektroenergetske djelatnosti. Javna usluga se, u smislu *Zakona o energiji* (2012, čl. 3. st. 1.) definira kao usluga koja je u svakom trenutku dostupna krajnjim kupcima i energetskim subjektima prema reguliranoj cijeni i/ili uvjetima pristupa i korištenja energetske usluge, koja mora biti dostupna, dostatna i održiva uvažavajući sigurnost, redovitost i kvalitetu usluge, zaštitu okoliša, učinkovitost korištenja energije i zaštitu klime, a koja se obavlja prema načelima razvidnosti i nepristranosti te uz nadzor tijela određenog zakonom. Zakonodavac u okviru javne usluge opskrbe električnom energijom razlikuje univerzalnu opskrbu i zajamčenu opskrbu, pri čemu je univerzalna usluga ona koja jamči svim kupcima iz kategorije kućanstvo u Republici Hrvatskoj pravo na iste uvjete opskrbe električnom energijom koja se obavlja kao javna usluga,

a kod zajamčene opskrbe isto to pravo odnosi se na sve kupce koji nisu iz kategorije kućanstvo (Zakon o tržištu električne energije 2021, 3).

Važan element elektroenergetskog institucionalnog okvira čine pružatelji javnih usluga: operator tržišta električne energije (Hrvatski operator tržišta energije d.o.o., HROTE), operator sustava (operator prijenosnog sustava (Hrvatski operator prijenosnog sustava d.d., HOPS d.d.) i operator distribucijskog sustava (HEP – Operator distribucijskog sustava, HEP ODS), operator skladišta energije, opskrbljivači električnom energijom u sustavu javne usluge te burza električne energije, koji su pravno regulirani *Zakonom o tržištu električne energije*. HOPS d.d., osnovan na temelju *Zakona o energiji* i *Zakona o tržištu električne energije*, neovisan je i jedini operator prijenosnog sustava u Republici Hrvatskoj, u čijem je cjelokupna prijenosna mreža Republike Hrvatske. Obavlja energetske djelatnosti prijenosa električne energije kao regulirane javne usluge (HOPS n.d.). HROTE je započela s radom temeljem *Zakona o tržištu električne energije* (2004) u travnju 2005. godine kao energetski subjekt čija je djelatnost organiziranje tržišta električne energije (čl. 2) (i tržišta plina) kao javne usluge dozvole koju izdaje HERA (Zakon o tržištu električne energije 2021, 50). Osnovne zadaće HERA-e na tržištu električne energije su (Zakon o tržištu električne energije 2021, 50):

- organiziranje i razvoj te veleprodajnog tržišta električne energije te donošenje tržišnih pravila,
- evidentiranje ugovornih obveza između sudionika na tržištima električne energije,
- izrada tržišnog plana za dan unaprijed,
- vođenje evidencije sudionika na tržištu električne energije,
- analiziranje organiziranja veleprodajnog tržišta električne energije i predlaganje mjera njegovog unaprjeđenja,
- trgovanje električnom energijom u svrhu kupnje i prodaje električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče.

Zakonodavni i institucionalni okvir tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj, kako je vidljivo, uređuje pitanja od značaja za elektroenergetski sektor te se dograđuje novim zakonskim aktima i podaktima u skladu s pravnom stečevinom Europske unije i energetske ciljevima postavljenim na nacionalnoj razini i na razini Europske unije.

2.5.2. Analiza tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj

Na temelju *Zakona o električnoj energiji* (2021, 49) tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj obuhvaćaju veleprodajna, maloprodajna i ostala tržišta električne energije. Veleprodajno tržište električne energije obuhvaća izvanburzovno i burzovno tržište električne energije, dok maloprodajna tržišta obuhvaćaju opskrbu električne energije i agregiranje. U ostala tržišta električne energije ubrajaju se tržište uravnoteženja i tržište nefrekvencijskih pomoćnih usluga. Na izvanburzovnom tržištu električne energije kupoprodaja električne energije obavlja se putem bilateralnih ugovora izravno između sudionika na tržištu električne energije, dok se na burzovnom tržištu kupoprodaja električne energije odvija posredstvom burze električne energije.

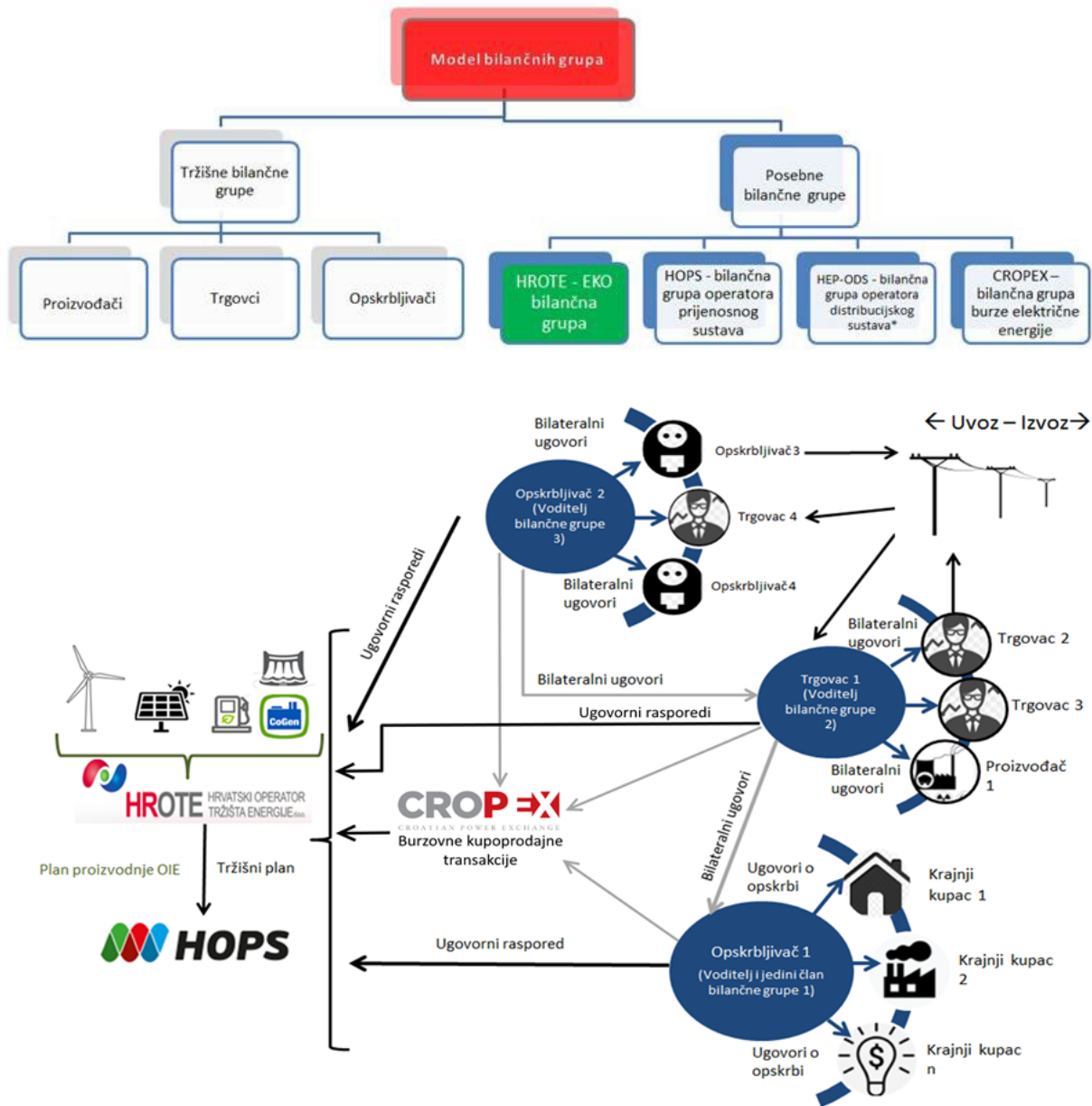
U početku formiranja tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj djelovalo je jedno tržište električne energije obilježeno modelom bilateralnog tržišta. Na njemu se trgovalo električnom energijom na temelju bilateralnih ugovora sklopljenih između sudionika na tržištu električne energije (HOPS n.d.). Pravilima organiziranja tržišta električne energije u donesenim u listopadu 2015. godini usvojen je model bilančnih grupa. Ovaj model unosi značajne promjene u načinu organizacije tržišta električne energije. Model omogućava efikasnije i ekonomičnije upravljanje odstupanjima, potičući suradnju među sudionicima i stvarajući stabilnije tržišne uvjete. Bilančne grupe pružaju mogućnost zajedničkog optimiranja portfelja tržišnih sudionika unutar iste bilančne grupe.

Bilančna grupa je definirana kao grupa sastavljena od jednog ili više sudionika na tržištu električne energije za čije odstupanje je odgovoran voditelj bilančne grupe HOPS-u (Odluka o davanju prethodne suglasnosti na Prijedlog Pravila organiziranja tržišta električne energije 2015). Predviđene su sljedeće bilančne grupe (Pravila o organiziranju tržišta električne energije, 2019, 27):

- EKO bilančna grupa,
- tržišne bilančne grupe,
- bilančna grupa operatora prijenosnog sustava,
- bilančna grupa operatora distribucijskog sustava,
- bilančna grupa burze električne energije.

Za razliku od prethodnog modela u kojem je svaki subjekt je bio odgovoran za odstupanje, pri čemu su sudionici na tržištu morali sami snositi troškove odstupanja, što je moglo dovesti do značajnih financijskih opterećenja, posebno za manje sudionike na tržištu (HROTE 2018),

modelom bilančnih grupa odgovornost za odstupanje se prebacuje na voditelja bilančne grupe. Shema 8 daje uvid u model tržišta bilančnih grupa i njihov međudodnos na tržištu električne energije.



Shema 8. Model tržišta bilančnih grupa i njihov međudodnos na tržištu električne energije u Republici Hrvatskoj
 Izvor: HROTE. (2018). Prijedlog pravila organiziranja tržišta električne energije.
https://files.hrote.hr/files/PDF/OTEE/2019/Popratni_dokument_Prijedlog_POTEE.pdf (10. svibnja 2024.)

Kako je vidljivo iz Sheme 8 bilančne grupe na hrvatskom tržištu električne energije mogu se klasificirati kao tržišne bilančne grupe i posebne bilančne grupe. U skladu s tim sudionici tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj su tržišni sudionici i posebni tržišni sudionici.

Tržišni sudionici na veleprodajnom tržištu električne energije u Republici Hrvatskoj su proizvođači, trgovci i opskrbljivači, a posebni tržišni sudionici su operatori sustava (operator prijenosnog sustava i operator distribucijskog sustava), burza i operator tržišta (HROTE).

Proizvođači su energetske subjekti koji imaju dozvolu za proizvodnju električne energije izuzev onih energetskih subjekata koji proizvode za vlastite potrebe i onih čiji su proizvodni subjekti manji od 1 MW, a koji za proizvodnju električne energije ne trebaju imati dozvolu. Proizvođači električne energije mogu trgovati s različitim sudionicima na tržištu, uključujući druge proizvođače, trgovce, opskrbljivače i burzu. Također, mogu koristiti prekozonske kapacitete za trgovinu električnom energijom. Trgovina proizvođača s operatorima sustava moguća je samo u određenim situacijama, primjerice pokriva gubitaka u prijenosnoj, odnosno distribucijskoj mreži. Uz nezavisnog proizvođača, postoji klasifikacija i povlaštenog proizvođača čija su proizvodna postrojenja unutar sustava poticanja te koji sklapa ugovor o otkupu električne energije s HROTE po zajamčenoj otkupnoj cijeni. Povlašteni proizvođač s HOPS-om može trgovati samo u slučaju potrebe za osiguranjem usluga sustava, pružanja usluga uravnoteženja, kompenzacijskog plana razmjene i za pokriva gubitaka u prijenosnoj mreži, a s HEP-ODS isključivo u slučaju pružanja pomoćnih usluga u distribucijskoj mreži te za pokriva gubitaka u distribucijskoj mreži (Pravila o organiziranju tržišta električne energije, 2019, 27). Prava i obveze povlaštenog proizvođača definirane su *Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji* (2021).

Trgovac je energetske subjekt koji se bavi otkupom i prodajom električne energije i ima dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti, a opskrbljivač je energetske subjekt koji ima dozvolu za obavljanje djelatnosti opskrbe električnom energijom (Beus i dr. 2018). Trgovci i opskrbljivači, kao i proizvođači, mogu trgovati električnom energijom s drugim tržišnim subjektima, uključujući i druge trgovce i opskrbljivače te s burzom te mogu koristiti prekozonski kapacitet za trgovinu električnom energijom (Pravila o organiziranju tržišta električne energije, 2019, 7 i 10). Trgovanje električnom energijom s HOPS-om i HEP-ODS-om uređeno je isto kao i u slučaju proizvođača električne energije. Opskrbljivačima je, također, data obveza preuzimanja električne energije koja je proizvedena iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovite kogeneracije u skladu sa zakonskom regulativom. Svi sudionici na tržištu električne energije sa sjedištem u Republici Hrvatskoj kao i oni koji imaju sjedište izvan Europske unije, a koji su aktivni na veleprodajnom tržištu moraju biti registrirani pri HERA-i. Njihova se registracija obavlja putem aplikacije Središnjeg europskog registra sudionika na tržištu energije

(engl. *Centralised European Register of Energy Market Participants*, skr. CEREMP) u skladu s odredbama Uredbe (EU) br. 1227/2011 Europskog parlamenta i Vijeća (HROTE n.d.).

Liberalizacijom hrvatskog tržišta električne energije regulirane su djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije te organiziranja tržišta električne energije. Ove se djelatnosti obavljaju kao javne usluge. Kako je već istaknuto, HROTE je zadužen za organizaciju tržišta električne energije, HOPS za prijenos električne energije, održavanje, razvoj i izgradnju prijenosnog sustava te vođenje elektroenergetskog sustava, a HEP-Operator distribucijskog sustava zadužen je za distribuciju električne energije, održavanje i izgradnju distribucijskog sustava (HROTE n.d.).

Posebne tržišne sudionike čine operatori sustava i burza električne energije. Operatori sustava su, kako je istaknuto, operator prijenosnog sustava (HOPS) i operator distribucijskog sustava (HEP-ODS), koji mogu trgovati električnom energijom s tržišnim sudionicima, HROTE-om, vlasnicima postrojenja kupaca, vlasnicima jedinica za pohranu energije ili korištenjem prekozonskog kapaciteta (Pravila o organiziranju tržišta električne energije, 2019, 12 i 13) u slučajevima koje je definirao zakonodavac, a koji se odnose na pokriće u prijenosnoj odnosno u distribucijskoj mreži i druge situacije prethodno navedene u slučajevima trgovanja HOPS-a i HEP ODS-a s proizvođačima, opskrbljivačima i trgovcima. Sudjelovanje pravne ili fizičke osobe na tržištu električne energije zahtijeva ishodovanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti od HROTE-a.

U skladu s definiranim odnosima između sudionika na tržištu električne energije u Republici Hrvatskoj uređena su pitanja vezana uz bilateralne ugovore koji se sklapaju između opskrbljivača, trgovca ili proizvođača, kao i u slučaju prekogranične razmjene, odnosno uvoza ili izvoza električne energije u ili iz regulacijskog područja Republike Hrvatske (HROTE n.d.). Bilateralni ugovori se sklapaju između člana bilančne grupe i voditelja bilančne grupe, između voditelja različitih bilančnih grupa, te između članova različitih bilančnih grupa. Krajnji kupac električne energije (kućanstva, poslovni subjekti, industrija, javna rasvjeta) je jedna od ugovornih strana u bilateralnom ugovoru za opskrbu električnom energijom, odnosno kupoprodajnog ugovora električne energije, a druga ugovorna strana je opskrbljivač. Osim ovog ugovora, krajnji kupac i proizvođač električne energije sklapaju bilateralni ugovor s HOPS-om ili HEP ODS-om o korištenju elektroenergetske mreže, u ovisnosti o naponskoj razini priključenja. HOPS je odgovor za nabavu električne energije nužne za uravnoteženje sustava.

Pravilima o organiziranju tržišta električne energije iz 2015. godini utvrđeno je osnivanje burze električne energije, kao drugog tržišta električne energije. Hrvatska burza električne

energije (CROPEX) je započela s radom 1. siječnja 2016. godine. Ona svojim članovima pruža uslugu organiziranog i anonimnog trgovanja električnom energijom putem informacijskog sustava za trgovanje električnom energijom (trgovačka platforma) (Pravila o organiziranju tržišta električne energije, 2019, 14). Burza djeluje kao središnja ugovorna strana CCP (engl. *Central Counter Party*) između prodavatelja i kupca električne energije, preuzimajući rizike povezane s kupnjom i prodajom električne energije unutar zaključenih burzovnih kupoprodajnih transakcija za dan unaprijed i unutar dnevno tržište (Hrvatska burza električne energije n.d.). Burza je u 100 %-tnom državnom vlasništvu, a skupštinu Burze čine HROTE d.o.o. i HOPS d.d. svaki u omjeru od 50 %. Na kraju 2023. godine Burza je imala 30 registriranih aktivnih članova na dan unaprijed tržištu, od kojih 24 na unutar dnevno tržištu. Burza obuhvaća tri tržišta, dan unaprijed tržište, unutar dnevno kontinuirano tržište i unutar dnevno dražbeno tržište. CROPEX-ovo dan unaprijed tržište je povezano na europsko dan unaprijed tržište (engl. *Single Day Ahead Coupling*, skr. SDAC) putem hrvatsko-slovenske i hrvatsko-mađarske granice (CROPEX n.d.). Na ovom se tržištu trguje svakog dana kroz središnju dražbu za isporuku idućeg dana. Tržišna cijena se izračunava korištenjem pravila jedinstvene cijene¹². Na unutar dnevno kontinuirano se trguje proizvodima tijekom sati pri čemu dolazi do automatskog uparivanja transakcija unošenjem podudarnih naloga na unutar dnevno platformu za trgovanje. Proizvodi s kojima se trguje obuhvaćaju satne, 15-minutne i satne blok proizvode, a članovima burze je ostavljena mogućnost samostalnog definiranja proizvoda. Na unutar dnevno dražbenom tržištu organiziraju se unutar dnevne dražbe kao implicitne dražbe na kojima se prikupljeni nalozi podudaraju te se kapaciteti istovremeno dodjeljuju za različite granice povezivanja (CROPEX n.d.).

Hrvatska burza električne energije je u 2023. godini zabilježila rast količine trgovanja električnom energijom na svim tržištima u odnosu na 2022. godini čime je prekinut pad volumena trgovine iz 2021. i 2022. godine (Tablica 5). Time je učvršćena pozicija CROPEX-a kao preferencijalnog tržišta za trgovanje energijom.

¹² Prema ovom pravilu cijena se oblikuje tako što se na temelju svih zaprimljenih naloga za kupnju i prodaju članova burze za svaki sat trgovanja formira sumarna krivulja ponude i potražnje, a njezino sjecište predstavlja jedinstvenu cijenu formiranu na tržištu.

Tablica 5. Volumen trgovine električnom energijom na CROPEX-u, 2019.-2023. godine

	Tržište dan unaprijed		Unutardnevno tržište	
	Volumen trgovine (MWh)	Verižni indeks	Volumen trgovine (MWh)	Verižni indeks
2019.	5.250.202	-	101.419	-
2020.	6.076.726	115,7	370.515	365,3
2021.	5.967.193	98,2	486.980	131,1
2022.	5.590.392	93,7	815.576	167,5
2023.	7.259.544	129,9	1.468.253	180,0

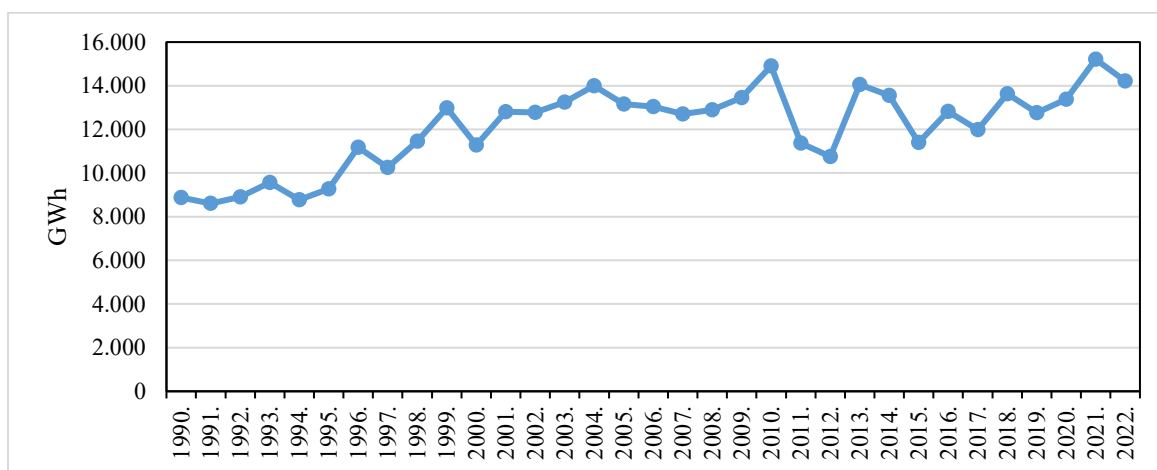
Izvor: Izrada autorice prema podacima: Annual Report. (2020). CROPEX, Zagreb, https://www.cropex.hr/images/monthly_reports/CROPEX_Annual_report_2020.pdf (pristupljeno 19. ožujka 2024.); Annual Report. 2021. CROPEX, Zagreb, https://www.cropex.hr/images/monthly_reports/CROPEX_Annual_report_2021.pdf (pristupljeno 19. ožujka 2024.); Annual Report. 2023. CROPEX, Zagreb, https://www.cropex.hr/images/monthly_reports/CROPEX_Annual_report_2023.pdf (pristupljeno 19. ožujka 2024.)

Podatci u Tablici 5 pokazuju značajan rast trgovine električnom energijom na CROPEX-u u 2023. godini u odnosu na 2022. godinu, koju je obilježila energetska kriza izazvana ratom u Ukrajini te 2021. godinu i drastičan rast cijene električne energije na hrvatskom i drugim tržištima u Europi. Pad volumena trgovine električnom energijom u 2022. godini nastavak je smanjene kupoprodaje električne energije iz 2021. godine, kao posljedica pada potrošnje električne energije uzrokovane smanjenjem gospodarskih aktivnosti uzrokovano pandemijom Covid-19 (HROTE 2021).

U 2022. godini Hrvatska je raspolagala ukupnim proizvodnim kapacitetom od 4.872,9 MW u elektranama na području Republike Hrvatske (17 pogona velikih hidroelektrana, 7 pogona termoelektrana, vjetroelektrana i drugim obnovljivim izvorima energije u privatnom vlasništvu, u određenom broju industrijskih termoelektrana te 348 MW iz polovine instaliranih kapaciteta u nuklearnoj elektrani Krško (na teritoriju Slovenije) (pripadajući vlasnički udio raspoložive snage elektrane) (Energija u Hrvatskoj 2023). Uz ove elektroenergetske kapacitete Hrvatska posjeduje i proizvodne kapacitete na teritoriju drugih država na koje polaže pravo isporuke temeljem vlasničkog udjela u elektroenergetskim kapacitetima (trećina snage instalirane snage 300 MW i energije termoelektrane Gacko na ugljen u Bosni i Hercegovini na razdoblje od 25 godina) ili temeljem zakupa snage i energije (termoelektrana Obrenovac na ugljen instalirane snage 305 MW). Proizvodnja električne energije u nuklearnoj elektrani Krškoj za potrebe Republike Hrvatske u bilanci električne energije prati se pod stavkom uvoza. U 2022. godini proizvela je 2.802,8 GWh električne energije za potrebe Republike Hrvatske (Energija u Hrvatskoj 2023). Termoelektrane koriste različite vrste goriva za proizvodnju električne energije, uključujući prirodni plin, ugljen i tekuća goriva koja se često koriste u

industrijskim kogeneracijama. Većina plinskih elektrana ima mogućnost korištenja ekstra lakog loživog ulja kao zamjenskog goriva, čime se osigurava fleksibilnost u radu i snabdijevanju gorivom. Većinski vlasnik velikih proizvodnih kapaciteta u Hrvatskoj je HEP Grupa (Hrvatska elektroprivreda d.d.), u vlasništvu Republike Hrvatske. HEP grupa upravlja većinom termoelektrana i hidroelektrana u zemlji, osiguravajući stabilnost i pouzdanost elektroenergetskog sustava. Privatni proizvođači električne energije u Hrvatskoj uglavnom se fokusiraju na elektrane koje koriste obnovljive izvore energije, kao što su vjetroelektrane, solarne elektrane i elektrane na biomasu. Ovaj segment tržišta doživljava značajan rast zbog sve veće potražnje za čistom energijom i povoljnih uvjeta za investiranje u obnovljive izvore.

Analiza bruto proizvodnje električne energije¹³ u Republici Hrvatskoj pokazuje dinamiku rasta u razdoblju od 1990. do 2022. godine (Grafikon 8).

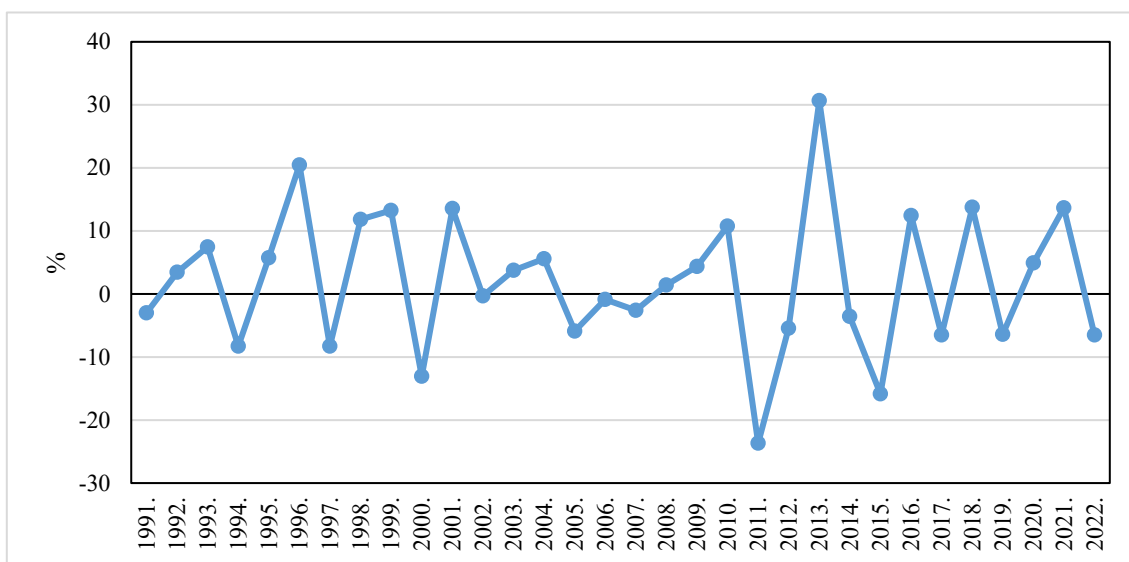


Grafikon 8. Stope rasta neto proizvodnja električne energije u Republici Hrvatskoj, 1990.-2022. godine
Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Gross and net production of electricity and derived heat by type of plant and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_peh_custom_10858978/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Pri analiziranju kretanja bruto proizvodnje električne energije u Republici Hrvatskoj, potrebno je istaknuti nisku baznu bruto proizvodnju električne energije u 1990. godini, uzrokovanu padom gospodarske aktivnosti i početkom ratnih događanja u Republici Hrvatskoj, što može iskriviti stvarna kretanja bruto proizvodnje električne energije. Prema podacima Eurostata (2024) značajniji rast bruto proizvodnje električne energije može se uočiti u 1996. godini (11.173 GWh) u odnosu na 1995. godinu od 20,5 %, s nastavkom rasta u sljedećim

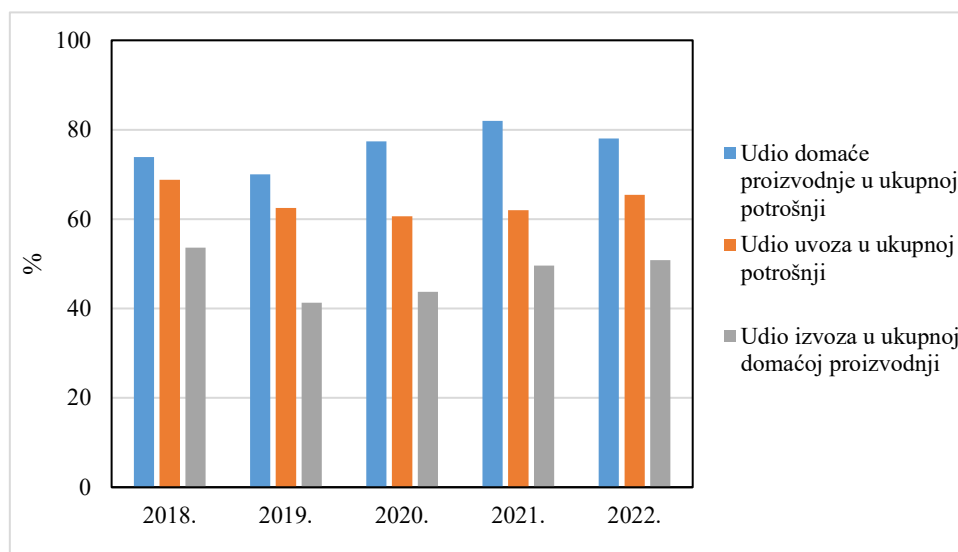
¹³ Bruto proizvedena električna energija je električna energija proizvedena na generatoru instaliranih kapaciteta za proizvodnju električne energije (termoelektrane, hidroelektrane, nuklearna elektrana i druge elektrane) (DZS 2024).

godinama. Završetak ratnih operacija na području Republike Hrvatske i rast gospodarskih aktivnosti u sljedećem razdoblju potiče i rast bruto proizvodnje električne energije. U 2021. godini bruto proizvodnja električne energije dosegla je svoj maksimum, 15.210 GWh i u odnosu na 2020. godinu povećanje od 13,6 %. Druga najveća bruto proizvodnja električne energije ostvarena je u 2010. godini, s 14.902 GWh i povećanjem u odnosu na 2009. godinu od 34,9 % u odnosu na 2009. godinu. Globalna gospodarska kriza koja je započela krajem 2008. godine prelila se i na hrvatsko gospodarstvo te u 2011. godini, uslijed pada gospodarske aktivnosti, dolazi do značajnog pada proizvodnje električne energije u odnosu na 2010. godinu, za 23,7 % s nastavkom u 2012. godini, ali s manjom stopom (-5,4 %). U sljedećem razdoblju prisutne su oscilacije pada i rasta proizvodnje električne energije po pojedinim godinama. Kriza izazvana pandemijom Covid-19 nije imala negativan utjecaj na rast proizvodnje električne energije u Republici Hrvatskoj, za razliku od proizvodnje električne energije na razini Europske unije koja je u 2020. godini bilježila smanjenje s nastavkom od 2017. godine. Ipak, učinci globalne energetske krize odrazili su se i na elektroenergetski sektor u Republici Hrvatskoj sa smanjenjem bruto proizvodnje električne energije u 2022. godini za 6,5 % u odnosu na 2021. godinu (Grafikon 9). Razlike u kretanjima bruto proizvodnje električne energije u Republici Hrvatskoj i na razini Europske unije mogu se tražiti u poduzimanju mjera Vlade vezano uz turizam tijekom pandemije Covid-19 i otvaranja granica za strane turiste što je utjecalo na znatno manju stopu pada turističkih aktivnosti u Republici Hrvatskoj u odnosu na druge zemlje Europske unije.



Grafikon 9. Međugodišnje stope bruto proizvodnje električne energije u Republici Hrvatskoj, 1991-2022. godine
 Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Gross and net production of electricity and derived heat by type of plant and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_peh__custom_11995594/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Kako je već istaknuto promjene u proizvodnji električne energije nisu izravno povezane s promjenama potrošnje električne energije, jer su one i pod utjecajem uvoza i izvoza električne energije. Na to upućuje i izračun Spearmanov koeficijenta korelacije ($0,391 > 0,05$) koji nije pokazao statistički značajnu korelaciju ove dvije varijable za razdoblje od 2018. do 2022. godine. Domaća proizvodnja (14.220,5 GWh) pokrila je 2022. godine 78,0 % potreba za električnom energijom (18.228,3 GWh) (Energija u Hrvatskoj 2023). U petogodišnjem razdoblju (2018.-2022.) taj se udio kretao od 70,0 % u 2019. godini do 82,0 % u 2021. godini. Uvoz električne energije iznosio je u 2022. godini 11.919,7 GWh ili 65,0 % ukupno ostvarene potrošnje s najnižom stopom od 60,6 % u 2020. godini i najvišom u 2018. godini sa 68,8 %, za razdoblje od 2018. do 2020. godine. Spearmanov koeficijent ($r=391 > 0,05$) ne pokazuje statistički značajnu korelaciju ove dvije varijable. Izvoz električne energije sa 7.224,9 MWh sudjeluje s 50,8 % u ukupnoj domaćoj proizvodnji električne energije u 2022. godini. U razdoblju od 2018. do 2022. godine taj se udio kretao od 41,3 % u 2019. godini do 53,8 % u 2018. godini (Grafikon 10). Spearmanov koeficijent pokazuje statistički značajnu korelaciju ove dvije varijable na razini na razini pogreške od 5 % ($r=0,391$).

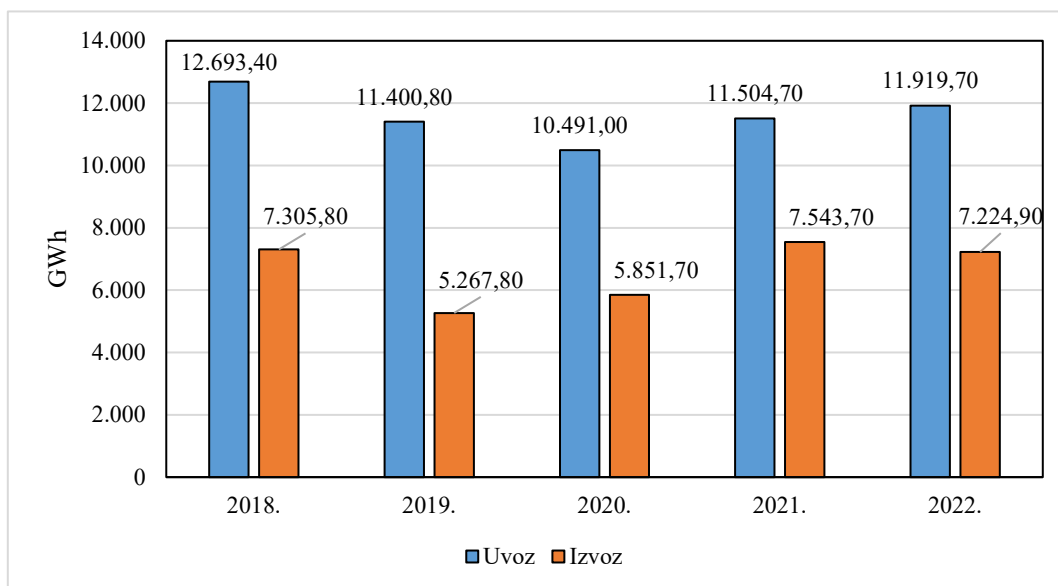


Grafikon 10. Odnosi uvoza, izvoza, ukupne domaće proizvodnje i ukupne potrošnje električne energije u Republici Hrvatskoj, 2018.-2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Energija u Hrvatskoj 2022, Godišnji energetske pregled. (2023). Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, https://eihp.hr/wp-content/uploads/2024/01/Energija-u-HR-22_WEB-novo.pdf (pristupljeno 18. veljače 2024.)

U razdoblju od 2018. do 2022. godine i uvoz i izvoz električne energije u Republici Hrvatskoj pokazuje smanjenje (Grafikon 11). Klimatske prilike jedan su od utjecajnih čimbenika posezanja za uvozom električne energije u Republici Hrvatskoj. Izrazito niske temperature tijekom zimskog razdoblja, kao i izrazito visoke temperature tijekom ljetnog

razdoblja, uzrokuju veću potrošnju električne energije za grijanje, odnosno hlađenje što dovodi do opterećenja sustava, a proizvodni kapaciteti elektroenergetskog sustava ne mogu zadovoljiti potrebe zbog čega dolazi do potrebe za uvozom električne energije. Tome treba dodati i promjenjivost proizvodnje električne energije iz hidroelektrana. Povećanje kapaciteta elektroenergetskog sustava, primjerice solarnim elektranama i vjetroelektranama, smanjilo bi potrebu za uvozom električne energije i pridonijelo uravnoteženju elektroenergetske bilance.



Grafikon 11. Uvoz i izvoz električne energije u Republici Hrvatskoj, 2018.-2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Energija u Hrvatskoj. (2022), Godišnji energetske pregled. (2023). Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, https://eihp.hr/wp-content/uploads/2024/01/Energija-u-HR-22_WEB-novo.pdf (pristupljeno 18. veljače 2024.)

Prema podacima na Grafikonu 11, najmanja količina električne energije uvezena je 2020. godine (10.491,0 MWh), što se može objasniti smanjenjem broja turista u Hrvatsku kao posljedica mjera suzbijanja pandemije Covid-19 i posljedično smanjenjem potreba za električnom energijom te zadovoljenjem potreba iz domaće proizvodnje. Međutim, s oporavkom turizma u 2021. i 2022. godini rastu potrebe za električnom energijom što dovodi do povećanja uvoza električne energije. Izvoz električne energije ostvaruje se kada proizvodnja električne energije premašuje domaće potrebe. Povoljna hidrologija i rast proizvodnje električne energije iz hidroelektrana i drugih elektrana na obnovljive izvore energije omogućuju izvoz električne energije. U 2022. godini Hrvatska je izvezla 7.224,9 MWh električne energije što je smanjenje u odnosu na 2021. godinu za 4,2 %. Najmanji izvoz zabilježen je u 2019. godini (5.267,8 MWh).

Elektroenergetska mreža kao dio elektroenergetskog sustava povezuje proizvodna postrojenja i potrošače te pruža sigurnost u opskrbi električnom energijom. Kapaciteti

elektroenergetske mreže Republike Hrvatske, sastavljene od prijenosne mreže (HOPS) i distribucijske mreže (HEP-ODS), u 2022. godini prikazani su u Tablici 6 i 7. U proteklih pet godina nije došlo do značajnijih promjena u kapacitetu prijenosne mreže. Duljina vodova u svim naponskim razinama prijenosne mreže smanjena je za 0,1 %, a u (Energija u Hrvatskoj 2019). Većina kapaciteta TS/110 kV nalazi se u zajedničkom vlasništvu HOPS i HEP ODS (Energija u Hrvatskoj 2023).

Tablica 6. Kapaciteti prijenosne HOPS-a mreže HEP ODS-a u Republici Hrvatskoj, 2022. godine

Naponska razina	400 kV	220 kV	110 kV	Srednji napon
Duljina vodova	1.247	1.246	5.298	11
Broj TS	6	14	16	-

Izvor: Energija u Hrvatskoj. (2022), Godišnji energetske pregled. (2023). Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, https://eihp.hr/wp-content/uploads/2024/01/Energija-u-HR-22_WEB-novo.pdf (pristupljeno 18. veljače 2024.)

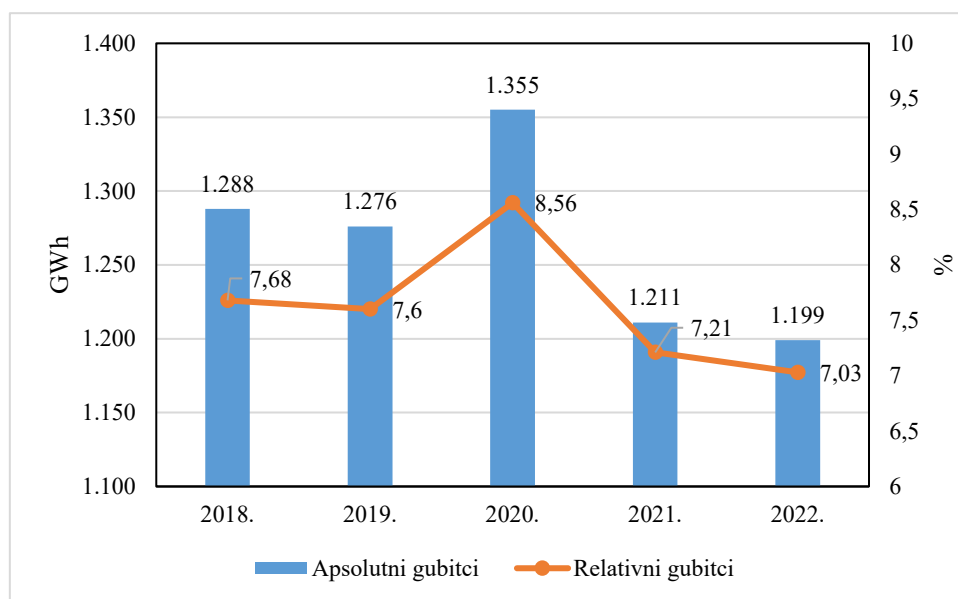
Kapaciteti distribucijske mreže HEP ODS-a (Tablica 7) u 2022. godini pokazuju promjene u odnosu na 2018. godinu u izostanku vodova naponske razine 110 kV uz istovremeno povećanje duljine vodova naponske razine 35(30) kV za 1,1 %, 20 kV za 12,1 % i 0,4 kV za 1,8 %, dok je smanjena duljina vodova naponske razine 10 kV za 0,4 %. Također, je došlo i do povećanja priključaka (3,8 %). Broj TS u svim naponskim razinama je povećan, a najveće povećanje zabilježeno je u naponskoj razini 35(30) kV i to za više nego dvostruko.

Tablica 7. Kapaciteti distribucijske mreže HEP ODS-a u Republici Hrvatskoj, 2018. i 2022. godine

Naponska razina		110 kV	35(30) kV	20(10) kV	0,4 kV	Priključci
Duljina vodova	2018.	10	4.488	9.738 27.505	61.586	35.472
	2022.	-	4.538	10.920 27.406	62.669	36.832
	Promjena, u %	-	1,1	12,1 -0,4	1,8	3,8
Broj TS	2018.	140	303 (35(30)/10(20) kV)	26.973 (10(20)/0,4 kV)	-	-
	2022.	143	779 (35(30)/10(20) kV)	30.934 (10(20)/0,4 kV)	-	-
	Promjena, u %	2,1	157,1	14,7	-	-

Izvor: Izrada autorice prema: Energija u Hrvatskoj. (2022), Godišnji energetske pregled. (2023). Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, https://eihp.hr/wp-content/uploads/2024/01/Energija-u-HR-22_WEB-novo.pdf (pristupljeno 18. veljače 2024.)

Ukupno raspoloživa električna energija za domaću potrošnju iznosila je, u 2022. godini, 18.228,3 MWh te je u odnosu na 2021. godinu smanjena za 1,7 %. Potrebne količine električne energije za krajnje potrošače, korisnike distribucijske mreže te za pokriće gubitaka u distribucijskoj mreži osiguravaju se iz prijenosne mreže i elektrana priključenih na distribucijsku mrežu (izravno priključenih na mrežu ili na instalaciju kupaca s vlastitom proizvodnjom ili samoopskrbljivača priključenih na mrežu) (HEP ODS 2022, 5). U ukupnoj raspoloživoj potrošnji električne energije gubici prijenosa i distribucije sudjeluju s 9,1 %, a njihov udio se smanjio u odnosu na 2018. godinu kada su sudjelovali s 9,9 %. U distribucijskoj mreži gubici¹⁴ su u 2022. godini iznosili 1.199 GWh te sudjeluju sa 7,13 % ukupno preuzete električne energije iz prijenosne mreže (HEP ODS 2023). Time je nastavljen trend smanjivanja gubitaka u distribucijskoj mreži (7,6 % u 2018. godini) (HEP ODS 2019). Primjetne su, međutim, razlike u pojedinim godinama s povećanjem gubitka u 2020. godini koju karakteriziraju izvanredne okolnosti uslijed pandemije Covid-19 što je zasigurno utjecalo na otežanu provedbu mjernih usluga (Skoko 2023) (Grafikon 12).

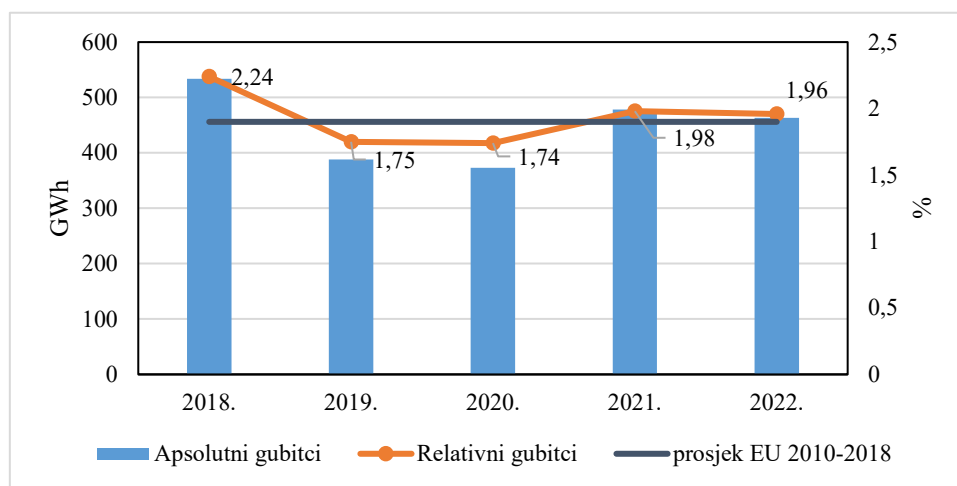


Grafikon 12. Gubici u distribucijskoj mreži HEP ODS-a, 2018.-2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema: HEP ODS. (n.d.) Godišnja izvješća o sigurnosti opskrbe u distribucijskom sustavu, <https://www.hep.hr/ods/o-nama/publikacije-229/godisnja-izvjesca-o-sigurnosti-opskrbe-u-distribucijskom-sustavu/672> (pristupljeno 11. travnja 2024.)

¹⁴ Gubici u distribucijskoj mreži iskazuju se tako što se od količine električne energije isporučene u distribucijski sustav oduzme količina električne energije obračunate i iskazane krajnjim kupcima u predmetnoj godini (Poljak 2018, 2).

Gubitci u prijenosnoj mreži¹⁵ iznosili su u 2022. godini 463 GWh te su sudjelovali s 1,96 % u ukupnoj električnoj energiji predanoj u prijenosni sustav. Time je nastavljen negativan trend gubitaka iz prethodnog razdoblja (2,24 u 2018. godini), no primjetne su značajne razlike između pojedinih godina što ukazuje na vrlo izražen utjecaj ostvarenja bilance elektroenergetskog sustava na količinu gubitaka u prijenosnoj mreži, ovisno o korištenju prijenosa (isporuka distribuciji + crpni rad hidroelektrane + kupci na visokom naponu), tranzitima, proizvodnji domaćih elektrana uvjetovano hidrološkim i ekonomskim okolnostima te uvozu električne energije (Skoko 2023). Prema podacima CEER-a (2020) prosjek gubitaka u prijenosnoj mreži zemalja članica Europske unije iznosio je 1,9 % u razdoblju od 2010. do 2018. godine. Hrvatska je bila nešto iznad prosjeka, s iznimkom u 2019. i 2020. godini, kada su ostvareni povijesno najmanji gubitci u prijenosnoj mreži u Republici Hrvatskoj s vrijednostima 1,75 % i 1,74 % (Grafikon 13), kao posljedica manje potrošnje u sustavu (Skoko 2023).



Grafikon 13. Gubitci u prijenosnoj mreži HOPS, 2018.-2022. godine

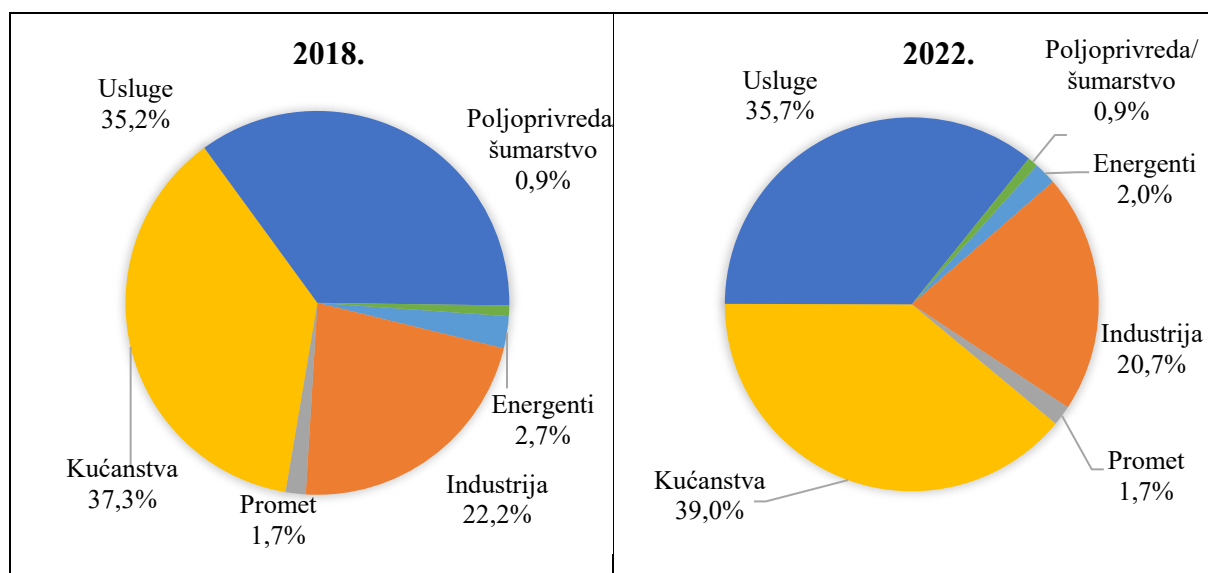
Izvor: Skoko, Minea. (2023). Regulatorni tretman gubitaka električne energije u distribucijskoj i prijenosnoj elektroenergetskoj mreži u Republici Hrvatskoj – nove smjernice. 8. (14.) savjetovanje, Hrvatski ogranak Međunarodne elektrodistribucijske konferencije, Seget Donji/Trogir, <https://ho-cired.hr/images/pdf/8-14/SO6/SO6-03.pdf> (pristupljeno 11. travnja 2024.)

Pokriće gubitaka u prijenosnoj mreži osigurava HOPS dugoročnom nabavom na godišnjoj, kvartalnoj i mjesečnoj razini, dok na dnevnoj razini nabavlja kratkoročne gubitke na CROPEX-u na dan unaprijed tržištu (HOPS n.d.1). Smanjenje gubitaka u prijenosnom i distribucijskom sustavu rezultat je povećanja učinkovitosti prijenosne i distribucijske mreže implementacijom

¹⁵ Gubitci u prijenosnom sustavu iskazuju se kao razlika električne energije predane u prijenosnu mrežu i isporučene iz prijenosne mreže na sučelju prijenosne mreže: s korisnicima prijenosne mreže (kupci, elektrane) i ostalim mrežama (prijenosnim mrežama susjednih država i distribucijskom mrežom HEP ODS) (Skok 2023, 2).

novih tehnoloških rješenja (digitalna mjerila, daljinsko praćenje gubitaka i dr.), no u odnosu na zemlje članice Europske unije (2-12 %) Hrvatska se svrstava u zemlje s visokim udjelom gubitaka. Smanjenjem gubitaka smanjuju se operativni troškovi elektroenergetskih mreža i povećava dobrobit za društvo.

Neto potrošnja električne energije (razlika ukupne opskrbe i gubitaka prijenosa i distribucije) iznosila je u 2022. godini 16.569,0 GWh. Iz domaće proizvodnje (neto proizvodnja) podmireno je oko 82,7 % neto potrošnje električne energije (13.696,4 GWh), a ostatak se osigurava iz uvoza. Za razliku od prosjeka EU-27 gdje je u 2022. godini industrijski sektor ostvario najveći udio u potrošnji električne energije, u Hrvatskoj je najveći udio kućanstava (39,0 %), dok se industrija nalazi tek na četvrtom mjestu po sudjelovanju, s 20,7 % (Grafikon 13). Usporedba s 2018. godinom ukazuje na promjene u strukturi potrošnje električne energije.

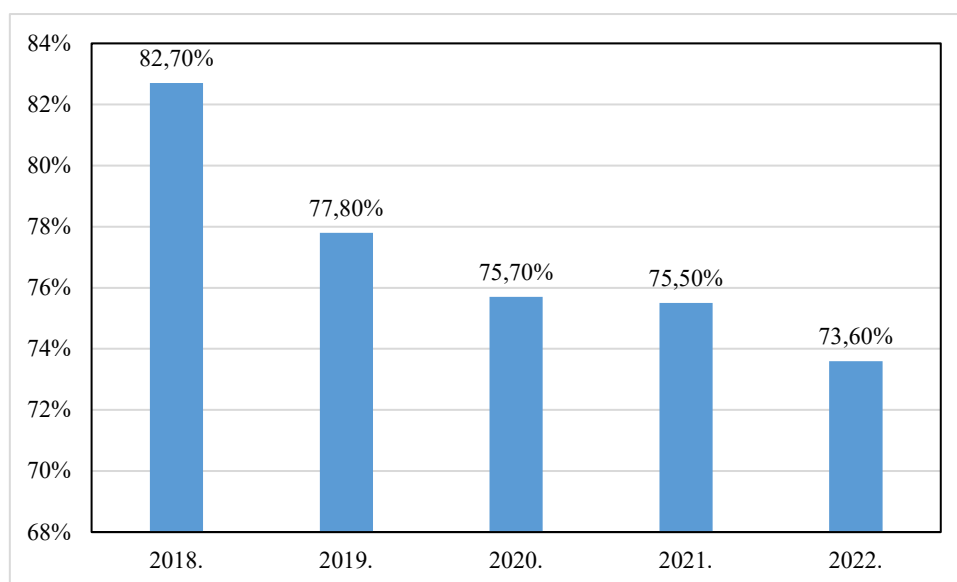


Grafikon 14. Ukupna potrošnja električne energije u EU-27 po sektorima, 2018. i 2022. godine
Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Supply, transformation and consumption of electricity. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_cb_e__custom_10867668/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Struktura neto potrošnje električne energije na Grafikonu 14 pokazuje smanjenje udjela energenata u ukupnoj neto potrošnji električne energije u razdoblju od 2018. do 2022. godine za 0,7 %, a industrije za 1,5 %. Industrijski sektor je u 2022. godini ostvario potrošnju električne energije od 3.422,9 GWh, što je u odnosu na 2018. godinu smanjenje za 7,1 % što je dovelo i do smanjenja udjela ovog sektora u ukupnoj neto potrošnji električne energije. Rezultat je to postizanja ušteda i energetske učinkovitosti u industrijskom sektoru zahvaljujući zamjeni zastarjele opreme novom tehnologijom koja doprinosi smanjenju potrošnje energije, poboljšanju proizvodnje i smanjenju trajanja proizvodnog procesa. Kućanstva su u 2022. godini

sudjelovala s 39,0 % u ukupnoj neto potrošnji električne energije, što je povećanje za 1,7 % u odnosu na 2018. godinu. Za usporedbu na kućanstva u Europskoj uniji otpada 29 % potrošnje električne energije. Povećanje potrošnje električne energije kućanstava u Republici Hrvatskoj u 2022. godini u odnosu na 2018. godinu može se tražiti u povećanju uporabe električne energije za grijanje u kućanstvima koja s potrošnjom energije za pripremu hrane sudjeluje s oko 80 % u ukupnoj potrošnji električne energije kućanstava, dok se preostala potrošnja odnosi na rasvjetu, kućne uređaje i druge električne uređaje koji su u uporabi u kućanstvima. S ciljem smanjenja potrošnje električne energije u kućanstvima nužno je napore usmjeriti prema smanjenju financijskog troška provedbe mjera energetske učinkovitosti kako bi se osiguralo smanjenje potreba za energijom kao i smanjenje troška prijelaza na obnovljive izvore energije. Usluge (komercijalne i javne), također, bilježe povećanje potrošnje električne energije, ali po nižoj stopi u odnosu na kućanstva (-0,5 %). Promet i poljoprivreda/šumarstvo ostali su u 2022. godini na istoj razini iz 2018. godine.

Hrvatska ima visoku stopu tržišnog udjela najvećeg proizvođača na tržištu električne energije, veću od 70 % pa se ne može govoriti o postignutom visokom stupnju liberalizacije na tržištu električne energije. Ipak, smanjenje stope tržišnog udjela najvećeg proizvođača (Hrvatska elektroprivreda) u razdoblju od 2018. do 2022. godine s 82,7 % na 73,6 % ukazuje na pozitivan trend liberalizacije hrvatskog tržišta električne energije (Grafikon 15).



Grafikon 15. Tržišni udio najvećeg proizvođača na tržištu električne energije u zemljama članicama Europske unije, 2018. i 2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Energy market indicator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_MARKET__custom_12044093/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Zakonom o tržištu električne energije (2021; 2023) određeno je da cijene električne energije u Republici Hrvatskoj trebaju odražavati stvarnu potražnju i ponudu. Cijena električne energije koju plaća krajnji potrošač u Republici Hrvatsko sastoji se od više komponenti koje su definirane nacionalnom politikom. Tarifni modeli formiraju se posebno za svaku kategoriju kupaca: kupce na visokom naponu, srednjem naponu i niskom naponu (Metodologija za određivanje... 2022, 4) i tipu brojila (jednotarifni, dvotarifni). Za kupce na visokom i srednjem naponu formira se po jedan tarifni model, dok se za kupce na niskom naponu formiraju Plavi, Bijeli, Crveni i Žuti tarifni model. Tarifne stavke za radnu energiju po višoj i nižoj dnevnoj tarifi (EUR/kWh) i opskrbnu naknadu (EUR/mjesečno) definirane su za kupce na visokom i srednjem naponu, Bijeli i Crveni tarifni model, Plavi tarifni model sadrži tarifnu stavku za radnu energiju po jedinstvenoj dnevnoj tarifi, a Žuti tarifni model tarifnu stavku za radnu energiju po jedinstveno dnevnoj tarifi (EUR/kWh) i opskrbnu naknadu (EUR/mjesečno) (Metodologija za određivanje... 2022, 4). U cijeni električne energije za kućanstva sadržane su, uz tarifne stavke za opskrbu, prijenos i distribuciju električne energije i naknada za obračunsko mjerno mjesto, naknada za obnovljive izvore i visokoučinkovitu kogeneraciju (Odluka o naknadi za obnovljive... 2017), solidarna naknada,¹⁶ kao naknada troškova energije ugroženih kupaca, te porez na dodanu vrijednost po stopi od 13 %. Dopunski tarifni model je Crni tarifni model, primijenjen zbog ograničenog vremena u kojem se kupcu isporučuje električna energija (Metodologija za određivanje... 2022, 4). Ovaj model se koristi za kućanstva koja mogu prilagoditi upotrebu električne energije vremenu u kojem je električna energija raspoloživa, primjerice termoakumulacijske peći i sl. (HEP ODS n.d.), a raspoloživost električne energije određuje isporučitelj. S obzirom na tržišni pristup formiranju cijena električne energije prisutne su razlike cijena među opskrbljivačima električne energije na tržištu.

U Tablici 8 prikazan je primjer usporednog obračuna cijene električne energije za kućanstva prema Plavom tarifnom modelu za pet opskrbljivača električne energije na tržištu¹⁷ (HEP Elektra, HEP Opskrba, ENNA Opskrba, Petrol i EON Energija). Brojilo je jednotarifno, a polugodišnja potrošnja iznosi 1.500 kWh. Izračun je napravljen uz pomoć alata za usporedbu cijena električne energije koju nudi HROTE na svojoj *web* stranici. Podatci u tablici pokazuju različite cijene električne energije koju opskrbljivači formiraju kako bi bili cjenovno konkurentni na tržištu.

¹⁶ Većina opskrbljivača daje popust za visinu solidarne naknade pa ona u većini slučajeva financijski ne opterećuje kupca.

¹⁷ Na tržištu električne energije u Republici Hrvatskoj djeluje sedam opskrbljivača električne energije kupcima: ENNA Opskrba d.o.o., EON Energija d.o.o., GEN-I Zagreb d.o.o., HEP – Elektra d.o.o., HEP – Opskrba d.o.o., MET Croatia Energy Trade d.o.o., Petrol d.o.o.

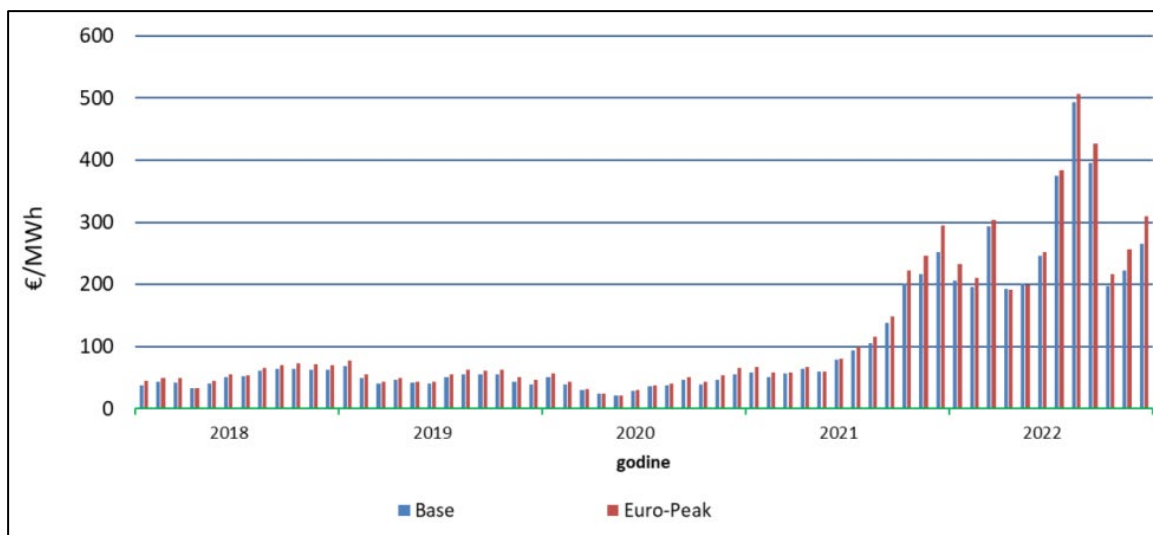
Najnižu mjesečnu cijenu električne energije imaju HEP Elektra i HEP Opskrba, i to za 23,2 % u odnosu na druge opskrbljivače.

Tablica 8. Obračun cijena električne energije opskrbljivača električne energije na tržištu u Republici Hrvatskoj za tarifni model kućanstvo Plavi, na dan 28. ožujka 2024. godine

	HEP Elektra	HEP Opskrba	ENNA Opskrba	Petrol	EON Energija
Iznos za električnu energiju (EUR)	111,29	111,29	121,34	121,67	126,83
Iznos za korištenje mreže (EUR)	70,89	70,89	70,89	70,89	70,89
Naknada (OIE i Solidarna) (EUR)	19,89	19,86	25,86	25,86	25,86
Ukupno – polugodišnji iznos (porezna osnovica) (EUR)	202,04	202,04	218,09	218,42	223,58
PDV (13 %) (EUR)	26,27	26,27	28,35	28,39	29,07
Ukupno – polugodišnji iznos s PDV-om (EUR)	228,31	228,31	246,44	246,81	252,65
Ukupno – prosječni mjesečni iznos s PDV-om (EUR)	19,03	19,03	20,54	20,57	21,05
1. Iznos za energiju (EUR)	105,41	105,41	105,41	105,41	105,41
2. Opskrbna naknada (EUR)	5,88	5,88	15,83	16,26	21,42
Ukupni iznos stavke (1+2) (EUR)	111,29	111,29	121,34	121,67	126,83
3. Naknada za prijenosnu mrežu (EUR)	17,85	17,85	17,85	17,85	17,85
4. Naknada za distribucijsku mrežu (EUR)	43,80	43,80	43,80	43,80	43,80
5. Naknada za obračunsko mjerno mjesto – polugodišnje (EUR)	9,24	9,24	9,24	9,24	9,24
Ukupan iznos stavke (3+4+5) (EUR)	70,89	70,89	70,89	70,89	70,89
6. Namjenska naknada za poticanje proizvodnje iz OIE (EUR)	19,86	19,86	19,86	19,86	19,86
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7. Solidarna naknada					
Ukupan iznos stavke (6+7) (EUR)	19,86	19,86	25,86	25,86	25,86

Izvor: Izrada autorice prema: HROTE, Alat za usporedbu cijena električne energije, <https://www.hrote.hr/alat-za-usporedbu> (pristupljeno 28. ožujka 2024.)

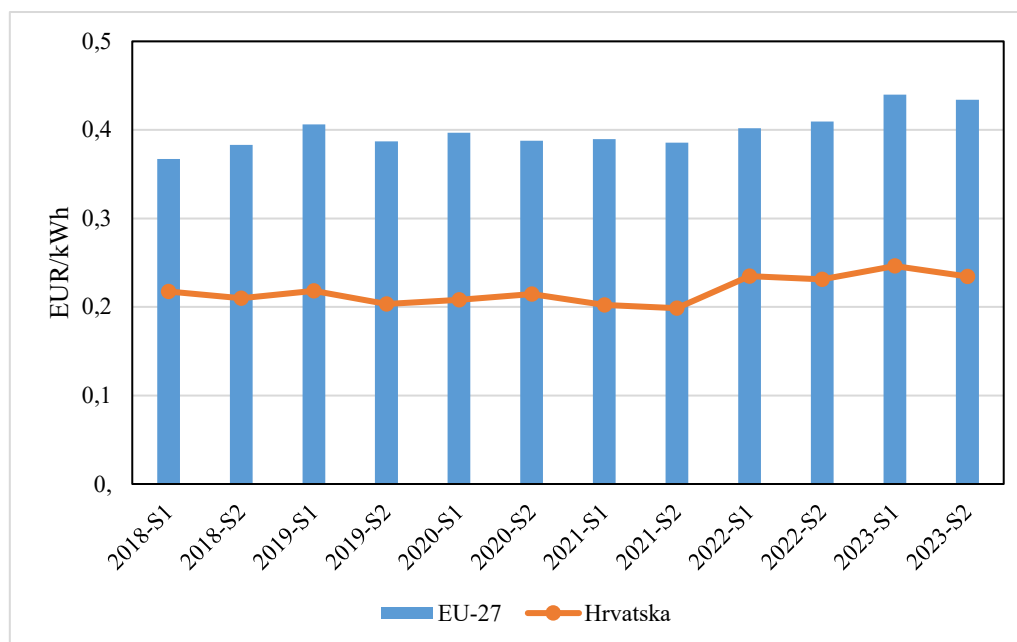
Zbog energetske krize u 2021. i 2022. godini, cijena električne energije na CROPEX-u doživjela je drastičan porast. Prosječna cijena električne energije za 2022. godinu iznosila je 273,72 EUR/MWh te je za 138,9 % veća u odnosu na 2021. godinu. Posebno drastičan rast cijena električne energije može se vidjeti usporedbom s 2018. godinom. U prosincu 2018. godine prosječna osnovna cijena bila je 63,61 EUR/MWh, a prosječna vršna cijena 72,11 EUR/MWh, dok je u prosincu 2022. godine iznosila 246,72 EUR/MWh, odnosno 308,62 EUR/MWh (CROPEX, 2019; 2023) (Grafikon 16).



Grafikon 16. Prosječne cijene električne energije na CROPEX-u po mjesecima 2018.-2022.

Izvor: OIE Hrvatska. (2023). Elektroenergetska kretanja u Hrvatskoj u 2022. <https://oie.hr/elektroenergetska-kretanja-u-hrvatskoj-u-2022/> (pristupljeno 14. 4. 2024.)

Kako bi se smanjili učinci visokih cijena električne energije na veleprodajnom tržištu za kupce, Vlada Republike Hrvatske je do ožujka 2024. godine usvojila šest paketa mjera pomoći za ublažavanje inflatornih učinaka i porasta cijena energenata (MRMOS 2024). Kretanje cijena za kućanstvo s potrošnjom do 1.000 kWh na razini Republike Hrvatske i EU-27 prikazane su na Grafikonu 17.



Grafikon 17. Prosječne polugodišnje cijene za kućanstvo u EU-27 i Republici Hrvatskoj potrošnje od 1.000 kWh, 2018.-2023. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Electricity prices for household consumers – bi-annual data (from 2007 onwards). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrgpc204_custom_10921858/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Iz Grafikona 17 se mogu vidjeti znatno niže cijene električne energije za kućanstvo u Republici Hrvatskoj u odnosu na EU-27. Razlog tome može se tražiti u subvencijama Vlade u sklopu mjera pomoći građanima u okruženju visokih cijena energenata i visoke inflacije. Vlada subvencionira potrošnju električne energije za kućanstva do 3.000 kWh i poduzetništvo polugodišnje potrošnje do 250.000 kWh. Šestim paketom mjera cijene električne energije ostaju iste do 30. rujna 2024. godine (59 eura po MWh za dio do 3.000 kWh i 88 eura po MWh za dio iznad 3.000 kWh za kućanstvo). Mjerama je obuhvaćeno 2.214.236 mjernih mjesta kućanstava, 22.000 korisnika javnog i neprofitnog sektora te 93.186 korisnika malog i srednjeg poduzetništva (Ministarstvo rada... 2024).

Analiza tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj pokazuje nedostatke elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske. Proizvodni kapaciteti ne zadovoljavaju potrebe za električnom energijom u Republici Hrvatskoj. Energetska kriza je dodatno pokazala nedostatke dizajna tržišta električne energije i potrebu njegove reforme u skladu s reformskim mjerama na razini Europske unije čija je svrha povećanje stabilnosti cijena na tržištu. Posebne napore treba usmjeriti ka tranziciji elektroenergetskog sustava s fosilnih na obnovljive izvore energije.

3. RAZVOJ OBNOVLJIVIH IZVORA ELEKTRIČNE ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ I EUROPSKOJ UNIJI

Uz pojam obnovljivih izvora električne energije usko je povezan pojam “održivosti” (Krstinić Nižić, Blažević 2017) te se analiza u ovom dijelu doktorskog rada usmjerava na one obnovljive izvore električne energije koji imaju najmanji mogući utjecaj na okoliš, male hidroelektrane do 10 MWe instalirane snage, vjetroelektrane, sunčane elektrane, elektrane na biomasu, geotermalne elektrane i ostale elektrane na obnovljive izvore (morski valovi, plima, oseka i sl.). Postizanje održivog razvoja energetskeg sustava podrazumijeva integriranje njegove ekonomske, ekološke i socijalne dimenzije na svim razinama (Golja 2010). U tom kontekstu nužno je promatranje razvoja obnovljivih izvora električne energije u kontekstu održivog razvoja elektroenergetskog sustava.

3.1. Značaj obnovljivih izvora energije u održivom razvoju elektroenergetskog sustava

Obnovljiva energija se definira kao energija dobivena iz prirodnih izvora koji se obnavljaju većom brzinom nego što se troše. Sunčeva svjetlost i vjetar, primjerice, su izvori energije koji se stalno obnavljaju (United Nations, n.d.). Za razliku od obnovljivih izvora energije, fosilna goriva (ugljen, nafta, plin) su neobnovljivi izvori energije za čije formiranje su potrebni stotine milijuna godina. U proizvodnji električne fosilna goriva izgaranjem uzrokuju štetne emisije stakleničkih plinova, poput ugljičnog dioksida. Suprotno fosilnim gorivima, obnovljivi izvori energije stvaraju daleko manje emisija. Stoga se obnovljivi izvori energije, kao što su energija sunca, vjetra, voda, oceana i geotermalna energija, biomasa i biogoriva, promatraju kao alternativa fosilnim gorivima (Europski parlament n.d.). Prijelaz s fosilnih goriva na obnovljive je ključan za rješavanje klimatske krize. Osim što su ekološki prihvatljivi, u većini zemalja su cjenovni pristupačniji u odnosu na fosilna goriva te stvaraju tri puta više radnih mjesta (United Nations, n.d.). Prijelaz na obnovljive izvore energije ide u pravcu ostvarenja jednog od sedamnaest globalnih ciljeva održivog razvoja (engl. *Sustainable Development Goals*, skr. SDG): osigurati pristup pouzdanoj, održivoj i suvremenoj energiji po pristupačnim cijenama za sve, usvojenim Planom održivog razvoja do 2030. godine (United Nations 2023). Opskrba jeftinom električnom energijom do 2030. godine podrazumijeva investicije u čiste energente, poput energije sunca i vjetra i termalne izvore. Ovom mjestu daje se kratak pregled obnovljivih izvora energije:

- iskorištavanje energije vjetra je najbrže rastući segment proizvodnje energije iz obnovljivih izvora. Tehnologija vjetroelektrana znatno je poboljšana posljednjih godina što je utjecalo i na veće iskorištenje ovog izvora energije. Vjetar je bogat, obnovljiv, lako dostupan i čisti izvor energije. Nedostatak vjetra rijetko uzrokuje nesavladive probleme kada u malom udjelu sudjeluje u opskrbi električnom energijom, ali pri većem oslanjanju na vjetar dovodi do većih gubitaka,
- energija sunca potječe od nuklearnih reakcija u njegovom središtu, gdje temperatura doseže 15 milijuna °C. Pod optimalnim uvjetima, na površini Zemlje može se dobiti 1 kW/m² sunčeve energije, a stvarna vrijednost ovisi o lokaciji, godišnjem dobu, dobu dana, vremenskim uvjetima i sl. U Hrvatskoj je prosječna vrijednost dnevne insolacije na horizontalnu plohu 3–4,5 kWh/m². Iako Europa nije na vrlo pogodnom području za eksploataciju sunčeve energije, direktno iskorištavanje sunčeve energije je u velikom porastu. Većinom je to rezultat politike pojedinih država koje subvencioniraju instaliranje elemenata za pretvorbu sunčeve energije u iskoristivi oblik energije.
- prema direktivi Europske unije i Vijeća Europe br. 2003/30/EC, biomasa se definira kao biorazgradive dijelove proizvoda, otpada ili ostataka iz poljoprivrede, šumskog otpada i otpada srodnih industrija, kao i biorazgradive dijelove industrijskog i gradskog otpada. Biomasa se može izravno pretvarati u energiju izgaranjem. Koristi za dobivanje vodene pare za grijanje u industriji i kućanstvima te dobivati električna energija u malim termoelektranama. Bioplin nastao fermentacijom bez prisutnosti kisika sadrži metan i ugljik te se može upotrebljavati kao gorivo, a ostali suvremeni postupci korištenja energije biomase uključuju i pirolizu, rasplinjavanje te dobivanje vodika. Glavna je prednost biomase u odnosu na fosilna goriva manja emisija štetnih plinova i otpadnih vod. Dodatne su prednosti zbrinjavanje i iskorištavanje otpada i ostataka iz poljoprivrede, šumarstva i drvne industrije, smanjenje uvoza energenta, ulaganje u poljoprivredu i nerazvijena područja i povećanje sigurnosti opskrbe energijom,
- male hidroelektrane su postrojenja u kojima se potencijalna energija vode najprije pretvara u kinetičku energiju njezinog strujanja, a potom u mehaničku energiju vrtnje vratila turbine te, konačno, u električnu energiju u generatoru. Definiraju se kao hidroenergetski objekti električne snage do 10 MW (u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji),
- geotermalna energija je energija sadržana u Zemljinoj unutrašnjosti, koja se putem unutarnje energije vode ili vodene pare pridobiva na površinu i koristi u energetske

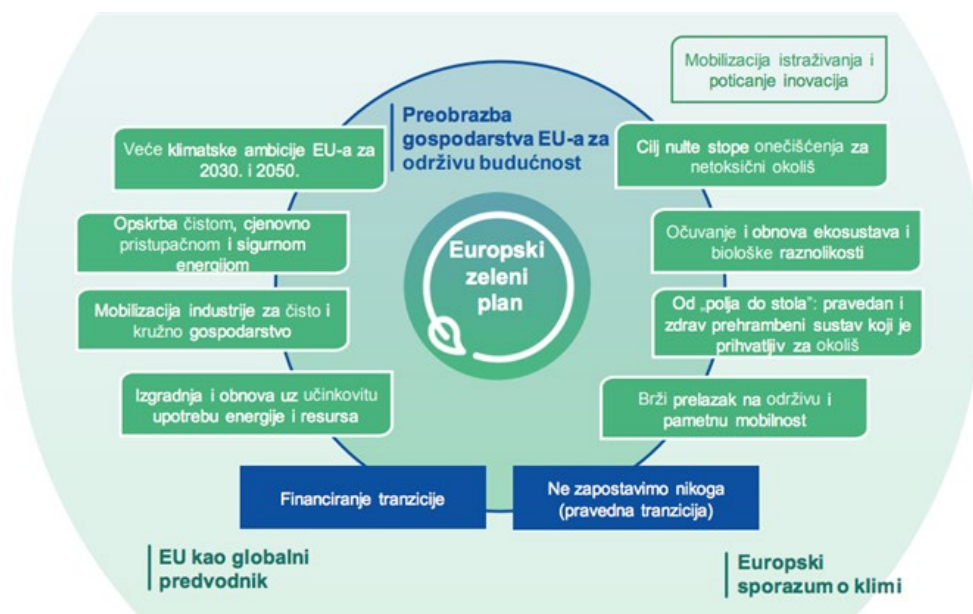
svrhe. Prednost ovog izvora energije je to da je jeftin, stabilan i trajan izvor, nema potrebe za gorivom, u pravilu nema štetnih emisija, osim vodene pare, ali ponekad mogu biti i drugi plinovi. Nedostaci proizlaze iz činjenice da je malo mjesta na Zemlji gdje se vrela voda u podzemlju ne nalazi na prevelikoj dubini – takva područja, tzv. geotermalne zone vezane su uz vulkanizam ili granice litosfernih ploča.

Budući da bi obnovljivi izvori energije teoretski mogli opskrbljivati mnogo više energije nego što su potrebe na globalnoj razini, obnovljivi izvori energije imaju značajan potencijal. Na temelju korištenja uobičajeno dostupnih, autohtonih resursa, obnovljivi izvori energije poput vjetra, biomase, hidroenergije, geotermalnog i sunca mogu pružiti održive energetske usluge. Kako njihovi troškovi padaju dok cijene nafte i plina i dalje variraju, prelazak na sustave obnovljive energije postaje sve vjerojatniji (Garba i Abdulrahman 2024). Potrebno je istaknuti da sve tehnologije proizvodnje električne energije u nekom trenutku svog životnog ciklusa emitiraju stakleničke plinove (World Nuclear Organization 2024), no emisije nuklearnih elektrana i elektrana na obnovljive izvore energije proizvode emisije neizravno, primjerice, tijekom izgradnje elektrane. Nuklearna energija proizvodi gotovo jednaku količinu emisija ekvivalenta CO₂ po jedinici električne energije kao vjetar i oko jedne trećine sunčeve energije. U posljednjih nekoliko desetljeća ubrzanim rastom sunčanih elektrana i vjetroelektrana smanji su se njihovi kapitalni troškovi i cijena proizvodnje električne energije (Strielkowski i dr. 2021) te se sve više promatraju kao čimbenici održivih elektroenergetskih sustava.

3.2. Zakonske odredbe o obnovljivim izvorima energije u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj

Pregled regulatornog okvira tržišta električne energije u Europskoj uniji u prethodnom dijelu doktorskog rada ukazao je i zakonodavni okvir obnovljivih izvora energije u Europskoj uniji koji se temelji na članku 194. Ugovora o funkcioniranju Europske unije (2016). Ideja vodilja energetske unije u Europskoj uniji formirana je u Strategiji energetske unije (COM/2015/080) koju prate zakonodavni paketi usmjereni ka energetskej neovisnosti i osiguranju potrošačima “sigurne, održive, konkurentne i pristupačne energije”. Europska unija je u 2019. godini donijela Europski zeleni plan kao skup inicijativa u području politika kojim se želi osigurati zelena tranzicija Europske unije (Europsko vijeće i Vijeće Europske unije n.d.). U njemu je dan okvirni plan s mjerama kojima se želi unaprijediti iskorištavanje resursa na način da se prijeđe

na čisto kružno gospodarstvo te djeluje na rješavanju energetske, klimatske i okolišne izazova kao i na postizanju klimatske neutralnosti do 2050. godine u skladu s Pariškim klimatskim sporazumom. Shema 9 daje pregled ciljeva Europskog zelenog plana.



Shema 9. Europski zeleni plan

Izvor: Europski zeleni plan, COM(2019) 640 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640&qid=1616165122571> (pristupljeno 3. ožujka 2023.)

Kako je vidljivo iz Sheme 9, Europskim zelenim planom obuhvaćeni su svi gospodarski sektori. U području energije, Europski zeleni plan ukazuje na nužnost preobrazbe energetskog sustava Europske unije u smjeru postizanja “opskrbe čistom, cjenovno pristupačnom i sigurnom energijom” (Europski zeleni plan 2019). Pri tome se ključnim problemom ističe emisija stakleničkih plinova u Europskoj uniji uzrokovana proizvodnje i uporabe energije za više od 75 %.

U 2009. godini usvojena je Direktiva 2009/28/EZ o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora energije u kojoj je postavljen da iz obnovljivih izvora energije mora potjecati 20 % konačne bruto potrošnje energije u Europskoj uniji i 10 % potrošnje energije za promet u svakoj državi članici do 2020. godine. Direktivom su određeni i obvezni nacionalni ciljevi zemalja članica Europske unije. U sklopu paketa “Čista energija za Europljane” Direktiva je revidirana u prosincu 2018. godine. Ova se direktiva morala prenijeti u nacionalno zakonodavstvo država članica do lipnja 2021. godine. Direktivom je utvrđen novi obvezujući cilj od najmanje 32 % energije iz obnovljivih izvora u konačnoj potrošnji energije u Europskoj uniji do 2030. godine te povećani cilj za udio obnovljivih goriva u prometu od 14 % do 2030. godine (Direktiva 2018/2001/EU). Uredba (EU) 2018/1999 obvezala je države članice da predlože nacionalne energetske ciljeve i utvrde desetogodišnje nacionalne energetske i klimatske planove za razdoblje od 2021. do 2030. s rokom

do 2023. godine. U 2021. godini Direktiva je revidirana u skladu s paketom “Spremni za 55” kojim su usklađivani ciljevi Europske unije u okviru obnovljivih izvora energije. Druga revizija Direktive uslijedila je u 2022. godini u okviru paketa REPowerEU. Prelazak na potpuno čistu energiju trebao bi se ostvariti ugradnjom dizalica topline, povećanjem kapaciteta sunčane fotonaponske energije i uvozom vodika i biometana iz obnovljivih izvora (Europsko vijeće i Vijeće Europske unije n.d.). Treća izmjena Direktive uslijedila je u studenom 2022. godine, s ciljem ubrzanja uvođenja obnovljivih izvora energije uz isticanje prevladavajući javni interes u području obnovljivih izvora energije. To otklanja administrativne barijere i mogućnost bržeg izdavanja dozvola za projekte obnovljivih izvora energije. Podizanje cilja za obnovljive izvore energije za 2030. na 42,5 % do 2030. godine uslijedilo je usvajanjem nove Direktive u listopadu 2023. godine. Ova je Dir, a države članice nastoje ostvariti 45 %. Njome se ubrzavaju postupci za izdavanje dozvola za nove elektrane za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora, kao što su solarne ploče ili vjetroturbine, te se određuje maksimalno vrijeme od 12 mjeseci za odobravanje novih postrojenja u prioritarnim područjima za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora i 24 mjeseca drugdje (Europsko vijeće i Vijeće Europske unije n.d.).

U primjeni je i strategija za udvostručenje kapaciteta solarne fotonaponske energije na 320 GW do 2025. godine i za ugradnju 600 GW do 2030. godine obuhvaćena planom REPowerEU. Planom je predviđeno i postupno uvođenje pravne obveze ugradnje sunčanih ploča na nove javne, komercijalne i stambene zgrade, kao i strategiju za udvostručenje stope uvođenja dizalica topline u centraliziranim i komunalnim sustavima grijanja. Prema planu, države članice EU-a moraju utvrditi i donijeti planove za namjenska područja za obnovljive izvore energije uz skraćene i pojednostavnjene postupke izdavanja dozvola. U revidiranoj Direktivi o energiji iz obnovljivih izvora definirani su brzi postupci izdavanja dozvola za ugradnju opreme za sunčanu energiju.

U 2020. godini objavljena je strategija za energiju iz obnovljivih izvora na moru, u okviru koje je predloženo povećanje proizvodnje električne energije iz odobalnih obnovljivih izvora u Europskoj uniji s razine od 12 GW na najmanje 60 GW do 2030. godine te na 300 GW do 2050. godine.

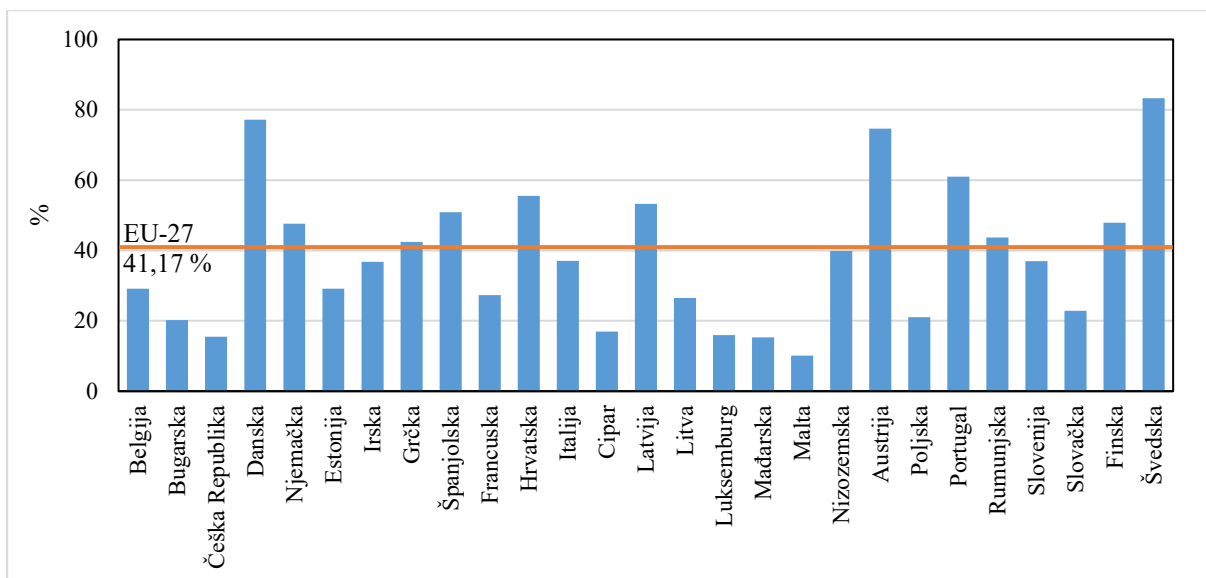
Republika Hrvatska je u svoj zakonodavni okvir o obnovljivim izvorima energije implementirala odredbe Europske unije. Temeljni zakonski akti su: *Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji* (2021; 2023) kojim se uređuje okvir za promicanje korištenja obnovljive energije na održivi način, *Zakon o tržištu električne energije* (2021; 2023) i *Zakonom o zaštiti okoliša* (2013). Regulatorni okvir čine i:

- Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu (2020),
- Integrirani nacionalni energetske i klimatske plan za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine (2019),
- Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (2020),
- Uredba o kvotama za poticanje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija (2020),
- Odluka o izmjeni Odluke o naknadi za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju (2020),
- Program državnih potpora za sustav poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovite kogeneracije (2020),
- Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija (2020).

Zakonska regulativa, sadržana u zakonskim i podzakonskim aktima utemeljena 2007. godine s tarifnim sustavom poticaja doprinijela je razvoju obnovljivih izvora energije i smanjenje ovisnosti o uvozu.

3.3. Proizvodnja i potrošnja električne energije iz obnovljivih izvora u Europskoj uniji

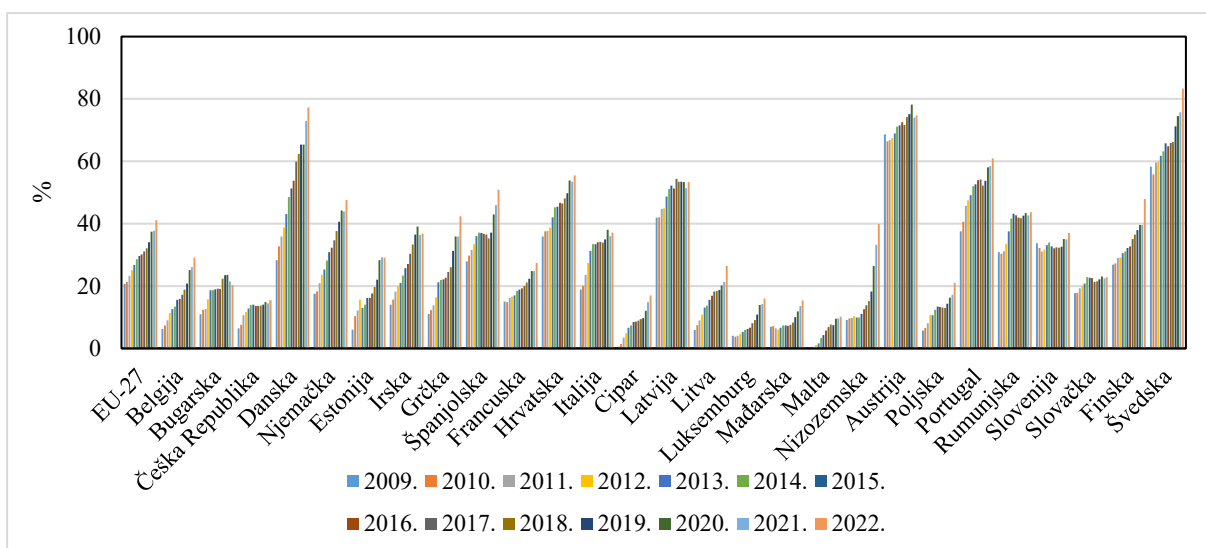
Na razini Europske unije učinjeni su značajni naponi za smanjenje proizvodnje i potrošnje električne energije iz fosilnih goriva i transformacije elektroenergetskog sustava u sustav u kojem će dominantno mjesto zauzeti obnovljivi izvori električne energije u razdoblju od donošenja Direktiva 2009/28/EZ o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora energije, a kojom je postavljen okvir da iz obnovljivih izvora energije mora potjecati 20 % konačne bruto potrošnje energije u Europskoj uniji. U 2022. godini obnovljivi izvori energije sudjelovali su s 41,17 % u bruto potrošnji električne energije u Europskoj uniji (Grafikon 18), no izazovi ostaju u drugim sektorima. U sektoru prijevoza obnovljivi izvori su sudjelovali u 2022. godini sa znatno manjim udjelom u odnosu na električnu energiju, 23,0 %, dok je u sektoru grijanja i hlađenja taj udio iznosio svega 9,6 %. U ukupnoj potrošnji energije obnovljivi su izvori sudjelovali s 23,04 % u 2022. godini (Eurostat 2024e). Iako je ovaj udio povijesno visok, od 2020. godine zabilježen je njegov usporen rast. Rast je potaknut značajnim povećanjem proizvodnje solarne energije za 28 % i energije vjetra za 6,6 % u odnosu na 2021. godinu.



Grafikon 18. Udio obnovljivih izvora u bruto potrošnji električne energije u EU-27, 2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024e). Share of energy from renewable sources. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ren_custom_12081650/default/table?lang=en (18. ožujka 2024.)

Udio obnovljivih izvora u bruto potrošnji električne energije u 2022. godini na razini EU-27 povećan je za 3,4 %, u odnosu na 2021. godinu (37,8 %) (grafikon 19) te je znatno ispred ostalih izvora proizvodnje električne energije, kao što je nuklearna energija (manje od 22 %), prirodni plin (manje od 20 %) i ugljen (manje od 17 %) (Eurostat 2024a). Prema podacima Eurostata (2024e) ukupno su obnovljivi izvori u bruto potrošnji energije povećani za 5,7 % u 2022. godini, u odnosu na 2021. godinu (Eurostat 2024e).



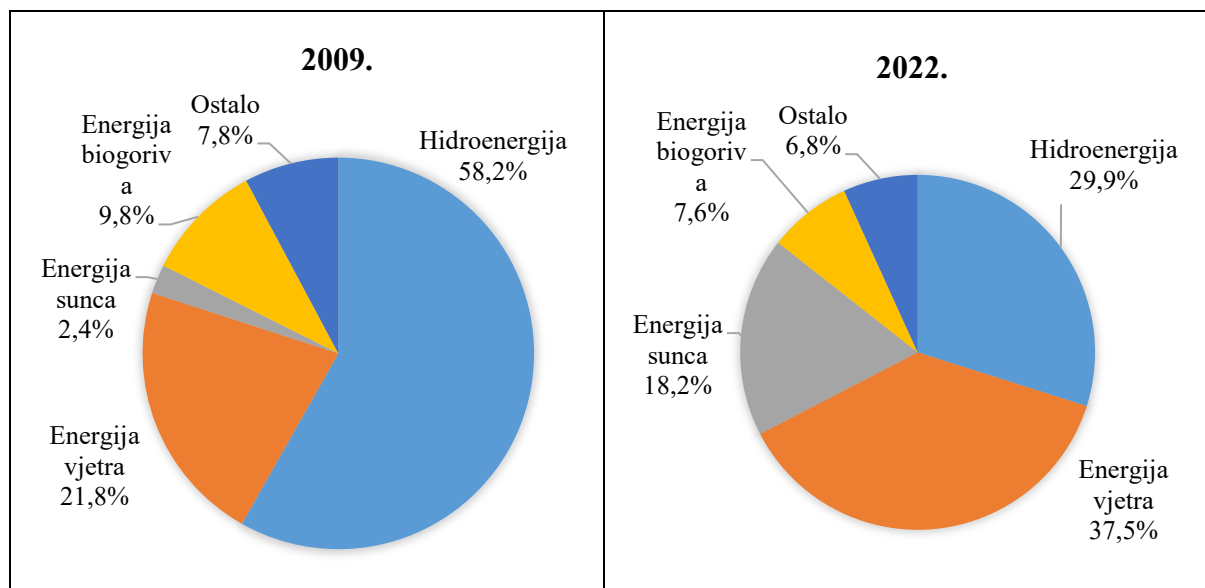
Grafikon 19. Udio obnovljivih izvora u bruto potrošnji električne energije u EU-27

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024e). Share of energy from renewable sources. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ren_custom_12081650/default/table?lang=en (18. ožujka 2024.)

Promatrano po zemljama članicama EU-27 (Grafikon 19), može se uočiti povećanje udjela obnovljivih izvora u bruto potrošnji električne energije svih zemalja u razdoblju od 2019. do 2022. godine, no prisutne su značajne razlike među zemljama. Najniži udio u 2022. godini imale su Malta (10,13 %), Mađarska (15,34 %) i Češka (15,5 %). Ipak se i u ovim zemljama može uočiti značajan napredak. Na Malti u 2009. godini, obnovljivi izvori nisu sudjelovali u bruto potrošnji električne energije, dok je u Mađarskoj njihov udio iznosi 6,96 %, a u Češkoj 6,38 %. Malta je za razliku od Mađarske i Češke povećala udio obnovljivih izvora po većoj stopi. Malta koristi cijeli niz različitih potpora iz fondova Europske unije u sklopu projekta Čista energija na svim otocima Europske unije, kako bi potaknula razvoj proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Najodrživiji izvor obnovljivih izvora energije su sunčani fotonaponski paneli, koji bi do 2030. godine trebali doprinijeti s 42 % u ukupnoj finalnoj potrošnji energije na Malti. Na kraju 2022. godine ukupni kapacitet fotonaponskih elektrana iznosio je 221,1 MWp što je povećanje od 8,3 % u odnosu na 2021. godinu (National Statistics Office Malta 2023). Kao dio predanosti Malte povećanju udjela obnovljive energije, osim stavljanja snažnog naglaska na etablirane sektore kao što su solarna fotonaponska energija, hidroelektrane, biogoriva, dizalice topline i pretvaranje biootpada u energiju, uvode se i novi obnovljivi izvori energije, kao što su energija vjetra i sunčana energija na moru (Malta 2023). S druge strane, izrazito visok udio obnovljivih izvora u bruto potrošnji električne energije u 2022. godini zabilježila su Švedska (83,3 % uglavnom iz hidroelektrana i vjetroelektrana), Danska (77,2 %, uglavnom iz vjetroelektrana) i Austrija (74,7 %, uglavnom iz hidroelektrana). Prema podacima Statista (Fernández 2024), Švedska je već u 2012. godini postigla ciljeve postavljene za 2020. godinu (50 % udio obnovljivih izvora energije u konačnoj potrošnji energije), a u 2022. godini je dosegla udio od 66,0 %, što je znatno iznad cilja postavljenog na razini EU-27. U bruto potrošnji električne energije Švedska je povećala udio za 25,1 %, u razdoblju od 2009. do 2022. godine. Najveći je doprinos hidroenergije koja sudjeluje s oko 41 % ukupne proizvodnje u 2022. godini, dok nuklearna energija sudjeluje s 29 % u opskrbi zemlje. Tako visok udio obnovljivih izvora u bruto potrošnji električne energije i ukupne energije Švedsku pozicionira na vodeću zemlju u dekarbonizaciji na globalnoj razini, s oko 90 % čistih izvora energije (hidroenergija, nuklearna energija, energija vjetra i sunca). Udjele iznad 50 % obnovljivih izvora u bruto potrošnji električne energije zabilježili su u 2022. godini, Portugal (61,0 %), Hrvatska (55,5 %), Latvija (53,3 %) i Španjolska (50,9 %). S obzirom na varijabilnost proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora zbog njihove ovisnosti o klimatskim uvjetima udjeli bilježe različitu dinamiku po pojedinim godinama. Austrija je, primjerice, u 2020. godini iz obnovljivih izvora osigurala

78,2 % bruto potrošnje električne energije, a u 2021. godini je zabilježila smanjenje tog udjela na 73,97 %. Energetska kriza potaknuta ratom u Ukrajini jasno je pokazala važnost povećanja udjela proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i energetske neovisnosti o fosilnim gorivima.

Struktura potrošnje električne energije iz obnovljivih izvora u EU-27 u 2022. godini u odnosu na 2009. godinu pokazuje značajne promjene (Grafikon 20).

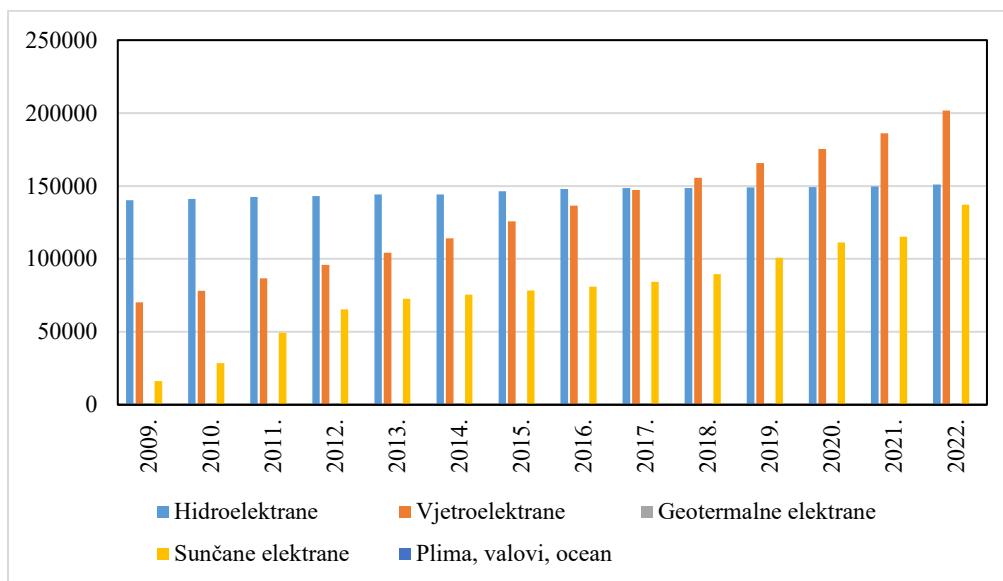


Grafikon 20. Obnovljivi izvori energije u bruto potrošnji električne energije u EU-27, 2022. godine
 Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024e). Share of energy from renewable sources. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ren_custom_12081650/default/table?lang=en (18. ožujka 2024.)

Kako je vidljivo iz grafikona 20, u 2009. godini hidroenergija je imala vodeću poziciju u bruto potrošnji električne energije iz obnovljivih izvora u Europskoj uniji, s udjelom od 58,2 %, dok je njezin udio u 2022. godini značajno smanjen i iznosi 29,9 %. Energija vjetra koja je u 2009. godini sudjelovala s 21,8 %, u 2022. godini zauzima vodeću poziciju s udjelom od 37,5 %. Može se uočiti i značajno povećanje udjela energije sunca, s 2,4 % u 2009. godini na čak 18,2 %, dok je udio energije biogoriva smanjen za 2,2 % u 2022. godini u odnosu na 2009. godinu. Razlog tome vidi se u usmjerenosti energetske politike Europske unije prema povećanju udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji i potrošnji energije.

Ukupna neto proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora dosegla je u 2022. godini 963.644,3 GWh te je u odnosu na 2021. godinu povećana za 2,0 %, a u ukupnoj neto proizvodnji električne energije sudjelovala je s 45,0 %. U odnosu na 2009. godinu povećana je za 84,4 %. Razlog tome je značajno povećanje kapaciteta elektrana na vjetar i sunce. Kapacitet

vjetroelektrana povećan je u razdoblju od 2009. do 2022. godine sa 70.195,2 MW na 201.655,3 MW ili za 187,3 %, a kapacitet sunčanih elektrana sa 16.235,5 MW na 137.157,6 MW što je prosječni godišnji rast od 53,2 % (Grafikon 21).



Grafikon 21. Kapacitet elektrana na obnovljive izvore energije u EU-27, 2009.-2022. godine

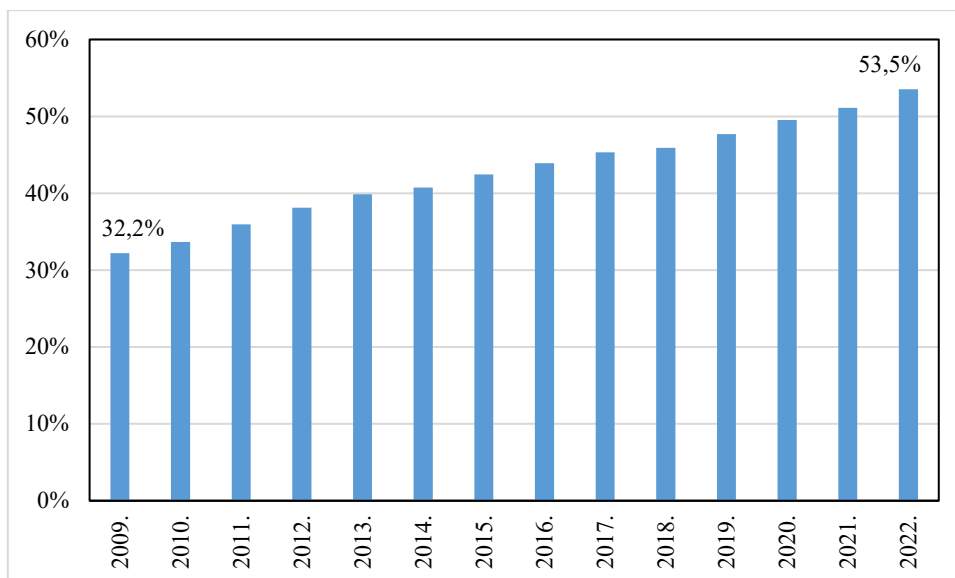
Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Electricity production capacities by main fuel groups and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_inf_epc_custom_12350238/default/table?lang=en (pristupljeno 17. lipnja 2024.).

Potencijal vjetroelektrana u proizvodnji električne energije je velik. Za njihovu iskoristivost je potrebna snaga vjetra veća od 4,7 m/s, bez većih turbulencija i s minimalnom vjerojatnošću olujnih udara vjetra (Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2024). Zemlje stalno ispituju mogućnosti za njihovo korištenje. Europska unija je u svojoj energetskej tranziciji važno mjesto dala pučinskim vjetroelektranama (engl. *wind offshore*), a vlade zemalja članica su se obvezale da će do 2030. godine instalirati 150 GW pučinskih vjetroelektrana. Razlog tome je u prednostima koje pučinske vjetroelektrane imaju u odnosu na one na kopnu. Njihove su turbine znatno veće i jače od onih na kopnu pa mogu proizvesti i veću količinu električne energije. Primjerice, *offshore* vjetropark Greater Gabbard u Sjevernom moru kapaciteta 504 MW godišnje proizvede 1,75 TWh električne energije (OIE Hrvatska 2023a). U 2022. godini Europska unija je raspolagala s kapacitetom od 13.762,1 MW u pučinskim vjetroelektranama. Kapacitet ovih vjetroelektrana je nakon stagnacije u razdoblju od 2011. do 2014. godine i blagog rasta u 2022. godini drastično povećan u odnosu na 2021. godinu kada je iznosio 2.470,3 MW (Eurostat. 2024.). Energija sunca, posebice fotonaponska, pokazuje najbrži rast unutar obnovljivih izvora energije u Europskoj uniji. U 2022. godini instalirano je 21,9 GW sunčanih fotonapona, do čega dvije trećine na krovovima, osnažujući potrošače i štiteći ih od visokih cijena električne energije i smanjujući korištenje zemljišta. Takav trend je nastavljen i u 2023.

godini te je instalirano 56 GW sunčanih fotonapona (European Commission 2024a). S ciljem povećanja kapaciteta sunčanih elektrana na razini Europske unije poduzima se niz inicijativa. Jedna od njih i jačanje potpore sunčanom fotonaponskom proizvodnom sektoru. Krajem 2022. godine Europska komisija je pokrenula *European Solar PV Industry Alliance*, savez čiji je cilj ubrzati implementaciju sunčane fotonaponske energije u Europskoj uniji s povećanjem do 30 GW godišnjih proizvodnih kapaciteta sunčane fotonaponske opreme u Europi do 2025. godine olakšavajući ulaganja, smanjujući rizik ubrzanja sektora i podupirući europske ciljeve dekarbonizacije (Europska komisija 2024). Naime, Kina pokriva većinu potražnje za sunčanim modulima u Europskoj uniji što unutar lanca vrijednosti stvara kratkoročne rizike, a ovisnost o uvozu može potencirati dugoročne rizike za stabilnost cijena sunčanih panela. Europska unija teži ka pristupu cjenovno pristupačnim sunčanim modulima iz različitih izvora kako bi se oblikovao otporan, održiv i konkurentan europski sunčani lanac vrijednosti. U tom kontekstu nužno je povećati sigurnost unutar opskrbe te ublažiti rizike od eventualnog prekida opskrbnog lanca (Europska komisija 2024). Pandemija Covid-19 je pokazala rizike koji se mogu dogoditi prekidom opskrbnih lanaca kao posljedicom ovisnosti o uvoznim komponentama u vrijednosnim lancima.

Za razliku od kapaciteta sunčanih elektrana i vjetroelektrana, kapacitet hidroelektrana se u razdoblju od 2009. do 2022. godine nije značajnije promijenio (sa 140.211,9 MW na 150.963,0 MW ili za 7,7 %), što je utjecalo na smanjenje udjela kapaciteta hidroelektrana u odnosu na kapacitete drugih elektrana na obnovljive izvore energije. No, potrebno je istaknuti njen značaj u elektroenergetskom sustavu. Hidroenergija se od 19. stoljeća razvija kao čist, siguran, brz i jeftin izvor električne energije i energetske usluga (Hydropower Technologies 2020, 6). Hidroenergija pokazuje tehničku zrelost i ekonomsku konkurentnost u liberaliziranim tržišnim uvjetima. Za cjelokupni elektroenergetski sustav hidroelektrana ima značajne prednosti. Mogućnosti brzog odgovora kojeg pružaju rezervoari i reverzibilne hidroelektrane zapravo pružaju kritičnu energiju elektroenergetskim sustavima i, pri tome, pomažu uskladiti fluktuacije ponude i potražnje iz povremenih i manje fleksibilnih izvora električne energije.

Ukupni instalirani kapaciteti elektrana na obnovljive izvore povećani su za 115,7 % u 2022. godini u odnosu na 2009. godinu te je ostvaren znatno veći rast u odnosu na ukupno instalirani kapacitet elektrana koji je u istom razdoblju iznosio 29,9 %. Elektrane na obnovljive izvore energije sudjelovale su u ukupnom kapacitetu elektrana u EU-27 u 2022. godini s udjelom od 53,5 % te su u odnosu na 2009. godinu povećale svoj udio za 21,3 % (Grafikon 22).

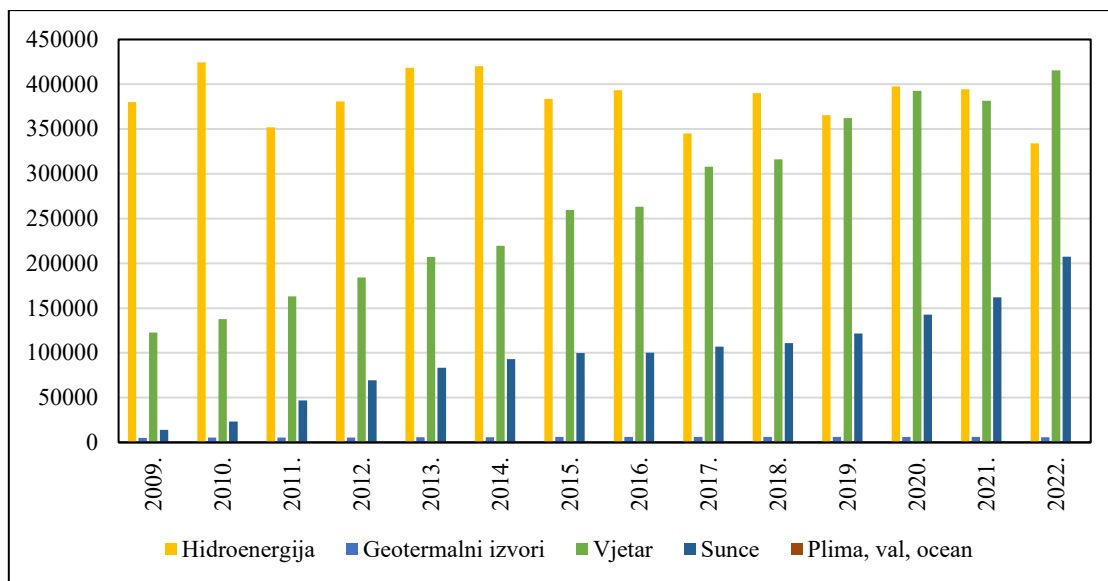


Grafikon 22. Udio elektrana na obnovljive izvore energije u ukupno instaliranom kapacitetu elektrana u EU-27, 2009.-2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024). Electricity production capacities by main fuel groups and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_inf_epc_custom_12350238/default/table?lang=en (pristupljeno 17. lipnja 2024.).

Vjetroelektrane su u 2022. godini proizvele 415.576,9 GWh neto električne energije, čime je njihova proizvodnja premašila neto proizvodnju električne energije iz hidroelektrana (Grafikon 23) i pozicionirala se na vodeće mjesto u odnosu na druge elektrane na obnovljive izvore energije. U odnosu na 2009. godinu, neto proizvodnja električne energije u vjetroelektranama povećana je za 238,9 %.

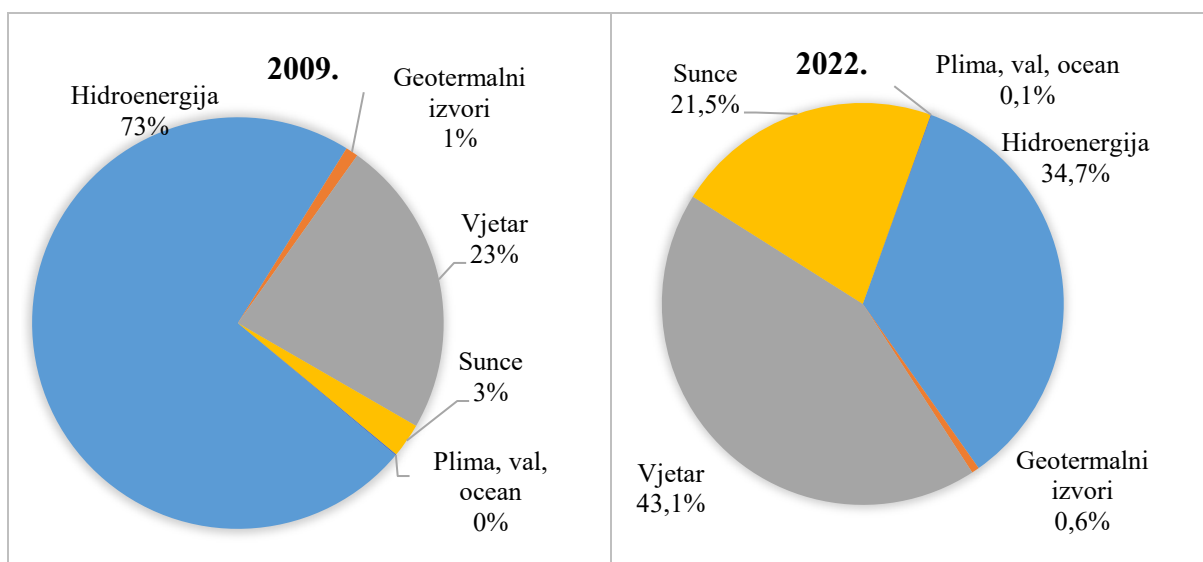
Iz sunčanih elektrana proizvedeno je 207.593,4 MW neto električne energije, dok je u 2009. godini ona iznosila svega 14.091,1 MW. Znatno manje povećanje neto proizvodnje električne energije pokazale su elektrane na geotermalne izvore te na plimu, valove i oceane, 14,3 % odnosno 14,1 % za razdoblje od 2009. do 2022. godine. U hidroelektranama je u 2022. godini ostvareno 17,9 % manje neto proizvedene električne energije, u odnosu na 2021. godinu, što se može pripisati zadovoljenju potreba za električnom energijom iz sunčanih elektrana i vjetroelektrana. Usporedbom s 2009. godinom može se uočiti smanjenje proizvodnje električne energije ih hidroelektrana za 13,8 %.



Grafikon 23. Neto proizvodnja električne energije iz elektrana na obnovljive izvore energije u EU-27, 2009.-2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024d). Gross and net production of electricity and derived heat by type of plant and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_peh_custom_11995594/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Analiziranjem strukture neto proizvedene električne energije iz obnovljivih izvora mogu se uočiti značajne promjene u 2009. i 2022. godini (Grafikon 24).



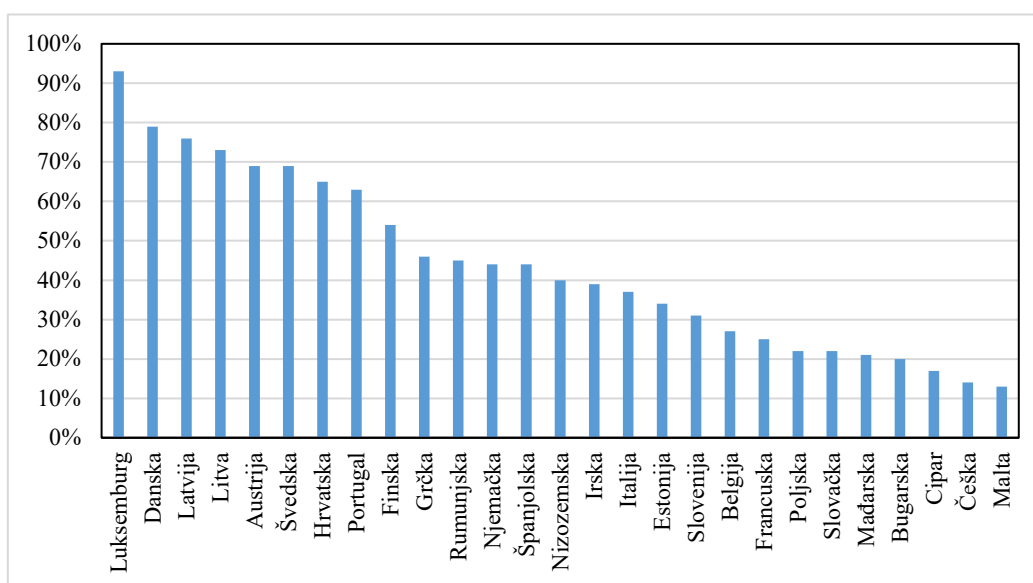
Grafikon 24. Neto proizvodnja električne energije iz elektrana na obnovljive izvore energije u EU-27, 2009.-2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024d). Gross and net production of electricity and derived heat by type of plant and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_peh_custom_11995594/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Podatci na grafikonu 24 pokazuju da je hidroenergija bila dominantan izvor neto proizvodnje električne energije u 2009. godine, s visokih 72,7 % udjela u ukupnoj neto proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora u EU-27. Međutim, u 2022. godini njihov udio se značajno smanjio na 34,7 %, što je rezultat većeg sudjelovanja drugih oblika obnovljivih izvora. Tome je pridonijela politika poticanja obnovljivih izvora energije duž cijelog lanca.

Vjetroelektrane koje su u 2009. godini sudjelovale s 23,5 % u 2022. godini bilježe 43,1 % udjela te imaju najveći doprinos u neto proizvodnji električne energije. Značajno je povećan i udio neto proizvodnje električne energije iz sunčanih elektrana, s 2,7 % u 2009. godini na 21,5 % u 2022. godini. Neto proizvodnja električne energije iz geotermalnih izvora sudjelovala je u 2022. godini s 0,6 % te je smanjen njen udio u odnosu na 2009. godinu kad je sudjelovala s 1,0 %. Plima, val i ocean kao izvori neto proizvodnje električne energije na razini EU-27 zadržali su udio od 0,1 %, u razdoblju od 2009. do 2022. godine.

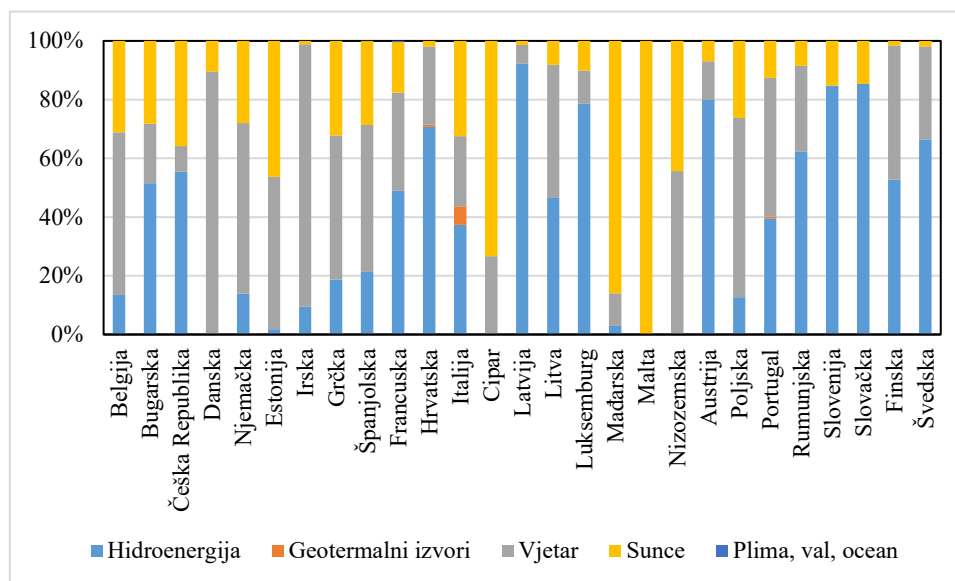
Zemlje članice Europske unije se međusobno značajno razlikuju s obzirom na udio neto proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije u ukupnoj neto proizvodnji električne energije. Luksemburg je u 2022. godini 93 % svoje ukupne proizvodnje električne energije osigurao iz obnovljivih izvora, Danska 79 %, Latvija 76 %, a Litva 73 %. Najnižu stopu udjela obnovljivih izvora u neto proizvodnji električne energije imale su Malta (13 %), Češka (14 %) i Cipar (17 %). Veću stopu od 50 % još imaju Finska, Portugal, Hrvatska, Švedska i Austrija (Grafikon 25). Razlog tome može se tražiti u geografskim uvjetima, raspoloživosti prirodnih resursa, strukture gospodarstva zemalja i utjecaja političkih odluka.



Grafikon 25. Udio obnovljivih izvora u neto proizvodnji električne energije u EU-27, 2022. godine

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024d). Gross and net production of electricity and derived heat by type of plant and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_peh_custom_11995594/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Struktura neto proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u EU-27 značajno se razlikuje po zemljama (grafikon 26).



Grafikon 26. Struktura neto proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u EU-27, 2022. godine¹⁸
 Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. (2024d). Gross and net production of electricity and derived heat by type of plant and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_peh_custom_11995594/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)

Latvija, Luksemburg, Austrija, Slovenija, Slovačka i Švedska se ističu po korištenju hidroenergije. Latvija je u 2022. godini 92,2 % svoje neto proizvodnje iz obnovljivih izvora osigurala iz hidroelektrana. Kasiulis i dr. (2020) ukazuju na važnu ulogu malih hidroelektrana u Baltičkim zemljama (Latvija, Litva i Estonija) kao pouzdan i učinkovit obnovljivi izvor električne energije. Estonija ima brojne rijeke, ali one ne daju značajan hidroelektrični potencijal. Tek 1,8 % električne energije dobivene iz obnovljivih izvora u 2022. godini proizvedeno je iz hidroelektrana. Vjetar je važan izvor električne energije (51,9 % u obnovljivim izvorima), a iako najsjevernija od tri baltičke zemlje, Estonija se razvija i u sektoru sunčane energije (46,3 % u obnovljivim izvorima). Za razliku od Estonije, u Litvi hidroelektrane u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora sudjeluju sa 46,5 % i gotovo podjednakim udjelom u odnosu na vjetroelektrane (45,5 %). Zatvaranjem nuklearne elektrane u 2009. godine, Litva je od izvoznice električne energije postala uvoznica električne energije. Kako bi smanjila količinu uvezenog fosilnog goriva, a potom i ispunila zahtjeve Europske unije Litva je započela brzi razvoj obnovljivih izvora energije. To je rezultiralo

¹⁸ U obnovljivu energiju nije uključena biomasa jer prema Direktivi o obnovljivoj energiji nije potvrđena kao održiva.

vjetrom i hidroenergijom kao dominantnim izvorom proizvedene električne energije u Litvi. U sektoru električne energije u Latviji dominiraju velike hidroelektrane i kogeneracijska postrojenja te je zemlja u Europskoj uniji s drugim najvećim udjelom obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije u 2022. godini. S obzirom na to da Latvija nema planove za izgradnju novih velikih hidroelektrana, za očekivati je da će se njihov udio smanjivati uz sudjelovanje drugih obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije. Primjetan je rast sudjelovanja vjetra i sunca u proizvodnji električne energije.

Danska i Irska su vodeće zemlje članice EU-27 po sudjelovanju vjetroelektrana u neto proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora, s 89,6 %, odnosno 89,4 %. Danska je počela povećavati svoju energetska neovisnost nakon globalne energetske krize 1973. godine. U početku je fokus bio na razvoju izvora nafte i prirodnog plina u Sjevernom moru. Prve subvencije za izgradnju i rad vjetroturbina i postrojenja na biomasu uvedene su sedamdesetih godina 20. stoljeća, kako bi povećala energetska samodostatnost i proizvodnja obnovljive energije. Prema podacima Danske energetske agencije (2024), iz vjetra i sunca dobiva se 69 % električne energije (2022. godine). Najvažniji izvor obnovljive energije je bioenergija, a slijede je vjetar, sunce i geotermalna energija. Iz bioenergije se proizvodi dvije trećine električne energije, pri čemu poljoprivreda ima važnu ulogu u neizravnom osiguranju energije (stajski gnoj, životinjska mast i slama kao osnova za bioplin i tekuća biogoriva). Prisutan je trend prijelaza s fosilnih goriva na biomasu (drvene palete, slamu i sl.). Značajan potencijal u proizvodnji električne energije imaju pučinske vjetroelektrane. Danska ima visoku razinu sigurnosti opskrbe električnom energijom u usporedbi s drugim zemljama, na više od 99,9 %. Poremećaji u opskrbi su najčešće uzrokovani kvarovima na lokalnoj elektroenergetskoj mreži, ali ih nikad nije bilo zbog nedostatka proizvodnih kapaciteta. U ukupnoj proizvodnji električne energije u Irskoj vjetroelektrane sudjeluju s 32,9 % sa značajnim rastom od 2009. godine kada su sudjelovale s 10,4 %. Primjetan je rast sudjelovanja biomase koja je u 2009. godini doprinijela s 0,2 %, a u 2022. godini s 2,5 % u ukupnoj proizvodnji električne energije. Irska nema obvezni cilj za udio obnovljive energije u električnoj energiji za 2030. godinu, no okosnicu strategije za postizanje ukupnog cilja obnovljive energije za 2030. godinu, Irska nacionalna energetska i klimatska elektrana, uključuje planirani udio obnovljive energije u električnoj energiji od 70 % do 2030. godine, dok je Irskom klimatskom akcijskom planu 2023. godine postavljen cilj povećanja udjela električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora na 80 %, do 2030. godine. Postavljen nacionalni cilj od 40 % za 2020. godinu nije Irska nije ispunila, postignuvši 39,1 % udjela obnovljive energije u električnoj energiji, no električna energija je postigla najveći udio obnovljive energije u

proizvodnji (u odnosu na sektor prometa i topline). Obnovljiva energija je postala drugi najveći izvor električne energije nakon prirodnog plina. U razdoblju od 2020. do 2022. godine smanjio se udio obnovljive energije u proizvodnji električne energije s 39,1 % u 2020. godini, na 36,4 % u 2021. godini, dok se 2022. godini povećao za 0,4 postotna poena na 36,8 %. U 2022. godini 627 GWh električne energije koja je proizvedena iz goriva iz biomase (tj. biomase, odlagališnog plina i bioplina) nije se moglo uračunati u obnovljivu energiju u proizvodnji električne energije i ukupnih obnovljivih izvora energije jer prema Direktivi o obnovljivoj energiji nije potvrđena kao održiva (Sustainable energy authority of Ireland n.d.).

Malta svu svoju neto proizvodnju električne energije iz obnovljive energije osigurava iz sunčanih fotonaponskih elektrana. No, udio obnovljive energije u ukupnoj proizvodnji električne energije je vrlo nizak te je cilj postići stopu od 11 % do 2030. godine. S obzirom na to da je Malta mali otok s malim sustavom opskrbe električnom energijom, ima samo jednog dobavljača električne energije i uvelike je ovisna o uvoznim izvorima energije. Stoga se neovisnost elektroenergetskog sustava nameće kao prioritetan cilj. Posljednjih godina Malta je transformirala svoju energetska mješavinu koja se koristi za proizvodnju električne energije iz one koja se temeljila na teškom loživom ulju i plinskom ulju u održiviju kombinaciju prirodnog plina, uvoza električne energije preko podmorske veze Malta-Italija i rasta upotrebe obnovljivih izvora energije. Napori su usmjereni prema razvoju obnovljivih izvora energije te dodavanju još jednog električnog interkonektora sa Sicilijom (Malta 2023). Sheme koje se koriste u poticanju korištenja sunčane energije u proizvodnji električne energije uključuju *feed-in* tarife, subvencije i dr. Visoki udio sunčane energije u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora ostvarila je u 2022. godini i Mađarska (86,0 %). Prema podacima Statista Research Department (2024) najznačajniji izvor u ukupnoj distribuciji električne energije u Mađarskoj su nuklearna energija koja sudjeluje s 44,6 % i prirodni plin s 24,9 %. Sunce i vjetar sudjeluju s 14,3 %, dok hidroenergija sudjeluje s tek 0,53 %. Značajan udio ima bioenergija (6,33 %) (Statista Research Department 2024). Na energiju sunca odnosilo je 10,6 % ukupne proizvodnje električne energije u 2022. godini s 4,689 GWh. U odnosu na 2021. godinu to je povećanje za 24,4 % te je nastavak rasta iz 2021. godine kada je ostvareno 54,3 % više električne energije iz sunca u odnosu na 2020. godinu.

Cipar i Nizozemska gotovo cjelokupnu električnu energiju proizvode iz energije sunca i vjetra. Cipar značajan dio svojih elektroenergetskih potreba pokriva iz uvoza. Obnovljiva energija ima vrlo nizak udio u ukupnoj potrošnji električne energije od 16,96 % u 2022. godini. No, to je značajan napredak u odnosu na 2009. godinu kada je sudjelovala s tek 0,59 %. Obnovljivi izvori energije proizvode se izravno iz vjetra i sunca, pri čemu energija sunca ima

dominantnu ulogu te sudjeluje u domaćoj proizvodnji električne energije sa 73,3 % dok energija vjetra sudjeluje s 26,7 %. S 340 sunčanih dana godišnje, Cipar ima jedan od najvećih potencijala za sunčanu energiju u odnosu na druge zemlje Europske unije. Značajna iskorištenost sunčane energije je za grijanje vode u kućanstvima. Više od 90 % kućanstava opremljeno je sunčanim grijačima vode, a više od 50 % hotela koristi velike sustave za grijanje vode. Vlada subvencionira projekte obnovljive energije kako bi osigurala ostvarenje zacrtanog cilja smanjenja stakleničkih plinova za 32 % do 2030. godine. Integriranim nacionalnim energetske i klimatskim planom postavljen je cilj postizanja najmanje 22,9 % obnovljivih izvora energije u konačnoj potrošnji energije (European Commission n.d.). U provedbi su sheme za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora za kućanstva koja uključuje instalacije fotonaponskih sustava s neto mjerenjem kapaciteta do 10 kW za sve potrošače, sustave obnovljivih izvora energije s neto naplatom (uglavnom fotonaponskih sustava i biomasa) s kapacitetom do 10 MW za komercijalne i industrijske potrošače te izvanmrežne sustave obnovljivih izvora energije bez ograničenja ukupnog kapaciteta.

Nizozemska 55,5 % proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora osigurava iz energije vjetra, a 44,3 % iz energije sunca. S 47,23 mlrd. kWh obnovljivi izvori su doprinijeli s 40,0 % u proizvodnji električne energije, povećavši svoju udio za sedam postotnih poena u odnosu na 2021. godinu. Rast udjela je nastavljen i u 2023. godini te je iznosio 47,0 % osiguravši 57 mlrd. kWh proizvedene električne energije iz obnovljivih izvora (Statistics Netherlands 2024). To je u skladu s postavljenim ciljevima prelaska elektroenergetskog sektora na održivu energiju dosezanjem 70 % proizvodnje ukupne električne energije iz održivih izvora do 2030. godine, a do 2050. godine gotovo bi sve zalihe energije trebale biti održive i CO₂ neutralne (Netherlands Enterprise Agency n.d.). Količina električne energije proizvedene iz energije vjetra porasla je u 2022. godini za 19,5 % u odnosu na 2021. godinu, a u 2023. godini taj je rast iznosio 35 % u odnosu na 2022. godini, s ostvarenih 29 mlrd. kWh. Tome je djelomično pridonijelo povećanje instaliranog kapaciteta vjetroturbina, kako na kopnu tako i na moru. Ukupni kapacitet vjetroturbina dosegno je u 2023. godini 11 GW pri čemu su vjetroturbine na kopnu proizvele 13,39 mlrd. kWh električne energije (46 %), a vjetroelektrane na moru 9,97 mlrd. kWh električne energije (54 %). Značajan porast proizvodnje električne energije zabilježeni su i iz sunčane energije. U 2022. godini iz energije sunca proizvedeno je 17,08 mlrd. kWh odnosno 57,7 % ukupno proizvedene energije iz obnovljivih izvora što je u odnosu na 2021. godinu povećanje za 51,1 % proizvedene električne energije i 17,1 postotna poena udjela u proizvedenoj električnoj energiji iz obnovljivih izvora. U 2023. godini iz

sunčane energije proizvedeno je 21 mlrd. kWh električne energije i ostvareno povećanje za 24 % u odnosu na 2022. godinu te povećanje udjela u ukupnoj proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora na 58,9 %. Jedan od glavnih uzroka bilo je povećanje kapaciteta instaliranih sunčanih panela. Iz energije biomase smanjena je proizvodnja električne energije uglavnom zato što se u elektranama na ugljen koristilo manje goriva iz biomase (Statistics Netherlands 2024).

Portugal je postigao značajan napredak u integraciji vjetroturbina i solarnih elektrana u razdoblju od 2009. do 2020. godine, čime ostvaruje visok udio obnovljive energije. U 2009. godini u bruto potrošnji električne energije obnovljivi su izvori sudjelovali s 37,56 %, u 2019. godini s 53,77 %, a u 2022. godini sa 60,96 % prema kriterijima Direktive 2001/77/EZ/ (Eurostat 2024e). Ukupni kapaciteti vjetroelektrana u 2022. godini od 8.141 MW doprinio je s 33 % u ukupnom kapacitetu elektrana iz obnovljivih izvora u 2022. godini. Sa sunčanim fotonaponskim elektranama, kapaciteta 2.561 MW, ostvaruje 47,8 % ukupnog kapaciteta obnovljive energije. U ožujku 2023. godine zabilježen je rast kapaciteta obnovljive energije za 0,5 %. Energija vjetra u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora sudjeluje s 47,2 %, a energija sunca 12,6 % (Eurostat 2024d). Promiče se industrijska politika vezana uz vodik i obnovljive plinove. Niski troškovi proizvodnje električne energije vide se kao konkurentna prednost u odnosu na druge zemlje. Stoga se i proizvodnja vodika, putem elektrolize smatra konkurentnom, ako su cijene električne energije oko ili ispod 25 eura po MWh. Nacionalnom strategijom za vodik postavljen je primarni cilj stvaranja stabilnosti kroz postupnu integraciju vodika kao stupa održive energije i dekarbonizacije portugalskog gospodarstva (International Trade Administration 2023).

Njemačka je, također, uložila značajne napore u razvoj obnovljivih izvora energije, uključujući vjetroturbine, solarne panele i biomasu. U 2022. godini udio obnovljivih izvora energije u bruto proizvodnji električne energije iznosio je 44,1 %, a u 2023. godini je povećan na 52,0 % (Destatis 2024). Vjetroelektrane su u 2022. godini sudjelovale s 21,6 % u bruto proizvodnji električne energije te s 49,0 % dobivenoj električnoj energiji iz obnovljivih izvora. U 2023. godini njihov je udio povećan za 5,2 postotna poena (26,8 %) u bruto proizvodnji električne energije, odnosno za 1,9 postotna poena u bruto proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora (51,5 %). Sudjelovanje sunčane energije u bruto proizvodnji električne energije iznosilo je u 2022. godini 10,4 %, a u ukupnim obnovljivim izvorima s 23,7 %. U 2023. godini sunčana energija je povećala udio u bruto proizvodnji električne energije na 11,9 %, dok je u obnovljivim izvorima smanjila udio na 22,8 %.

Potrebno je istaknuti da proizvodnja električne energije obično odgovara potražnji, koja je zauzvrat potaknuta gospodarskim rastom i rastom stanovništva te promjenama u strukturi gospodarstva. Rast potražnje za električnom energijom u Europskoj uniji pokazuje usporen trend, pa čak i smanjenje u pojedinim zemljama uslijed napora usmjerenih ka energetskej učinkovitosti i prijelazu na manje energetske intenzivne oblike gospodarske aktivnosti, kao što su usluge. Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora pokazuje rast u svim zemljama članicama Europske unije kako bi osigurale ostvarenje ciljeva postavljenih energetske politikom Europske unije.

3.4. Analiza tržišta obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj

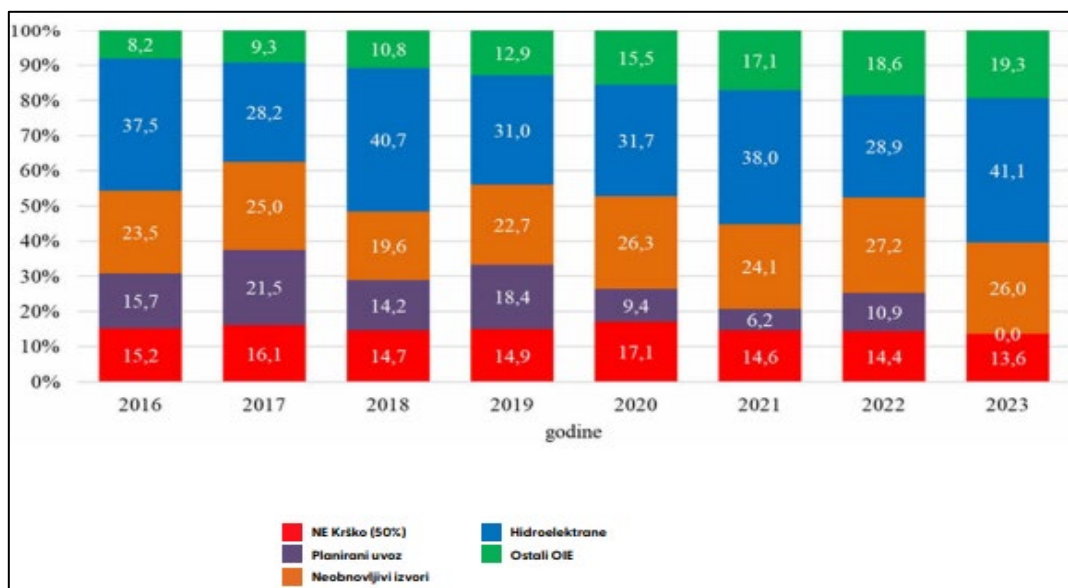
U ovom dijelu doktorskog rada daje se uvid u kretanja na tržištu obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj, istražuje konkurentnost obnovljivih izvora energije, utjecaj domaće komponente u projektima obnovljivih izvora energije te opravdanost poticajnih mjera za obnovljive izvore energije

3.4.1. Značajke tržišta obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj

Električna energija proizvedena iz obnovljivih izvora energije (uključujući hidroelektrane) iznosila je u 2023. godini 11.814 MWh te je u odnosu na 2016. godinu povećana za 44,1 %. Proizvodnja električne energije iz sunca, vjetera i termalnih izvora iznosila je 3.768 MWh te je zabilježen rast za 156,7 %. Nakon pada proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije (bez hidroelektrana) na 2.721 MWha u razdoblju do 2023. godine bilježi se ubrzan rast. Razdoblje od 2021. godine obilježava uvođenje novih postrojenja u elektroenergetski sustav Republike Hrvatske kao posljedica visokih cijena električne energije na tržištu, pada instalacijskih troškova ugradnje obnovljivih izvora na privatnim i javnim objektima te obveze otkupa viška proizvedene električne energije, ali i rasta broja neintegriranih sunčanih elektrana i vjetroelektrana.

Obnovljivi izvori energije su u 2023. godini sudjelovali u ukupno raspoloživoj električnoj energiji Republike Hrvatske s udjelom većim od 60,4 %. Ako se iz tog udjela izdvoji hidroenergija, može se vidjeti da je gotovo petina električne energije proizvedena iz obnovljivih izvora (Grafikon 27). Usporedbom s 2016. godinom, vidi se da je udio proizvodnje električne energije iz sunčanih elektrana, vjetroelektrana i geotermalnih elektrana više nego udvostručen, s 8,2 % na 19,3 %. Također je vidljiva varijabilnost raspoložive električne energije iz

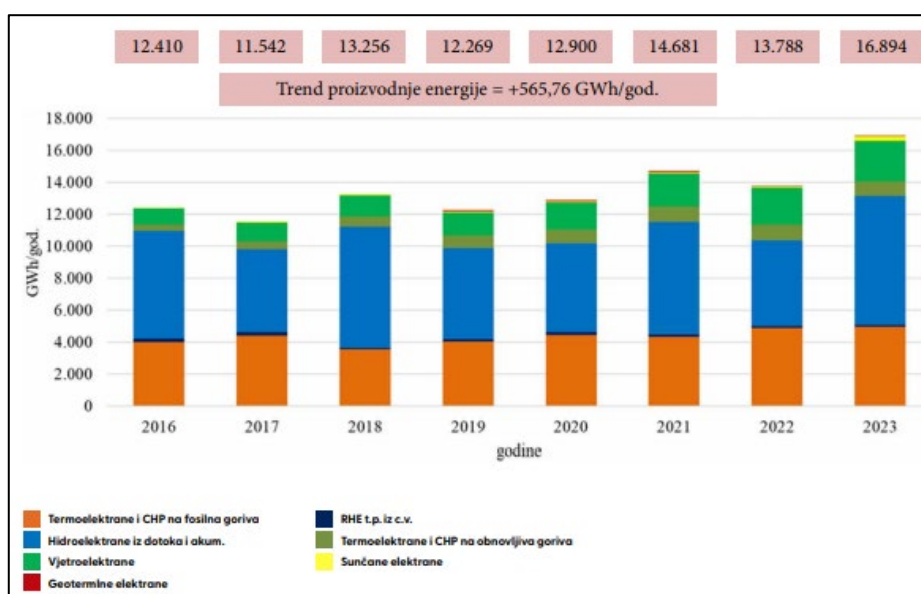
hidroelektrana čija proizvodnja, kako je već istaknuto, značajno ovisi o klimatskim prilikama, odnosno o količini oborina tijekom godine. U 2022d. godini primjerice, hidroelektrane su sudjelovale sa svega 28,9 % u odnosu na 2023. godinu kada su sudjelovale s 41,1 %.



Grafikon 27. Struktura raspoložive električne energije u Republici Hrvatskoj, 2016.-2023. godine

Izvor: OIE. 2024. OIEH izvješće o elektroenergetskim prilikama u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2023. godine i za 2023. godinu, https://oie.hr/wp-content/uploads/2024/04/OIEH_EEizvjesce_2023.pdf (pristupljeno 7. svibnja 2024.)

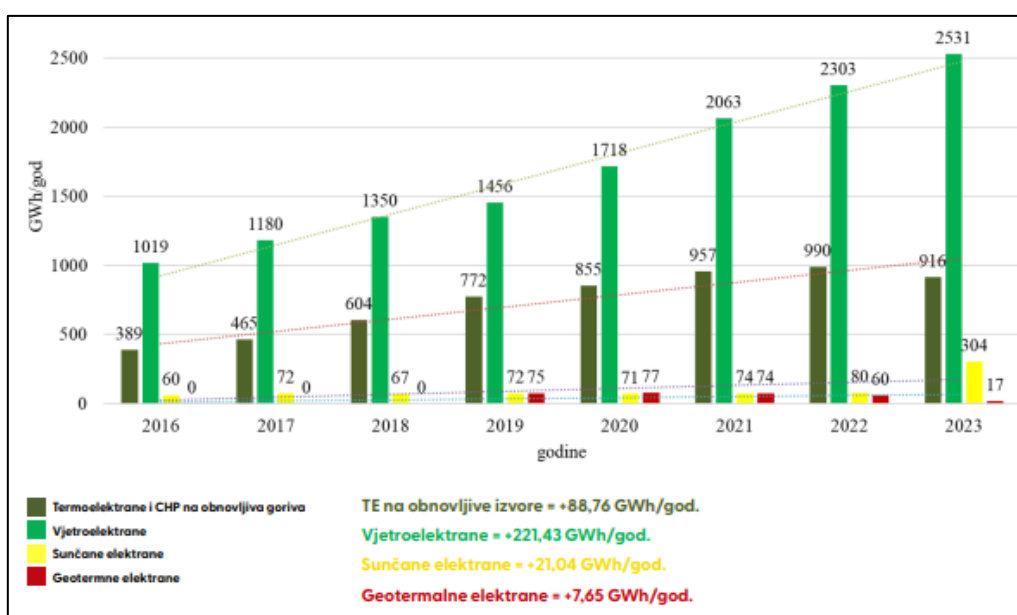
Ostvareni trend rasta u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora iznosio je u razdoblju od 2016. do 2023. godine 565,76 GWh ili prosječno godišnje 4,51 % (OIE 2024) (Grafikon 28).



Grafikon 28. Proizvodnja električne energije u Republici Hrvatskoj prema tehnologiji, 2016.-2023. godine

Izvor: OIE. 2024. OIEH izvješće o elektroenergetskim prilikama u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2023. godine i za 2023. godinu, https://oie.hr/wp-content/uploads/2024/04/OIEH_EEizvjesce_2023.pdf (pristupljeno 7. svibnja 2024.)

Podaci na Grafikonu 28 pokazuju rast proizvodnje u vjetroelektranama i sunčanim elektranama, pri čemu je sudjelovanje vjetroelektrana znatno veće u odnosu na sunčane elektrane i geotermalne elektrane. Vjetroelektrane su u 2023. godini proizvele 2.531 MWh ili 148 % više električne energije u odnosu na 2016. godinu (Grafikon 29). Proizvodnja električne energije u sunčanim elektranama u 2023. godini iznosila je 304 MWh što je povećanje za 406,7 % u odnosu na 2016. godinu. Iz termoelektrana proizvedeno je 916 MWh električne energije ili 135,5 % više nego u 2016. godini, dok je iz geotermalnih izvora proizvedeno tek 17 MWh električne energije.



Grafikon 29. Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora (bez hidroelektrana) u Republici Hrvatskoj, 2016.-2023. godine

Izvor: OIE. 2024. OIEH izvješće o elektroenergetskim prilikama u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2023. godine i za 2023. godinu, https://oie.hr/wp-content/uploads/2024/04/OIEH_EEizvjesce_2023.pdf (pristupljeno 7. svibnja 2024.)

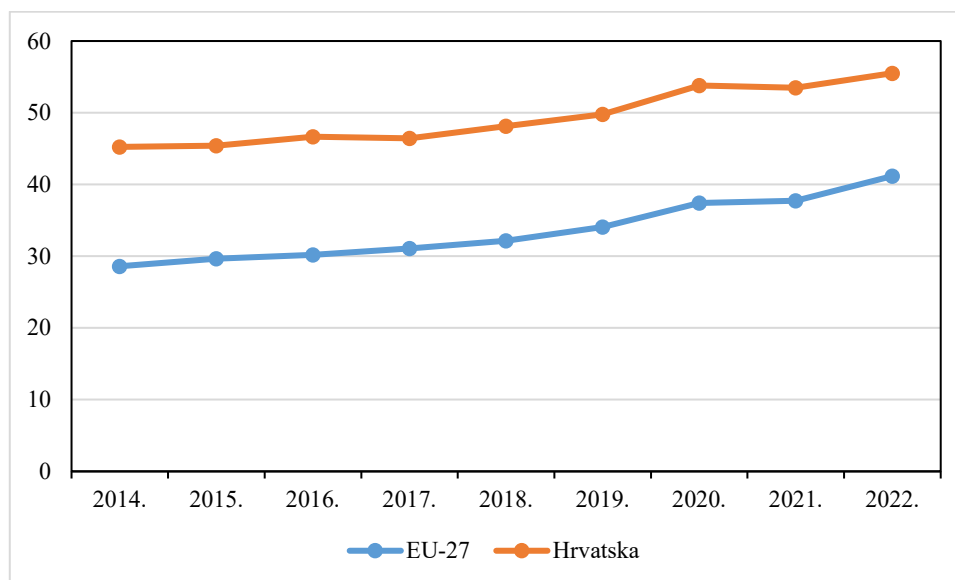
Rast proizvodnje električne energije iz vjetroelektrana i sunčanih elektrana rezultat je, između ostalog povećanja njihovog kapaciteta, kako je vidljivo iz Tablice 9. U 2022. godini vjetroelektrane u Hrvatskoj imale su kapacitet od 986,9 MW te se nije promijenio u odnosu na 2021. godinu. No, u 2021. godini njihov je kapacitet povećan za 23,2 % u odnosu na 2021. godinu. Kapacitet sunčanih elektrana dosegao je u 2022. godini 222,0 MW, što je značajno povećanje u odnosu na 2021. godinu kada je iznosio 108,5 MW od 60,5 %. Razlog tome su poticaji države za instalaciju sunčanih elektrana u kućanstvima. Kapacitet termalnih elektrana stagnira. Od 2018. godine Hrvatska nije povećala kapacitet termoelektrana. Ni hidroelektrane nemaju značajniji rast kapaciteta. One su u 2022. godini imale kapacitet od 2.203,4 MW, što je u odnosu na 2021. godinu povećanje za 0,2 %.

Tablica 9. Kapacitet elektrana na obnovljive izvore u Republici Hrvatskoj, 2016.-2022. godine

Kapacitet u MW	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.
Hidroelektrane	2.189,1	2.190,3	2.196,8	2.197,0	2.197,2	2.198,2	2.203,4
Geotermalne elektrane	0,0	0,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Vjetroelektrane	483,0	576,1	586,3	646,3	801,3	986,9	986,9
Sunčane elektrane	55,8	60,0	67,7	84,8	108,5	138,3	222,0
Ukupno obnovljivi izvori energije	2.727,9	2.826,4	2.860,8	2.938,1	3.117,0	3.333,4	3.422,3
Verižni indeksi	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.
Hidroelektrane	-	100,0	100,3	100,0	100,0	100,0	100,2
Geotermalne elektrane	-	0	0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vjetroelektrane	-	119,3	101,8	110,2	124,0	123,2	100,0
Sunčane elektrane	-	107,5	112,8	125,6	127,9	127,5	160,5
Ukupno	-	103,6	101,2	102,7	106,1	106,9	102,7

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Eurostat. 2024. Electricity production capacities by main fuel groups and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_inf_epc__custom_12350238/default/table?lang=en (pristupljeno 17. lipnja 2024.).

U odnosu na EU-27 Hrvatska je u 2022. godini ostvarila veći udio obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije (Grafikon 30).



Grafikon 30. Udio obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije u Republici Hrvatskoj, 2016.-2023. godine

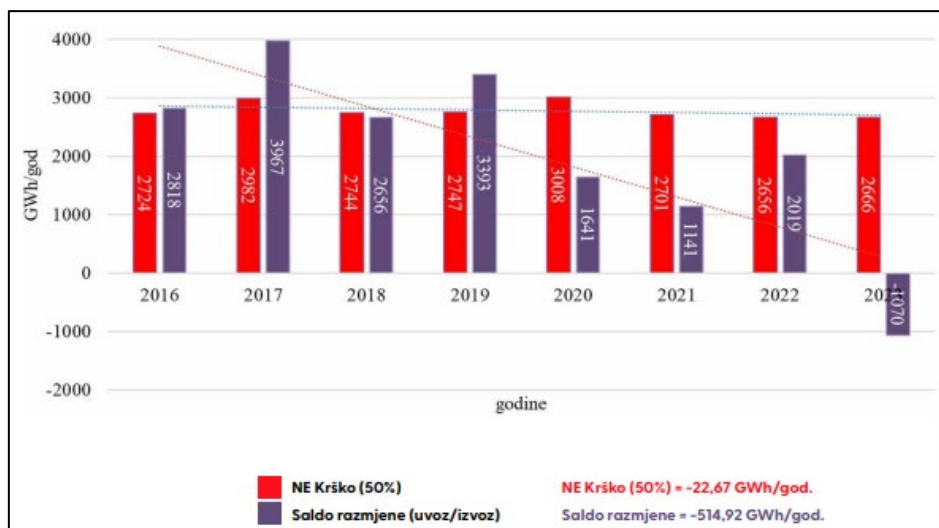
Izvor: OIE. 2024. OIEH izvješće o elektroenergetskim prilikama u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2023. godine i za 2023. godinu, https://oie.hr/wp-content/uploads/2024/04/OIEH_EEizvjesce_2023.pdf (pristupljeno 7. svibnja 2024.).

Prema podacima Eurostata (2024) u Hrvatskoj su obnovljivi izvori energije sudjelovali u proizvodnji električne energije s 55,5 %, dok su u EU-27 sudjelovali s 41,2 %. Hrvatska ima visok udio obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije zahvaljujući potencijalu voda i proizvodnji električne energije iz vode.

3.4.2. *Interkonekcija elektroenergetskog sustava*

Interkonekcija omogućuje povezanost elektroenergetskih sustava. Ono se primjenjuje iz sigurnosnih i ekonomskih razloga. Pod pojam elektroenergetska interkonekcija podrazumijevaju se dva ili više međusobno povezana elektroenergetska sustava u sinkronom pogonu. Povezivanjem elektroenergetskih sustava s gledišta sigurnosti, znatno se smanjuje utjecaj poremećaja na vladanje interkonekcije jer se sustavi u interkonekciji međusobno potpomažu. S ekonomskog gledišta, interkonekcija smanjuje potrebu za pričuvom snage u pojedinom elektroenergetskom sustavu za razliku od samostalnog rada elektroenergetskog sustava. Interkonekcijski sustavi imaju posebna obilježja zbog svoje veličine, s obzirom na pogonske značajke, u odnosu na elektroenergetske sustave od kojih su sastavljeni. Jedan od ciljeva energetske politike Europske unije je povećati interkonektivnost europske elektroenergetske mreže. Time bi se osigurala pristupačna, sigurna i održiva energija uz povećanje zaposlenosti u Europskoj uniji.

Republika Hrvatska je sa Republikom Slovenijom suvlasnica nuklearne elektrane Krško s udjelom od 50 %. Nuklearna elektrana se nalazi u Sloveniji, a električna energija se s dva dalekovoda prenosi s postrojenja prema Zagrebu. Nuklearna elektrana Krško u Sloveniji za potrebe Hrvatske proizvodi prosječno oko 2.799 GWh (50%) (OIE 2024.). Podaci na Grafikonu 31 pokazuju da je u 2023. godini iz nuklearne elektrane Krško za potrebe Hrvatske isporučeno 2.666 GWh električne energije. Kvar u studenom 2023. godine uzrokovao je smanjenje proizvodnje za 22,67 GWh. U slučaju da se kvar nije dogodio, trend bi bio pozitivan te bi iznosio povećanje proizvodnje za 7,91 GWh u odnosu na 2022. godinu. Planirani uvoz električne energije u razdoblju od 2016. do 2023. godine iznosio je prosječno godišnje 2.071 GWh. Povećanje proizvodnje električne energije u proteklim godinama, prvenstveno iz obnovljivih izvora, zatim termoelektrana i hidroelektrana, utjecalo je na značajan pad uvoza električne energije (-514,92 GWh godišnje) (OIE 2024.).



Grafikon 31. Razmjena električne energije na interkonekcijama, 2016.-2023.

Izvor: OIE. 2024. OIEH izvješće o elektroenergetskim prilikama u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2023. godine i za 2023. godinu, https://oie.hr/wp-content/uploads/2024/04/OIEH_EEizvjesce_2023.pdf (pristupljeno 7. svibnja 2024.)

Poboljšanje prekogranične povezanosti elektroenergetskih sustava pruža mogućnost oslanjanja na elektroenergetski sustav susjednih zemalja i uvoz električne energije u slučaju kvarova na elektroenergetskom sustavu. Posebno je važno u povezivanju izoliranih elektroenergetskih sustava. Cilj je Europske unije postići međusobno povezivanje od najmanje 15 % do 2023. godine kako bi se potakle zemlje da povežu svoje elektroenergetske sustave. To konkretno znači da svaka zemlja članica Europske unije treba imati električne kabele kojima može transportirati električnu energiju proizvedenu u vlastitom elektroenergetskom sustavu preko granice u susjednu zemlju. Prema podacima Integriranog nacionalnog energetskog i klimatskog plana za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2050. godine (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2019) prijenosni sustav na području Republike Hrvatske je već u 2019. godini zadovoljavao i višestruko premašio postavljeni cilj. To vrijedi i u slučaju usporedbe interkonekcijskih kapaciteta s vršnim opterećenjem sustava, odnosno s instaliranom snagom obnovljivih izvora energije na području Republike Hrvatske.

Sigurnu i pouzdanu opskrbu električne energije omogućava razina rezerve snage proizvodnog dijela elektroenergetskog sustava u Republici Hrvatskoj i sustava u susjednim zemljama s kojim je povezan. Postojeće stanje elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske je zadovoljavajuće, no prisutna je potencijalna ugroza jer Republika Hrvatska ne raspolaže s dovoljnim proizvodnim kapacitetima te ih nadoknađuje prekograničnom razmjenu. To je ujedno čini ovisnom o raspoloživosti prekograničnih prijenosnih kapaciteta i proizvodnje električne energije u umreženim elektroenergetskim sustavima. Stoga je nužno povećati kapacitete elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske, posebice u segmentu obnovljivih izvora energije.

3.4.3. Utjecaj domaće komponente u projektima obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj

Republika Hrvatska je u 2007. godini uvela zakonsku regulativu koja uređuje poticaje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Ognjan 2008). Iako su poticaji isplaćivani za isporučenu električnu energiju iz postrojenja, oni su zapravo bili namijenjeni poticanju izgradnje novih postrojenja na obnovljive izvore energije (HERA 2022). Naponi su bili usmjereni i ka poticanju sudjelovanja domaće komponente u projektima obnovljivih izvora energije. Tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije (2007) i kogeneracijskih postrojenja uključen je udio domaće komponente u projektu za određenje korekcijskog faktora pri utvrđivanju visine tarifnih stavki u tri razreda (do 45 %, 45-60 % i 60 i više %). Prema procjenama domaća komponenta u razvoju projekata vjetroelektrana i sunčanih elektrana kreće se od 40 do 80 %, a prosječno za sve projekte obnovljivih izvora energije domaće komponente variraju između 30 i 40 % do najviše 60 % (OIE Hrvatska 2021). Prema istraživanju Ekonomskog instituta Zagreb i Energetskog instituta Hrvoje Požar (2017) za razdoblje od 2007. do 2016. godine:

- ukupni investicijski troškovi vjetroelektrana iznose 432,8 mil. eura, od čega domaća komponenta (robe i usluge s podrijetlom u Republici Hrvatskoj) sudjeluje u prosjeku s 44 %, a u slučaju jedne vjetroelektrane taj je udio 93 %,
- ukupni investicijski trošak za velike sunčane elektrane (instalirane snage veće od 300 kW) iznosio je 13,3 mil. eura, pri čemu je specifični investicijski trošak iznosio 1.663 EUR/kW, a domaća komponenta (ukupni investicijski trošak s podrijetlom u Republici Hrvatskoj) sudjelovala je u prosjeku s 81 % (raspon od 67 % do 85 %),
- prosječan investicijski trošak malih sunčanih elektrana (instalirane snage manje od 300 kW) veći je u odnosu na velike sustave, a iznosi 3.461 EUR/kW. Prosječno, 68 % ukupnog investicijskog troška je domaća komponenta (podrijetlom u Republici Hrvatskoj), a u nekim slučajevima taj udio doseže i do 83 %,
- za 12 bioplinskih postrojenja do 2016. godine investirano je ukupno 69,3 mil. eura. Prosječno se 79 % ukupno ostvarenih investicijskih troškova odnosi na domaću komponentu kao rezultat visokog udjela građevinskih radova i pripreme projekata u ukupnoj strukturi investicijskog troška.

Realizacija projekata obnovljivih izvora energije uključuje angažman širokog spektra domaćih stručnjaka i usluga: konzultante, stručnjake na području energetike, projektante, građevinski sektor, stručnjake u području zaštite okoliša, pravnike, prijevoznike, nadzorne

organe, ali i podmirivanje obveza prema državi u vidu poreznih i drugih davanja, ulaganja u prijenosnu mrežu, komunalnu naknadu lokalnim zajednicama i dr. Ulaganja u obnovljive izvore imaju značajne pozitivne učinke na lokalnu zajednicu, ali i na društvo u cjelini. Na lokalnoj razini, projekti obnovljivih izvora energije potiču zapošljavanje, jačaju lokalnu ekonomiju, poboljšavaju infrastrukturu te donose prihod lokalnoj zajednici od naknada na proizvedenu električnu energiju iz obnovljivih izvora. Na širem društvenom planu, povećava se energetska sigurnost, smanjuje ovisnost o uvoznim fosilnim gorivima i doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova. Uključivanje domaće industrije u sektor obnovljivih izvora energije vidi se kao prilika za snažan poticaj razvoju inovacija, postizanju konkurentnosti u novim razvojnim područjima i industrijski razvoj te, u konačnici, može biti snažan generator rasta BDP-a i zaposlenosti (Herenčić i dr. 2018). Hu i dr. 2023. industriju obnovljivih izvora energije promatraju kao katalizator industrijske nadogradnje. Izazov je potaknuti poduzetnike i gospodarstvo na sudjelovanje u realizaciji projekata izgradnje elektrana na obnovljive izvore energije što ujedno podrazumijeva povećanje korištenja domaće opreme i usluga te, u konačnici, razvoj domaće industrije, rast zaposlenosti i otvaranje novih radnih mjesta. Industrija obnovljivih izvora energije posljednjih je godina pokazala da nema samo pozitivne učinke na klimatske promjene ili na povećanje energetske stabilnosti i sigurnosti isporuke električne energije korištenjem domaćih izvora energije (sunce, vjetar, biomasa i sl.) već i da je sredstvo ekonomskog rasta čak i u vrijeme dubokih ekonomskih poremećaja na globalnoj razini (Jerkić 2012).

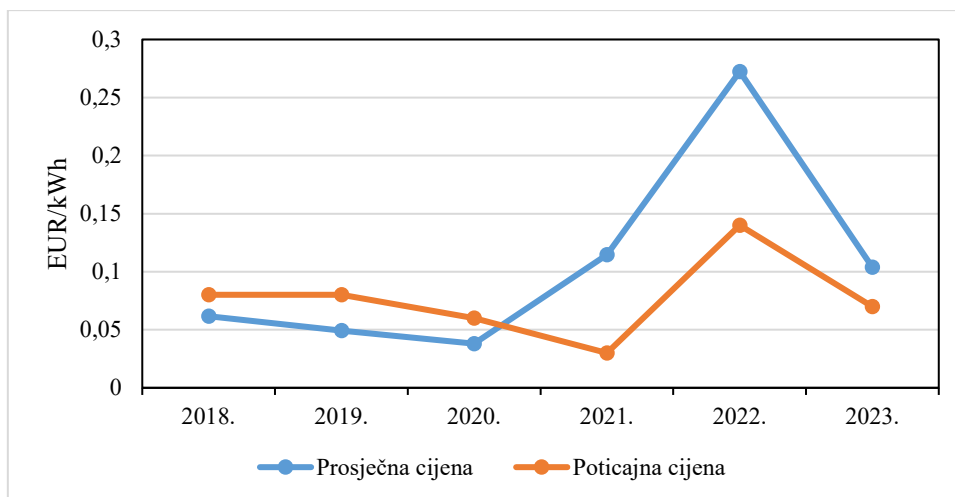
Jedna od mjera Vlade Republike Hrvatske u poticanju rasta domaće komponente u projektima obnovljivih izvora energije provodi se kroz sustav poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i poticajnih cijena povlaštenog proizvođača. Udio domaće komponente u projektima obnovljivih izvora energije utječe na visinu tarifnih stavki u sustavu poticaja obnovljivih izvora energije.

3.4.4. Opravdanost poticajnih mjera za obnovljive izvore energije

Znatno veća cijena električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije (izuzev hidroelektrana) od prosječne proizvodne cijene u konvencionalnim elektranama (Lovrić i Lovrić 2013) istaknuo je potrebu uvođenja mehanizama potpore kako bi se njihov udio u proizvedenoj električnoj energiji povećao. Državne subvencije za obnovljivu energiju značajno jačaju tržišnu konkurenciju i inovacije. Snižavanjem ulaznih troškova, subvencije omogućuju novim poduzećima natjecanje s već poduzećima koje se bave fosilnim gorivima, pokrećući

tržišnu dinamiku. Primjerice, olakšica za porez na proizvodnju u SAD-u za energiju vjetra dovela je do dramatičnog povećanja kapaciteta energije vjetra, smanjujući troškove i jačajući konkurentnost. Financijske potpore poput bespovratnih sredstava, poreznih poticaja i otkupnih cijena smanjuju financijske rizike, potičući ulaganja u istraživanje i razvoj. Njemački *Zakon o obnovljivim izvorima energije* (EEG) daje poticajne tarife, potičući napredak u solarnoj tehnologiji i čineći Njemačku predvodnikom u solarnim inovacijama. Subvencije pomažu u stvaranju ekonomije razmjera. Primjerice, velike kineske subvencije za proizvodnju solarnih panela smanjile su globalne solarne troškove, čineći solarnu energiju dostupnijom i konkurentnijom u cijelom svijetu. Međutim, loše upravljane subvencije mogu narušiti tržišta. Španjolske subvencije za solarnu energiju početkom 2000-ih godina dovele su do ciklusa uspona i propasti, naglašavajući potrebu za uravnoteženim i dobro osmišljenim politikama. Državnim subvencijama se daje ključna uloga u poticanju konkurencije i inovacija u sektoru obnovljive energije, što dovodi do nižih troškova, tehnološkog napretka i održivije energetske budućnosti.

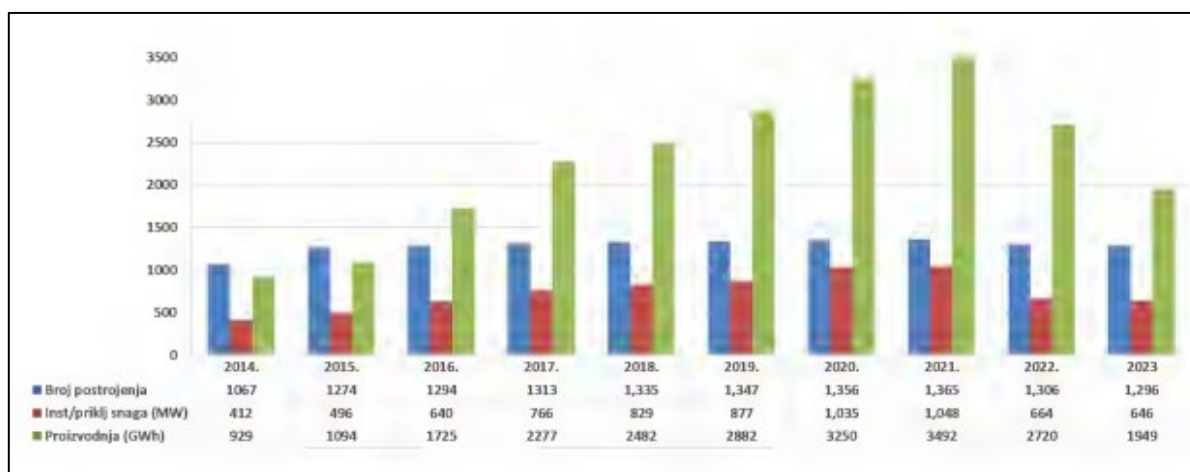
Opravednost poticajnih mjera za obnovljive izvore energije u Republici Hrvatskoj promatra se, u ovom dijelu, doktorskog rada kroz sustav dodjele potpora reguliran *Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji* (2021; 2023) kao i prethodnim tarifnim sustavima za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovite kogeneracije. Zakonom je regulirana operativna potpora, odnosno isplata državnih potpora temeljem isporučene električne energije, no sustav potpora, u biti potiče izgradnju novih postrojenja koja će proizvoditi električnu energiju iz obnovljivih izvora energije (HERA 2022). Tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (2007. godine) definirane su tarifne stavke i visina tarifnih stavki za isporučenu električnu energiju iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije. Visina tarifne stavke iznosila je, primjerice za sunčane elektrane instalirane snage do uključivo 10 kW 0,45 EUR/kWh. No, u 2012 godini dolazi do izmjena tarifnog sustava te se poticajna cijena smanjuje. Za sunčane elektrane instalirane snage do uključivo 10 kW iznosi 0,15 EUR/kWh (Tarifni sustav... 2012). U 2013. godini visina poticajne cijene je povećana na 0,25 EUR/kWh (Tarifni sustav... 2013), što je gotovo dvostruko smanjenje u odnosu na tarifni sustav iz 2007. godine. Poticajna cijena je, međutim, od 2021. godine niža od cijene električne energije na CROPEX-u (Grafikon 32) pa povlaštenu kupci nakon podmirenja svojih obveza izlaze iz sustava poticaja.



Grafikon 32. Poticajne cijene za sunčane elektrane i vjetroelektrane te prosječna cijena električne energije na CROPEX-u

Izvor: Izrada autorice prema podacima: Hrvatska burza električne energije, <https://www.cropex.hr/hr/> (pristupljeno 4. siječnja 2023.); Odluka o iznosu tarifnih stavki za zajamčenu opskrbu električnom energijom, *Narodne novine*, 102/18, 59/19, 102/18, 25/19, 68/20, 24/21.

Opravanost sustava poticanja može se promatrati kroz ključne pokazatelje: broja postrojenja, instalirane snage i proizvodnje električne energije. Podaci HROTE (2024) pokazuju za razdoblje od 2014. do 2023. godine rast broja postrojenja u sustavu poticanja do 2021. godine. Od 2022. godine zabilježen je pad u svim ključnim pokazateljima. Instalirana snaga je u sustavu poticanja smanjena za 37 % u instaliranoj snazi, odnosno za 22 % u proizvodnji. U 2023. godini zabilježen je pad od 3 % u instaliranoj snazi i 28 % u proizvodnji (Grafikon 33).

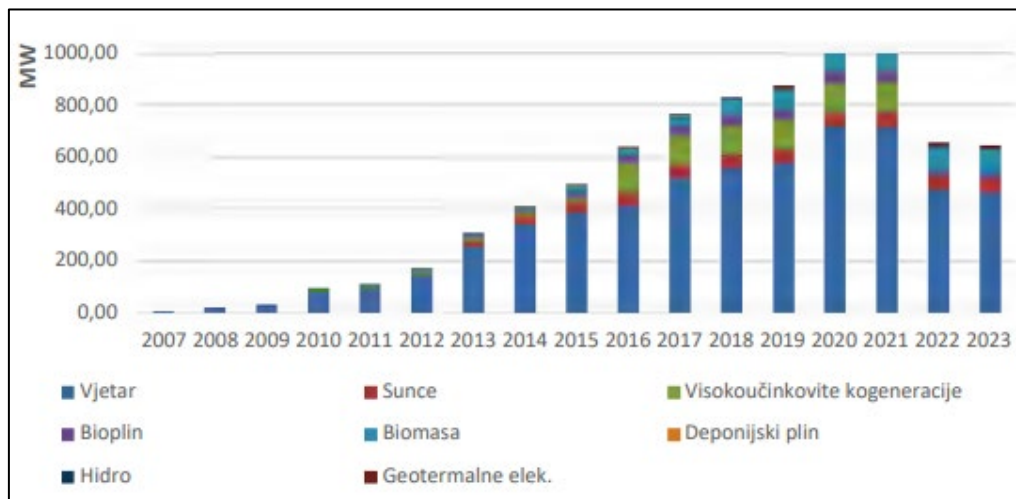


Grafikon 33. Ključni pokazatelji sustava poticanja u Republici Hrvatskoj 2014.-2023. godine

Izvor: HROTE. 2024. Sustav poticanja proizvodnje električne energije iz OIEiK. <https://files.hrote.hr/files/PDF/OIEIK/GI%20OIEIK%202023.pdf> (pristupljeno 14. travnja 2024.)

Promatrajući udjele instalirane snage proizvodnih postrojenja povlaštenih proizvođača prema grupi (Grafikon 34) postrojenja u sustavu poticanja u razdoblju od 2014. do 2023. godine

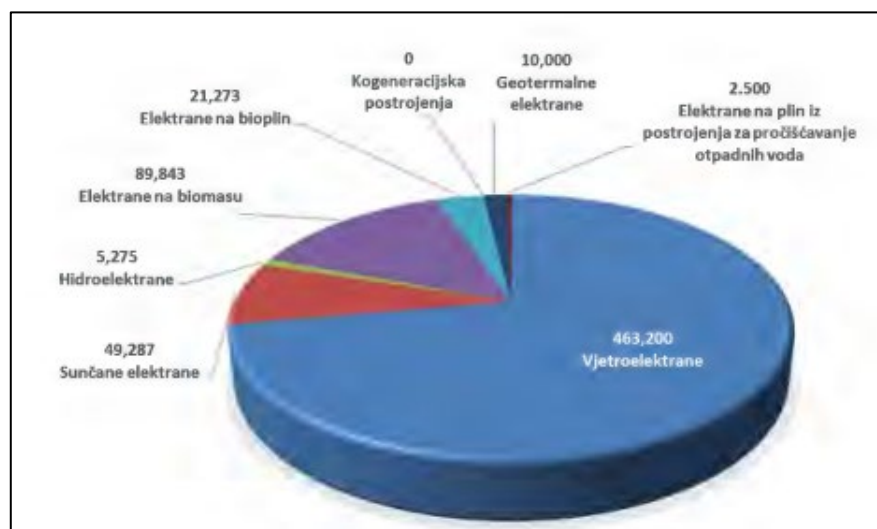
može su uočiti rast instalirane snage do 2021. godine nakon čega instalirana snaga pokazuje značajan pad, prvenstveno zbog raskida ugovora o otkupu električne energije tržište 2022. godine uglavnom zbog poremećaja na tržištu (HROTE 2024).



Grafikon 34. Instalirana snaga proizvodnih postrojenja povlaštenih proizvođača prema grupi postrojenja u sustavu poticanja sustava poticaja u Republici Hrvatskoj, 2014.-2023. godine

Izvor: HROTE. 2024. Sustav poticanja proizvodnje električne energije iz OIEiK. <https://files.hrote.hr/files/PDF/OIEIK/GI%20OIEIK%202023.pdf> (pristupljeno 14. travnja 2024.)

U strukturi proizvodnje električne energije u odnosu na ukupnu instaliranu snagu u sustavu poticaja vodeću poziciju zauzimaju vjetroelektrane s udjelom od 72,6 %, slijede elektrane na biomasu s udjelom od 13,9 % te sunčane elektrane s udjelom od 8,2 % (Grafikon 35). Najmanji udio imaju geotermalne elektrane.



Grafikon 35. Instalirana snaga povlaštenih proizvođača prema tipu proizvodnih postrojenja i udio u ukupnoj instaliranoj snazi (MW) na dan 31. prosinca 2023. godine (Tarifni sustavi 2007., 2012. i 2013.)

Izvor: HROTE. 2024. Sustav poticanja proizvodnje električne energije iz OIEiK. <https://files.hrote.hr/files/PDF/OIEIK/GI%20OIEIK%202023.pdf> (pristupljeno 14. travnja 2024.)

U kontekstu poticajnih mjera za obnovljive izvore energije potrebno je ukazati i na *feed in* tarifu (zajamčenu tarifu) kao jednu od najučinkovitijih metoda poticaja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije. Mehanizam *feed in* tarife prvo sustavno je primijenjen u Njemačkoj, od kuda se proširio na veći broj zemalja, među kojima je i Hrvatska. Prednost ovog sustava je transparentnost. Uobičajeno, investitor preuzima cjelokupni posao osiguranja financija i izgradnje elektrane. Projekt ima unaprijed garantiranu cijenu za neki rok, između 7 i 20 godina, ali mora prvo početi proizvoditi i plaćen je po isporučenom kWh. U 2023. godini u sustavu poticanja bilo je sedam sunčanih elektrana u trajno pogonu koja se potiču zajamčenom otkupnom cijenom.

Iz prezentiranih podataka može se vidjeti da je sustav poticanja imaju pozitivne učinke dok je otkupna cijena električne energije bila niža u odnosu na cijenu električne energije koja se formira na CROPEX-u. Niža cijena električne energije u odnosu na CROPEX dovela je do poremećaja u sustavu električne energije i dovela u pitanje njegovu učinkovitost. Provedena analiza nije potvrdila hipotezu H2: *Postojeći mehanizmi poticanja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj negativno utječu na održivost razvoja energetskog sektora u cijelosti.*

4. POSTAVLJANJE OPTIMALNOG MODELA UVOĐENJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ U FUNKCIJI ODRŽIVOSTI ENERGETSKOG SUSTAVA

Pregled podataka o hrvatskom tržištu električne energije u Republici Hrvatskoj ukazao je na nedovoljne proizvodne kapacitete za zadovoljenje domaćih potreba za električnom energijom. U skladu sa „Strategijom energetske razvoja Republike Hrvatske“ (2020), u kojoj su postavljeni ciljevi ostvarenja vizije niskougljične energije te ostvarenje energetske politike, kojom se osigurava stabilnost i kvaliteta opskrbe energijom bez dodatnog opterećenja državnog proračuna u okviru državnih potpora i poticaja, u ovom dijelu doktorskog rada postavlja se model uvođenja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj. Održivost elektroenergetski sustav podrazumijeva smanjenje gubitaka električne energije nastalih u prijenosnom i distribucijskom sustavu i povećanje elektroenergetske učinkovitosti, smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima, povećanje domaće proizvodnje i korištenje obnovljivih izvora energije.

4.1. Metodologija postavljanja modela

Optimalni model uvođenja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj simuliran je putem modela PLEXOS, postavljanju scenarija isplativosti i konkurentnosti modela te pronalaženju optimalnog rješenja uvođenja elektrana na obnovljive izvore, s ciljem održivosti elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske. Pri tome se koristi metoda simulacije i metoda scenarija. PLEXOS je alat za optimalizaciju elektroenergetskog sustava koji se koristi u modeliranju tržišta električne energije te pruža pomoć u analitici i podršku u donošenju odluka o integraciji obnovljivih izvora energije u elektroenergetsku mrežu (PLEXOS for Renewables n.d.). PLEXOS pokreće program koji je specijaliziran za rješavanje matematičkih problema (solver). Solver korišten za simulaciju bio je Xpress-MP unutar PLEXOS-a. Odabrane su sunčane elektrane i vjetroelektrane zbog njihove niske razine utjecaja na okoliš, potencijala “sunca i vjetra” Republike Hrvatske te njihove ključne uloge u održivom i niskougljičnom razvoju hrvatskog elektroenergetskog sustava kao elektrana s niskom razinom utjecaja na okoliš. Naime, vjetroturbine pretvaraju kinetičku energiju vjetra u električnu energiju bez emisija (Center for Sustainable System n.d.). Model je izgrađen iz podataka postojećih elektrana na sunce i vjetar u elektroenergetskom sustavu Republike Hrvatske kojima su obuhvaćene različite vrste tehnologija primijenjenih za izgradnju sunčanih i vjetroelektrana, investicijski i operativni troškovi, veličina instalirane snage i drugi kriteriji relevantni za

donošenje odluke o izgradnji elektrane. Simulacija obuhvaća tri elektrane na sunčevu energiju smještene u tri područja: Dalmacija, Primorje i Unutrašnjost i tri vjetroelektrane smještene u regije: Južni Jadran, Srednji Jadran i Sjeverni Jadran, s obzirom na različite potencijale navedenih područja u iskoristivosti kapaciteta sunčanih elektrana i vjetroelektrana. Korištenjem simulacije PLEXOS kratkoročnog i dugoročnog rada elektrana daje se uvid u isplativost izgradnje i održavanja novih elektrana na sunčevu energiju i energiju vjetra, te njihovu konkurentnost prikazanu kroz cijenu električne energije i usporedbu cijene električne energije dobivene iz simuliranih elektrana s prosječnim cijenama električne energije iz 2019. godine formiranim na CROPEX-u. U modelu su korištene prosječne marginalne cijene proizvodnje električne energije iz vjetroelektrana i sunčanih elektrana na temelju rezultata simulacija iz PLEXOS-a. Marginalna cijena se odnosi na minimalnu cijenu po kojoj električna energija treba biti prodana kako bi projekt pokrio sve svoje troškove (engl. *Levelized Cost of Energy*) (Ekonomski institut Zagreb 2017, 8). Osnovna cijena električne energije je ista u svim scenarijima obuhvaćenima istraživanjem i definirana je prema podacima Hrvatske burze električne energije za cijene električne energije u 2019. godini. Godina 2019. je uzeta i za podatke vezane za vršno opterećenje sustava. Projekcije su dane za četiri scenarija s različitim cijenama. Prvi scenarij je definiran s osnovnom cijenom za sve godine preuzete s CROPEX DA (dan unaprijed tržište) iz 2019. godine, drugi scenarij uključuje osnovnu cijenu s porastom od 2 %, godišnje, treći s porastom cijena od 4 % godišnje, a četvrti scenarij uključuje osnovnu cijenu s porastom od 6 % godišnje. Promatrano razdoblje je 25 godina (od 2021. do 2046. godine).

4.2. Karakteristike elektrana i definirani ulazni podatci za simulaciju modela u PLEXOS-u

Za model, kako je već istaknuto koriste se podatci vjetroelektrana i sunčanih elektrana uključenih u elektroenergetski sustav Republike Hrvatske.

4.2.1. Karakteristike elektrana

Parametri elektrana koje se koriste u simulaciji modela prikazane su u Tablici 10.

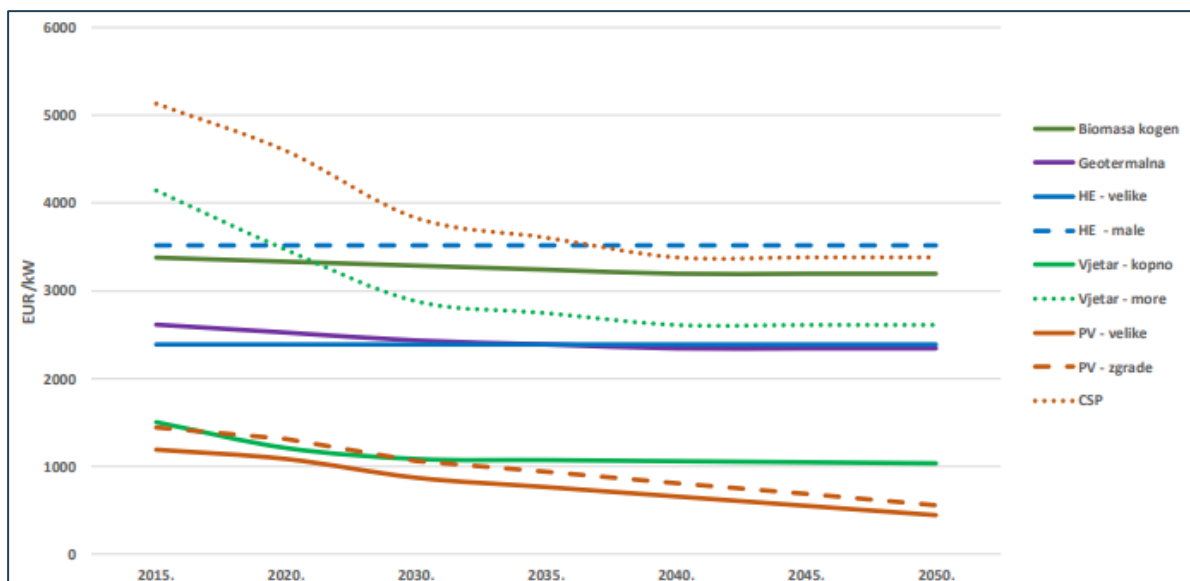
Tablica 10. Karakteristike elektrana u modelu dugoročne simulacije

Karakteristika	Vjetroelektrane	Sunčane elektrane
Tehnički vijek [godine]	25	30
Ekonomski vijek [godine]	15	15
WACC ¹⁹ [%]	7	7
Instalirana snaga [MW]	10	10
Investicijski troškovi [EUR/kW]	1.188,0	1.061,5
Fiksni troškovi rada i održavanja [EUR/kW/god]	27	10
Varijabilni troškovi proizvodnje [EUR/kW]	0	0
Profil proizvodnje	Godišnji profili proizvodnje električne energije u postojećim elektranama	

Izvor: Izrada autorice.

Glavna prednost elektrana na obnovljive izvore, uz nisku razinu negativnih učinaka na okoliš, su minimalni troškovi proizvodnje s obzirom na to da koriste obnovljive izvore energije. Suprotno troškovima rada i proizvodnje električne energije investicijski troškovi za ove tehnologije su iznimno visoki. Integriranim nacionalnim energetske i klimatskim planom za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2050. godine (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2019) predviđa se smanjenje specifičnih investicijskih troškova u budućem razdoblju, posebice za sunčane elektrane i vjetroelektrane na moru. Projekti sunčanih elektrana i vjetroelektrana već su tijekom izrade doktorskog rada iskazali niže troškove od pretpostavljenih modelom. U postavljanom modelu uključeni su visoki investicijski troškovi, zbog čega je predviđen ekonomski vijek projekta elektrane od 15 godina za koji se predviđa povrat uložениh sredstava za izgradnju elektrane. Uz investicijske troškove važan čimbenik isplativosti elektrane je proizvodnja električne energije na koju utječu različiti faktori i prodajna cijena električne energije. Varijabilnost obnovljivih izvora ima značajan utjecaj na isplativost elektrana (Grafikon 36).

¹⁹ Ponderirana prosječna stopa povrata na kapital, engl. *weighted average cost of capital* (skr. WACC). Temelji se na podacima Hrvatske energetske regulatorne agencije (HERA).



Grafikon 36. Specifične investicije u tehnologije obnovljivih izvora energije do 2050. godine

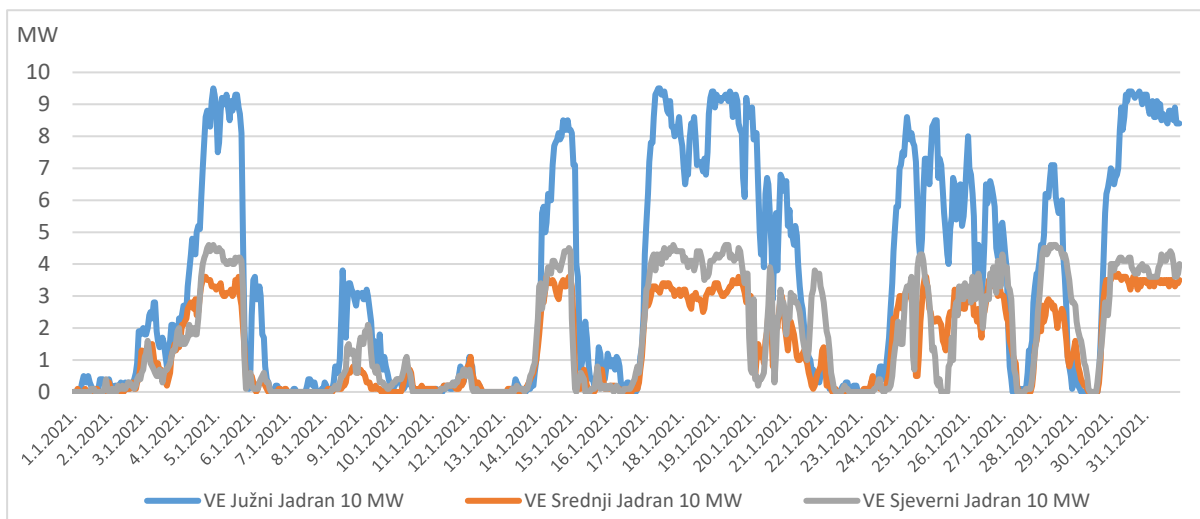
Izvor: Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. (2019). Integrirani nacionalni energetska i klimatski plan za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine. str. 182, https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Strategije,%20planovi%20i%20programi/hr%20necp/Integrirani%20nacionalni%20energetski%20i%20klimatski%20plan%20Republike%20Hrvatske%20%20_final.pdf (pristupljeno 2. veljače 2024.)

Prema podacima Ministarstva zaštite okoliša i energetike (2019) prikazanim na Grafikonu 36 očekuje se smanjenje promjena specifičnih troškova ulaganja u pojedine tehnologije do 2050. godine, posebice kod vjetroelektrana na moru i velikih fotonaponskih sustava (PV) te koncentracijskih sunčanih fotonaponskih elektrana (CPS) koje osiguravaju električnu energiju i nakon zalaska sunca. Stabilnost specifičnih troškova ulaganja pokazuju velike i male hidroelektrane (HE) i vjetroelektrane na kopnu. Neke od tehnologija obnovljivih izvora energije već u 2024. godini pokazuju značajno smanjenje troškova investicije u odnosu na prethodno razdoblje.

4.2.2. *Profil proizvodnje električne energije u elektranama*

Ulazni podaci o proizvodnji električne energije u elektranama određeni su prema ostvarenjima proizvodnje postojećih elektrana u hrvatskom elektroenergetskom sustavu na satnoj rezoluciji za jednu od prethodnih godina. Proizvodnja električne energije vjetroelektrana određena je prema zadanoj karakteristici “*fixed load*” u PLEXOS-u gdje je s pomoću ulazne datoteke definirana proizvodnja elektrana na satnoj razini, za svaki dan u godini. Modelom su simulirane tri različite vjetroelektrane (Južni Jadran, Srednji Jadran i Sjeverni Jadran). Elektrane proizvode različite količine električne energije ovisno o karakteristikama i potencijalima zabilježenim na određenom geografskom području smještaja elektrane. Na sličan način u modelu su napravljene simulacije za tri različite sunčane elektrane s obzirom na

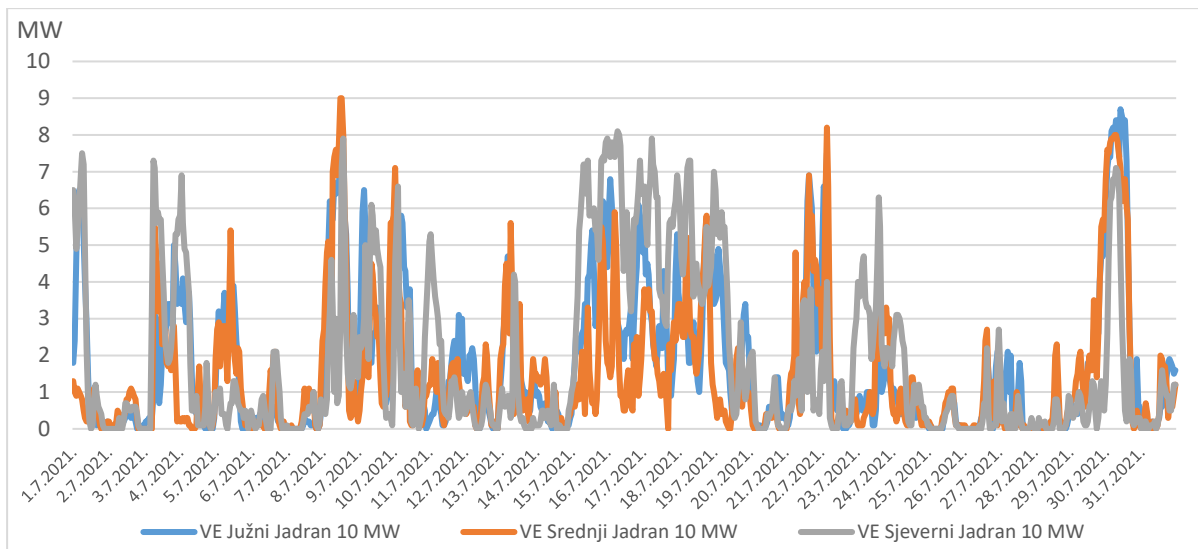
proizvodnju izmjerenu na pojedinim geografskim područjima Hrvatske (Dalmacija, Primorje i Unutrašnjost). Na Grafikonu 37 dan je pregled proizvodnje vjetroelektrana po područjima u siječnju mjesecu s time da, u svim godinama simulacije, elektrane proizvode po istom profilu, odnosno profil proizvodnje se ponavlja svake godine prema zadanim vrijednostima dobivenima na osnovi ostvarenja proizvodnje elektrana uključenih u elektroenergetski sustav.



Grafikon 37. Profili proizvodnje simuliranih vjetroelektrana u po područjima za mjesec siječanj
Izvor: Izrada autorice.

Iz Grafikona je vidljivo da je proizvodnja vjetroelektrana varijabilna i nepredvidiva što otežava planiranje njenog rada i generira veće troškove za uravnoteženje sustava. Volumen proizvodnje električne energije u vjetroelektranama približno je isti bez obzira na lokaciju elektrane, posebice za Srednji i Sjeverni Jadran čiji su profili gotovo jednaki. Također, se može primijetiti da sve tri elektrane uglavnom rade u isto vrijeme zbog sličnih meteoroloških prilika na sva tri područja. Najveću isplativost proizvodnja pokazuje u slučaju vjetroelektrane na području Južnog Jadrana jer ona proizvodi najviše električne energije.

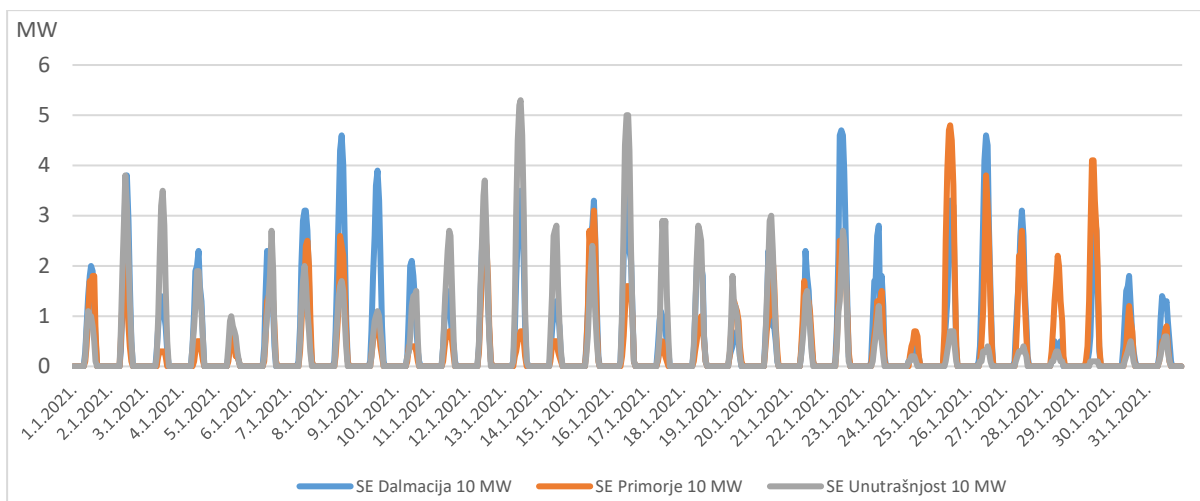
Na Grafikonu 38 prikazana je proizvodnja vjetroelektrana u ljetnom mjesecu (srpanj). Usporedbom s podacima proizvodnje električne energije prikazanim na Grafikonu 37 može se uočiti da proizvodnja električne energije u srpnju pokazuje veću varijabilnost u odnosu na siječanj. Osim toga vjetroelektrana u Južnom Jadranu ne proizvodi značajno više energije od onih u Srednjem i Sjevernom Jadranu, kao što je to bio slučaj za siječanj. Iako su u modelu korišteni ulazni podaci za proizvodnju električne energije za cijelu godinu zbog detaljne rezolucije podataka (1 h) i jednostavnosti prikaza, u doktorskom radu se prikazuju krivulje samo za dva mjeseca.



Grafikon 38. Profili proizvodnje simuliranih vjetroelektrana po područjima za mjesec srpanj
Izvor: Izrada autorice.

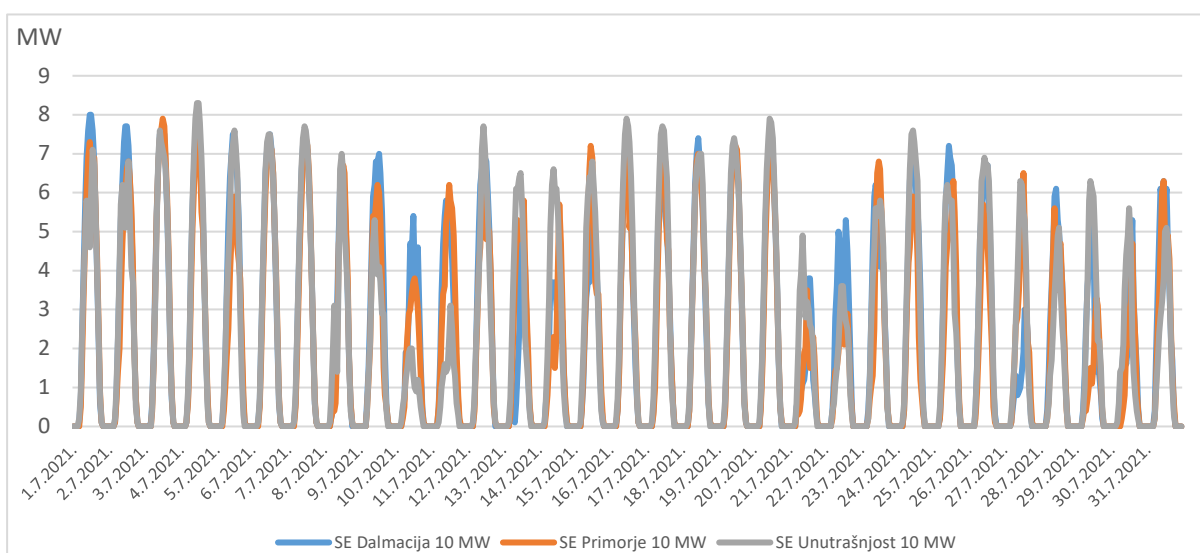
Proizvodnja električne energije u vjetroelektranama ovisi o povoljnosti klimatskih uvjeta, odnosno o brzini vjetra prihvatljivom za rad vjetroelektrane. Zbog toga elektrane unatoč nazivnoj snazi od 10 MW gotovo nikad ne rade na punoj snazi, a faktor iskorištenja snage im je relativno nizak. Općenito faktor iskorištenja snage vjetroelektrana je od 26 do 52 % (Center for Sustainable System (n.d.)).

Na Grafikonu 39 prikazan je pregled proizvodnje sunčanih elektrana po područjima obuhvaćenih istraživanjem (Dalmacija, Primorje i Unutrašnjost) u mjesecu siječnju. Iz grafikona je vidljivo da, za razliku od vjetroelektrana koje imaju varijabilnu i nepredvidivu proizvodnju električne energije, sunčane elektrane imaju stabilniji rad i kontinuiraniju proizvodnju električne energije tijekom istraživanog razdoblja simulacije rada elektrana. Količina proizvedene električne energije ovisna je o količini sunčeve energije tijekom dana te na razlike maksimalne proizvodnje po danima utječe trajanje osunčavanja tijekom dana. Iako su sunčane elektrane, kao i vjetroelektrane ovisne o klimatskim pogodnostima te količini sunčeve energije i energije pa prognoza njihovog rada predstavlja izazov, ono što je poznato je činjenica da tijekom noćnih sati sunčane elektrane ne mogu raditi. Ovaj faktor olakšava prognozu proizvodnje električne energije i planiranje rada sunčanih elektrana. Faktor iskorištenja snage za sunčane elektrane je, također, jako nizak i iznosi prosječno manje od 30 % (Boretti i dr. 2020), odnosno sunčane elektrane godišnje proizvedu manje od 30 % električne energije koju bi proizveli da cijelo vrijeme rade na maksimalnoj instaliranoj snazi.



Grafikon 39. Profil proizvodnje simuliranih sunčanih elektrana po istraživanim područjima u mjesecu siječnju
Izvor: Izrada autorice.

Na Grafikonu 40 prikazana je proizvodnja simuliranih sunčanih elektrana za srpanj u područjima istraživanja (Dalmacija, Primorje i Unutrašnjost). Mjesec srpanj je ljetni mjesec s prosječnom temperaturom zraka u: Dubrovniku od 25,2 °C i apsolutnim maksimumom od 38,6 °C te ukupnim trajanjem osunčavanja od 332,7 sati (u razdoblju od 1961. do 2022. godine), nešto nižim prosječni temperaturama zraka u Rijeci od 23,7 °C i apsolutnim maksimumom od 39,5 °C te ukupnim trajanjem osunčavanja od 302,2 sata (razdoblje 1948.-2022.) te najnižim prosječni temperaturama zraka u Osijeku od 21,0 °C i apsolutnim maksimumom od 40,3 °C te ukupnim trajanjem osunčavanja od 278,7 sati (razdoblje 1899.-2022.) (Državni hidrometeorološki zavod (n.d.).

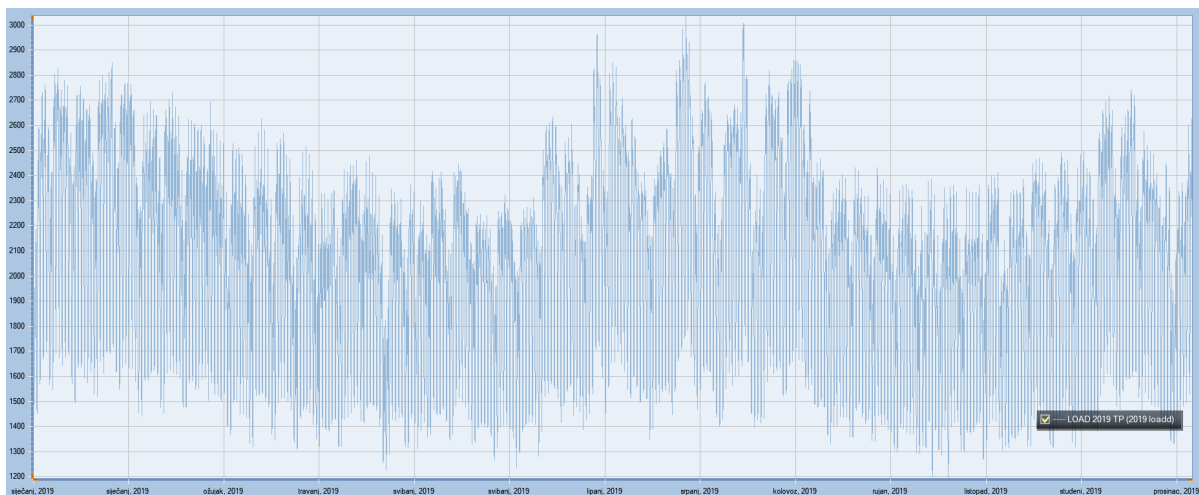


Grafikon 40. Profil proizvodnje simuliranih sunčanih elektrana po istraživanim područjima u mjesecu srpnju
Izvor: Izrada autorice.

Usporedbom podataka na Grafikonu 40 s podacima na Grafikonu 39 može se uočiti da sunčane elektrane proizvode znatno više električne energije proizvode u mjesecu srpnju što je i očekivano zbog dužeg trajanja osunčavanja tijekom dana.

4.2.3. Profil opterećenja sustava

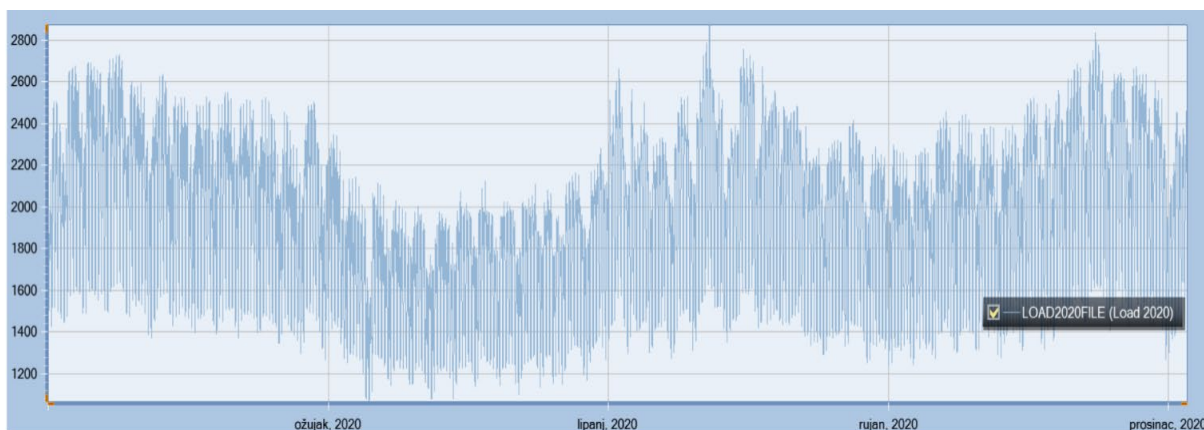
Važan podatak za izradu simulacije rada elektroenergetskog sustava, uz proizvodnju električne energije u elektranama, je i potreba sustava koju te elektrane trebaju zadovoljiti. Hrvatski elektroenergetski sustav ubraja se među manje elektroenergetske sustave. Njegovo je vršno opterećenje u 2019. godini iznosilo oko 3.000 MW (Grafikon 41).



Grafikon 41. Opterećenje elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske u 2019. godini (MWh)

Izvor: ENTSOE Transparency Platform. (2019). Total Load – Day Ahead / Actual, <https://transparency.entsoe.eu/load-domain/r2/totalLoadR2/show> (pristupljeno 1.4. 2022.)

U 2020. godini (Grafikon 42) potrošnja električne energije je bila znatno manja u odnosu na 2019. godinu te je vršno opterećenje iznosilo oko 2.800 MW. S obzirom na to da je 2020. godina bila pandemijska godina u kojoj je potrošnja električne energije bila znatno manja od očekivane, model se temelji na profilu potrošnje iz 2019. godine kao realnijem prikazu prilika u hrvatskom elektroenergetskom sustavu.



Grafikon 42. Opterećenje elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske u 2020. godini (MWh)

Izvor: ENTSOE Transparency Platform. (2019). Total Load – Day Ahead / Actual, <https://transparency.entsoe.eu/load-domain/r2/totalLoadR2/show> (pristupljeno 1.4. 2022.)

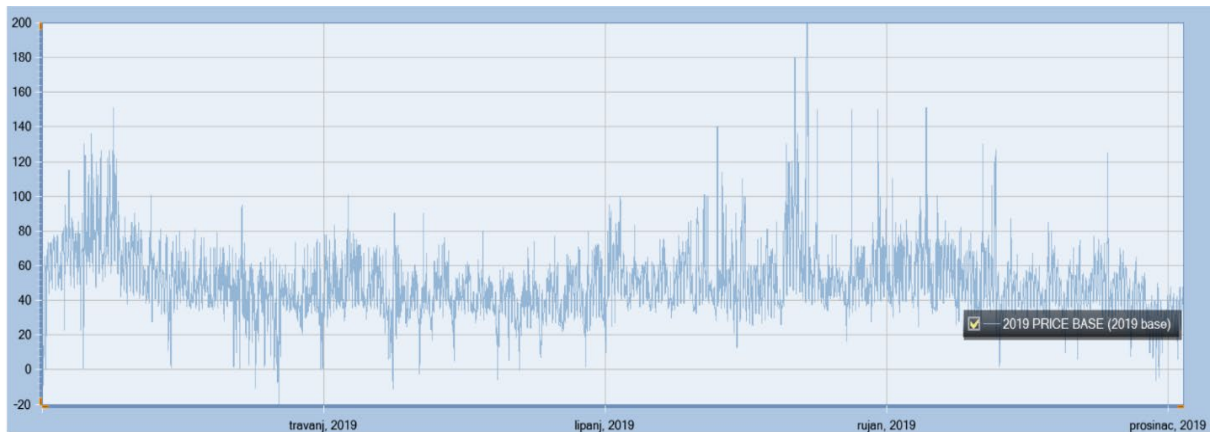
Iz Grafikona 42 može se vidjeti da se u hrvatskom elektroenergetskom sustavu vršna potrošnja posljednjih godina javlja u ljetnim mjesecima. Iznimka je 2020. godina u kojoj vršna potrošnja nije ostvarena u ljetnim mjesecima zbog pada turističkog prometa kao posljedica mjera za zaštitu od virusa COVID-19. U 2020. godini ostvareno je svega 35,8 % turističkih dolazaka i 44,7 % turističkih noćenja iz 2019. godine (Državni zavod za statistiku 2021). Općenito, kako je 2020. godina zbog pandemije po potrošnji, a i cijenama električne energije, daleko ispod očekivanih iznosa ona nije uzeta u obzir u modelu, iako su podatci za nju posljednji raspoloživi. Zbog specifičnosti 2020. godine ulazni inicijalni podaci za simulaciju o opterećenju i cijenama električne energije uzeti su za 2019. godinu kao posljednju relevantnu godinu.

4.2.4. Cijene električne energije

Isplativost i konkurentnost elektrana na obnovljive izvore energije najviše ovisi o cijenama električne energije na burzama. Ako je cijena na burzi viša od marginalne cijene proizvodnje električne energije iz elektrana na obnovljive izvore, elektrane su isplative te donose profit investitorima. Tijekom izrade modela prosječne cijene električne energije na burzi bile su niže od marginalne cijene sunčanih elektrana i vjetroelektrana te je država bila primorana kroz razne poticajne mjere investitorima nadoknaditi razliku između cijene na burzi i cijene po kojoj su oni bili spremni prodavati električnu energiju iz elektrana na obnovljive izvore energije kako bi ostvarili profit.

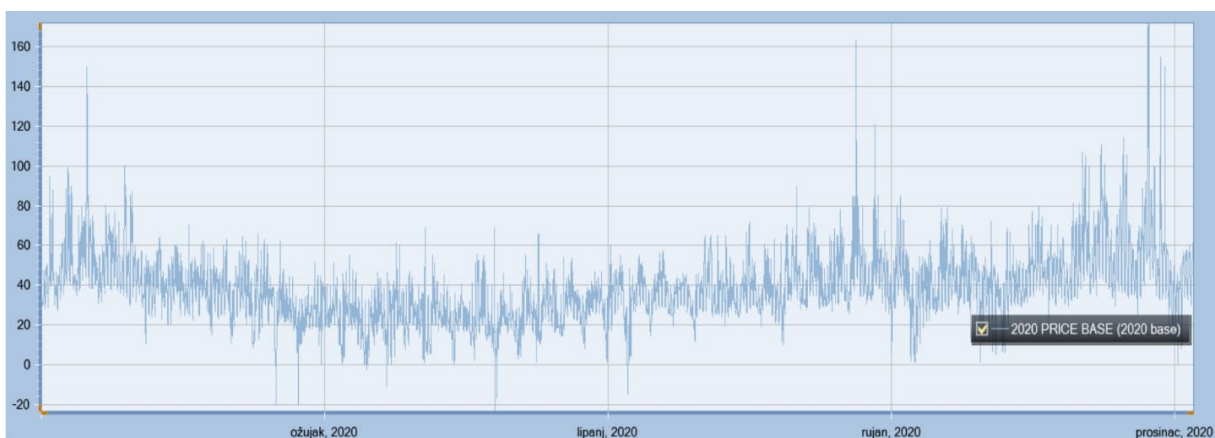
Kako bi se analizirala isplativost ulaganja u elektrane na obnovljive izvore napravljena je višegodišnja (25 godina) tehničko-ekonomska analiza rada vjetroelektrana i sunčanih elektrana ovisno o tržišnim prilikama. Elektrane u svim scenarijima modelirane su s prethodno

definiranim ulaznim podacima, a varijabilna komponenta je cijena električne energije na tržištu kroz godine. U “Scenariju 2019. konstanta” predviđeno je da će cijene električne energije ostati na razini onih u 2019. godini. Cijene s CROPEX dan unaprijed tržišta za 2019. godinu korištene su i za sve ostale godine simulacije (do 2046. godine). Kretanje cijena električne energije u 2019. godini prikazano je na Grafikonu 43.



Grafikon 43. Cijene električne energije na CROPEX DA u 2019. godini (EUR/MWh)
Izvor: Hrvatska burza električne energije, <https://www.cropex.hr/hr/> (pristupljeno 4. siječnja 2023.)

Referentna godina za cijene električne energije (kao i za opterećenje sustava) uzeta je 2019. godina. Zbog pandemije Covid-19, 2020. godina je imala neuobičajeno niske cijene električne energije koje se ne očekuju u budućnosti (Grafikon 44).

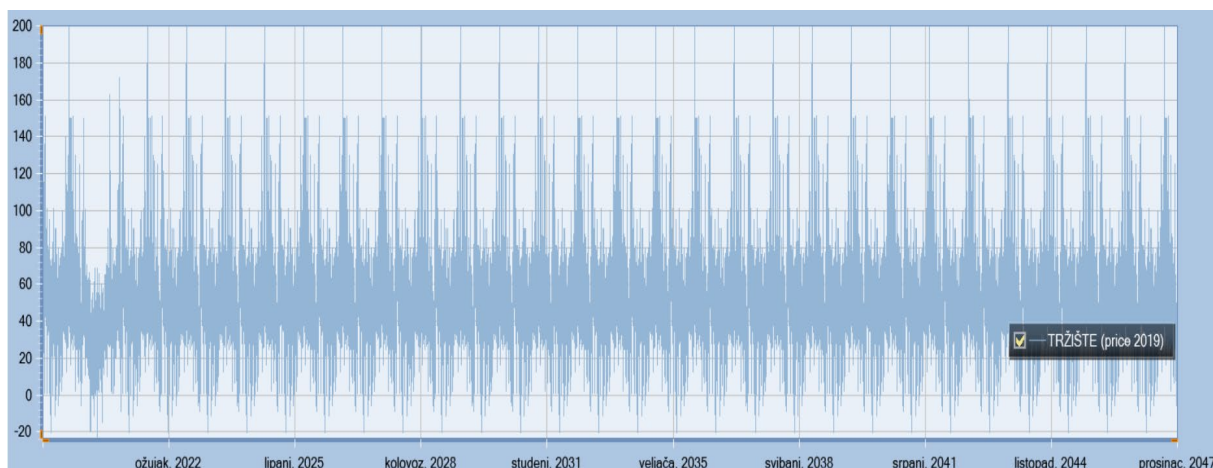


Grafikon 44. Cijene električne energije na CROPEX DA u 2020. godini (EUR/MWh)
Izvor: Hrvatska burza električne energije, <https://www.cropex.hr/hr/> (pristupljeno 4. siječnja 2023.)

Usporedbom Grafikona 43 (CROPEX DA 2019.) i Grafikona 44 (CROPEX DA 2020.) može se vidjeti da su cijene električne energije u 2020. godini bile prosječno oko 10 €/MWh ili 20 %

niže u odnosu na 2019. godinu. Smanjenje cijena je očekivano zbog niže potrošnje električne energije u 2020. godini, odnosno smanjenih potreba za električnom energijom.

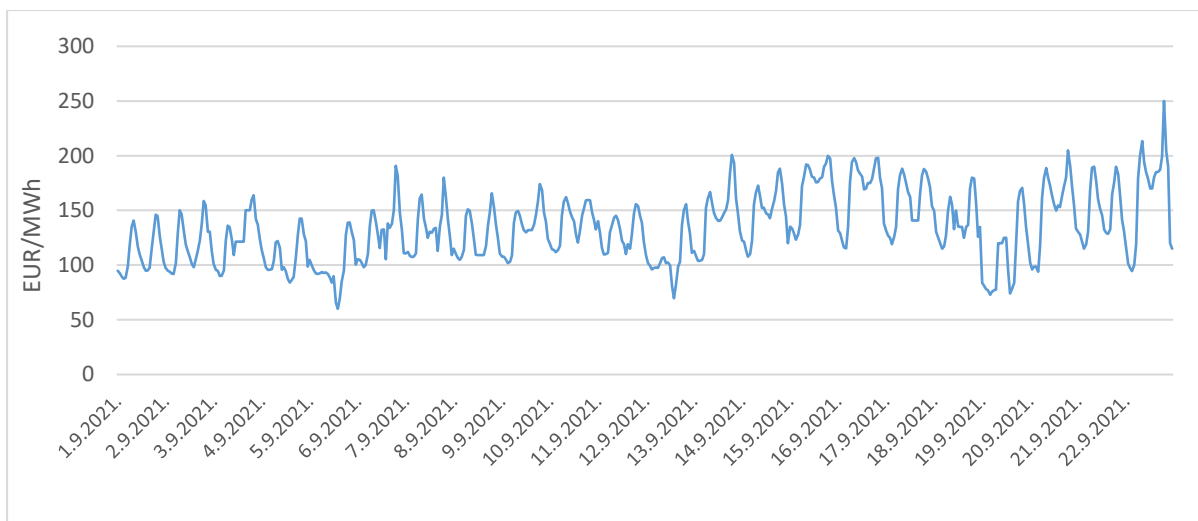
Na Grafikonu 45 prikazano je kretanje cijena kroz cijeli period (2022. do 2047) u Scenariju “2019. konst.” gdje je za sve godine (osim 2020. godinu za koju su korišteni podatci za tu godinu), cijena električne energije jednaka onima na CROPEX DA u 2019. godini.



Grafikon 45. Cijene električne energije na tržištu u dugoročnom modelu za scenarij s konstantnim cijenama kao u 2019. godini (EUR/MWh)

Izvor: Hrvatska burza električne energije, <https://www.cropep.hr/hr/> (pristupljeno 4. siječnja 2023.)

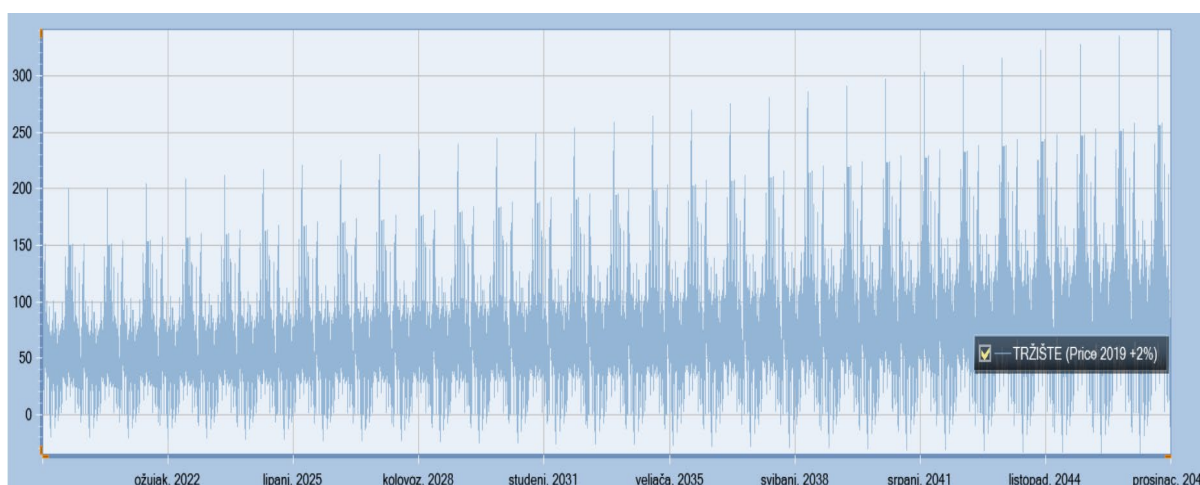
Scenarij “2019. konst.” prema kojemu bi se cijene zadržale na razini onih iz 2019. godine nije izvjestan. U prilog tome idu i predviđanja u Strategiji energetske razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu (2020) o porastu cijena električne energije zbog porasta cijena emisijskih jedinica za CO₂. Prema Strategiji (2020) porast cijena emisija i energenata za proizvodnju energije u termoelektranama (plina, nafte i ugljena) povisit će cijene električne energije te obnovljive izvore učiniti konkurentnima i bez dodatnih poticaja. U rujnu 2021. godine cijena električne energije na CROPEX DA tržištu dostizala je i 200 €/MWh (Grafikon 46), dok je iz Grafikona 43 i Grafikona 44 vidljivo da tijekom 2019. godine, a posebice u 2020. godine, cijena električne energije na CROPEX-u nije prelazila 200 EUR/MWh. Pretpostavke iz Strategije već su bile vidljive u 2021. godini te su cijene emisija u rujnu 2021. godine na tržištu dosegle vrijednost od oko 60 €/toni (EMBER 2021). Kako bi se vidjelo kako porast cijene električne energije utječe na isplativost, odnosno konkurentnost obnovljivih izvora napravljani su scenariji u kojima osnovna cijena električne energije iz 2019. godine raste 2, 4 i 6 % godišnje od 2021. do 2046. godine.



Grafikon 46. CROPEX DA cijena električne energije, rujan 2021.

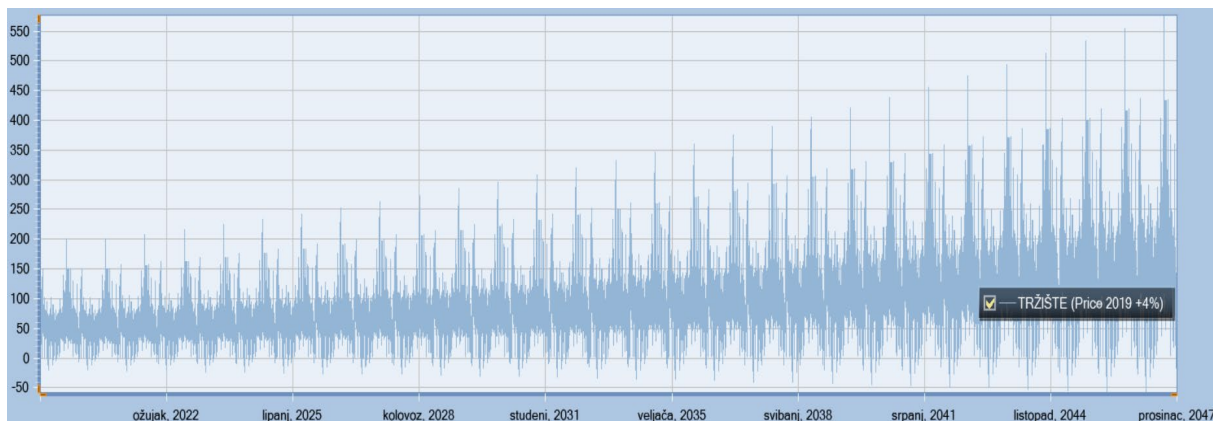
Izvor: Hrvatska burza električne energije n.d. <https://www.cropep.hr/hr/o-nama.html> (10. lipnja 2023.)

Profil kretanja cijena do 2021. godine napravljen je kroz alat PLEXOS uz funkcionalnost koja se inače koristi za predviđanje rasta opterećenja elektroenergetskog sustava (engl. *Load forecasting*). Zadan je osnovni profil – CROPEX DA cijene iz 2019. godine te je definirano da ukupna suma svih cijena i godišnji maksimum raste za 2, 4 ili 6 % ovisno o scenariju. Tako pripremljeni podatci prikazani su na Grafikonima 47, 48 i 49, na kojima se jasno vidi postepeni rast cijena do 2046. godine. S obzirom na to da na cijene električne energije utječe značajan broj navedenih čimbenika te nije moguće dati preciznu procjenu kretanja cijena u idućih 25 godina u analizi je promatrano nekoliko različitih scenarija kako bi se istražila veza između cijena električne energije i financijskog tijeka projekta investicije u obnovljive izvore.



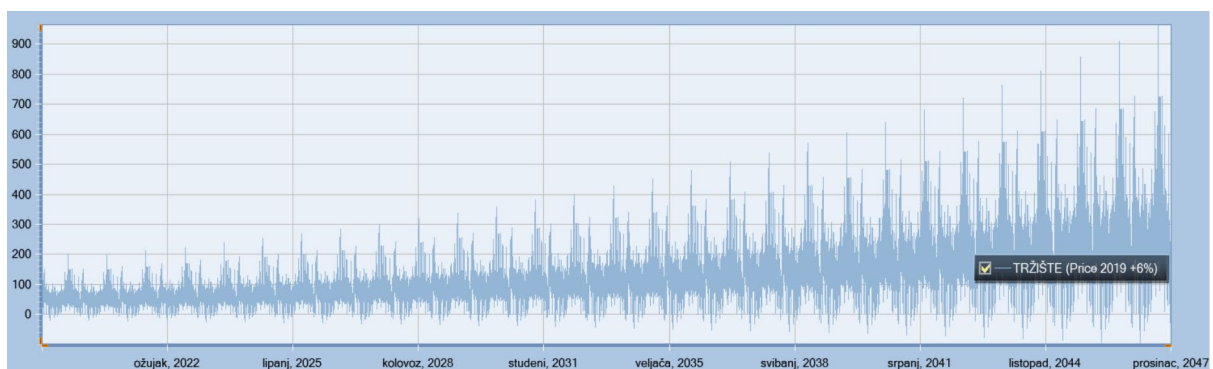
Grafikon 47. Cijene električne energije na tržištu u dugoročnom modelu za scenarij s početnom cijenom iz 2019. godine i rastom od 2 % godišnje (EUR/MWh)

Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.



Grafikon 48. Cijene električne energije na tržištu u dugoročnom modelu za scenarij s početnom cijenom iz 2019. godine i rastom od 4 % godišnje (EUR/MWh)

Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.



Grafikon 49. Cijene električne energije na tržištu u dugoročnom modelu za scenarij s početnom cijenom iz 2019. godine i rastom od 6 % godišnje (EUR/MWh)

Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Nakon što su definirani parametri potencijalnih novih elektrana na obnovljive izvore energije i zadani temeljni ulazni parametri opterećenje sustava i cijena električne energije na burzi u programskom alatu PLEXOS namješteni su parametri simulacije. Promatrano razdoblje je 25 godina (od 2021.-2046. godine). Dugoročni plan je zbog ograničenja u modelu i parametara vezanih uz izgradnju ostalih komponenti trebao biti postavljen na 2015. godinu, dok su se detaljni podatci o radu elektrana pratili od 1. 1. 2021. u satnoj rezoluciji. U toj kratkoročnoj analizi koja uzima u obzir tehnička ograničenja poput tokova u mreži, točne ulazne podatke o opterećenju i proizvodnim karakteristikama na satnoj razini korak simulacije je bio 14 dana. Dugoročno planiranje, u kojem se ne optimizira točan rad elektrana već se prati kada je optimalno izgraditi nove proizvodne kapacitete i prema tome se računaju investicijski i drugi dugoročni troškovi izgradnje sustava, simulirano je u jednom koraku od 32 godine. Za dugoročna planiranja je bolje kada je optimizacija odrađena u jednom velikom koraku jer se tako može sagledati cijeli horizont iako simulacija traje duže, dok kraći koraci ubrzavaju

izračun ali imaju i nižu razinu točnosti. Na Slici 1 dan je pregled postavki za planirani vremenski horizont modela u PLEXOS-u.

The image shows two configuration windows from the PLEXOS software. The top window, titled "Planning Horizon", has the following settings: "Begin On:" 1. siječnja 2015., "Run for:" 32 Year, "End On:" 31. prosinca 2046., "Interval Length:" 1 Hour, "Days Begin:" 12:00 AM, "Years End:" December, and "Weeks Begin:" Monday. The bottom window, titled "ST Schedule", has "Full Chronology" selected, "Synchronize to Planning Horizon" checked, "Begin at interval:" 1, "Run:" 678 step(s) of 14 Day, "End at interval:" 24, "Additional Look-ahead" checked, "Length:" 1 Day(s), "Resolution:" 1 Hour, and "Total Chrono Step: 14 Day".

Slika 1. Postavke za promatrani vremenski horizont simulacije u PLEXOS-u
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Za dugoročni plan u simulacijama je uzeta diskontna stopa od 7 %. Na slikama 2 i 3. prikazane su ostale korištene postavke za LT plan (dugoročno planiranje) i ST plan (kratkoročno planiranje) u PLEXOS-u.

The image shows the "LT Plan" configuration window in PLEXOS. The "Name" is "Long term". Under "Step Size", "Step Size (years):" is 32 and "Overlap (years):" is 0. Under "Chronology", "Partial" is selected. Under "One Duration Curve each:", "Year" is selected. Under "Slicing Method", "Peak/Off-peak Bias" is selected. Under "Sample", "Sample:" is 5 per Year. The "Discounting" section has "Discount Rate (%):" 7, "End Effects Method:" Perpetuity, "Discount/Expansion Period:" Year, "Always Annualize Build Cost" checked, "Depreciation Method:" None, "Tax Rate (%):" 0, and "Inflation Rate (%):" 0. The "Expansion Algorithm" section has "Expansion Decisions Integer Optimality:" Integer, "Integerization Horizon (years):" -1, and "Allow Capacity Sharing" checked. The "Solution Hierarchy" section has "Number of Solutions:" 1 and "Solution Quality (%):" 0. The "Outages" section has "Use Effective Load Approach" checked, "Compute Reliability Indices" checked, "Compute Multi-area Reliability Indices" checked, "Outage Increment (MW)" 10, and "Maintenance Scheduling" checked. The "Stochastic Method" section has "Deterministic" selected. The "Transmission" section has "Nodal" selected. The "Heat Rate" section has "Simplest" selected. The "Pricing" section has "Generation Pricing Method:" Average, "Start Cost Amortization (hrs):" 0, and "Make Capacity Payments" checked. At the bottom, there are buttons for "Open Solution", "Split Execution", "Execute in Connect", "Execute", "Defaults", "OK", and "Cancel".

Slika 2. Karakteristike za dugoročni plan (dugoročno planiranje) simulacije u PLEXOS-u
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

The image shows a configuration window for a simulation in PLEXOS. It contains several sections with radio button options and input fields:

- Transmission Detail:** Radio buttons for Regional, Zonal, and Nodal. Nodal is selected.
- Heat Rate:** Radio buttons for Detailed, Simple, and Simplest. Simple is selected.
- Stochastic Method:** Radio buttons for Deterministic, Sequential Monte Carlo, Parallel Monte Carlo, and Stochastic. Deterministic is selected.
- Step Link Mode:** Radio buttons for Link and Break. Link is selected.
- Step Skipping:** A numeric input field with a spinner, currently set to 0.
- Discounting:**
 - Discount Rate (%): A numeric input field with a spinner, currently set to 0.
 - End Effects Method: Radio buttons for None and Perpetuity. Perpetuity is selected.
 - Discount Period: Radio buttons for Hour, Day, Week, Month, Quarter, and Year. Week is selected.

Slika 3. Karakteristike za srednjoročni plan (kratkoročno planiranje) simulacije u PLEXOS-u
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Odabran solver korišten za simulaciju bio je Xpress- MP. PLEXOS nudi mogućnost kreiranja izvještaja s unaprijed odabranim parametrima, a za ovu analizu promatrani su izlazni podatci o proizvodnji električne energije i cijeni električne energije na tržištu iz srednjoročnog plana te godišnji investicijski i ukupni troškovi iz dugoročnog plana. Na temelju ovih podataka napravljena je ekonomska analiza isplativosti investiranja u vjetroelektrane i sunčane elektrane.

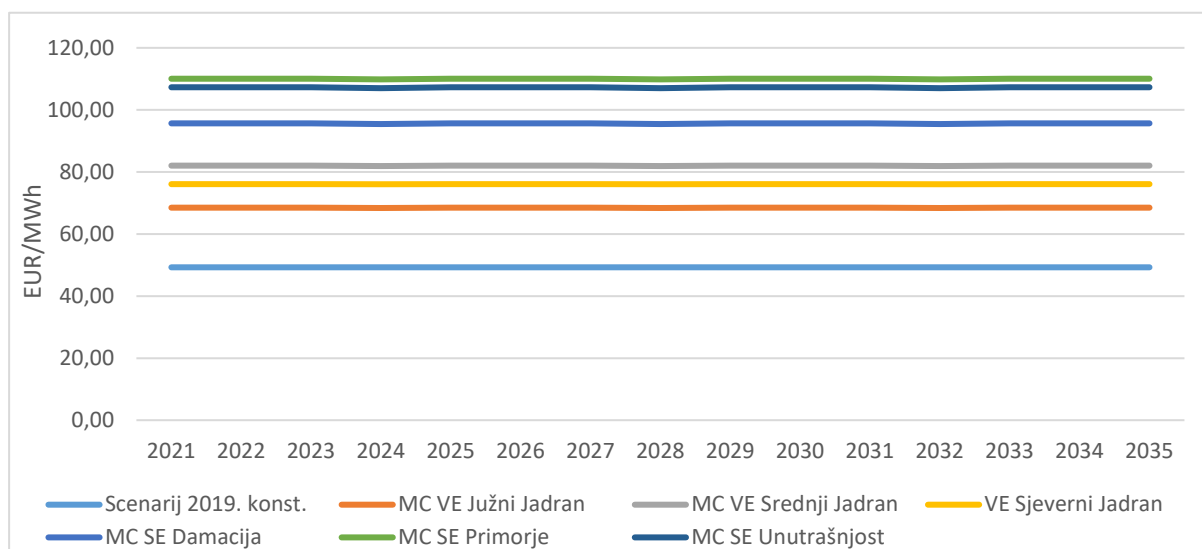
4.3. Ekonomska analiza isplativosti investiranja u vjetroelektrane i sunčane elektrane

U ovom dijelu doktorskog rada prikazani su rezultati istraživanja ekonomske isplativosti investiranja u vjetroelektrane i sunčane elektrane u tri scenarija s različitim cijenama električne energije.

4.3.1. Scenarij s cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine

Na osnovi rezultata dugoročnih simulacija iz PLEXOS-a izračunate su prosječne marginalne cijene proizvodnje iz vjetroelektrana i sunčanih elektrana na definiranim područjima (Prilog 1). Korištene su iste cijene za sve vjetroelektrane i sunčane elektrane u scenarijima koje ovise o troškovima izgradnje i održavanja koji nisu mijenjani po scenarijima i proizvodnji električne

energije iz scenarija. U scenariju u kojemu je predviđeno da će cijena električne energije ostati na razini onih iz 2019. godine za cijeli promatrani vremenski horizont, odnosno do 2035. godine kada završava ekonomski vijek elektrana, odnosno do kada bi one trebale biti otplaćene, niti jedna elektrana ne postiže cjenovnu konkurentnost. S fiksnom cijenom iz 2019. godine niti jedna elektrana u tom razdoblju ne bi investitorima donijela profit, a prihod ostvaren od prodaje električne energije ne bi bio dovoljan čak ni za pokrivanje investicijskih troškova koji se plaćaju kreditom na rok od 15 godina. Kako je tehnički vijek (razdoblje za koje je predviđeno da će elektrana raditi s obzirom na svoja tehnička ograničenja) 25 godina za vjetroelektrane i 30 godina za sunčane elektrane postoji vjerojatnost da će u sljedećim godinama elektrana donositi profit, ali nije realno očekivati da će investitori čekati 15 godina da bi im se investicija počela vraćati u elektranama s relativno kratkim životnim vijekom. Detaljnija analiza prikazana je kroz grafički prikaz ekonomskog tijeka procesa za svaku pojedinu elektranu u scenariju.

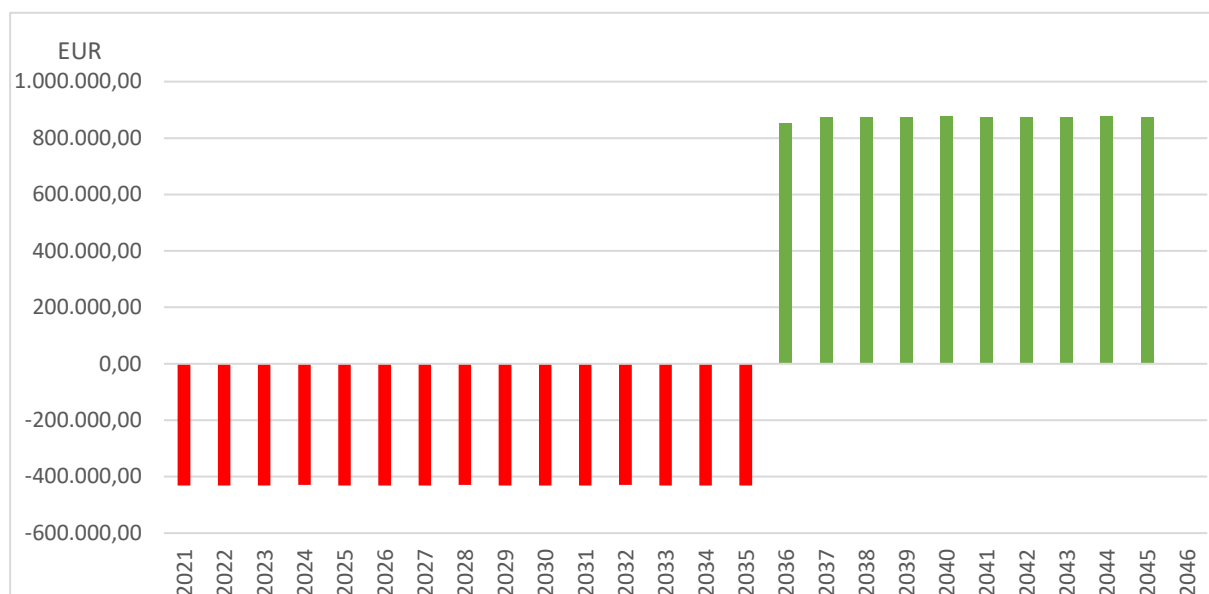


Grafikon 50. Usporedba marginalnih cijena (MC) sunčanih elektrana i vjetroelektrana s cijenama na tržištu u scenariju "2019 konst."

Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Iz Grafikona 50 vidljivo je da najvišu marginalnu cijenu imaju sunčane elektrane u području Primorja dok najmanju imaju vjetroelektrane u području Južnog Jadrana. Podaci sugeriraju na veću isplativost investiranja u vjetroelektrane nego u sunčane elektrane zbog nižih marginalnih cijena od sunčanih elektrana za sva tri područja. Međutim, njihova marginalna cijena nije niža od prosječne cijene na tržištu električne energije u 2019 godini. Kako se prema cijenama koje su ostvarene na CROPEX dan unaprijed tržištu 2019. godine ne isplati investirati u ove elektrane bez dodatnih poticaja napravljeni su scenariji s porastom cijene od 2, 4 i 6 % godišnje.

Na Grafikonu 51 prikazan je ekonomski tijek projekta investiranja u vjetroelektranu s karakteristikama postojećih vjetroelektrana na području Južnog Jadrana u elektroenergetskom sustavu Republike Hrvatske.



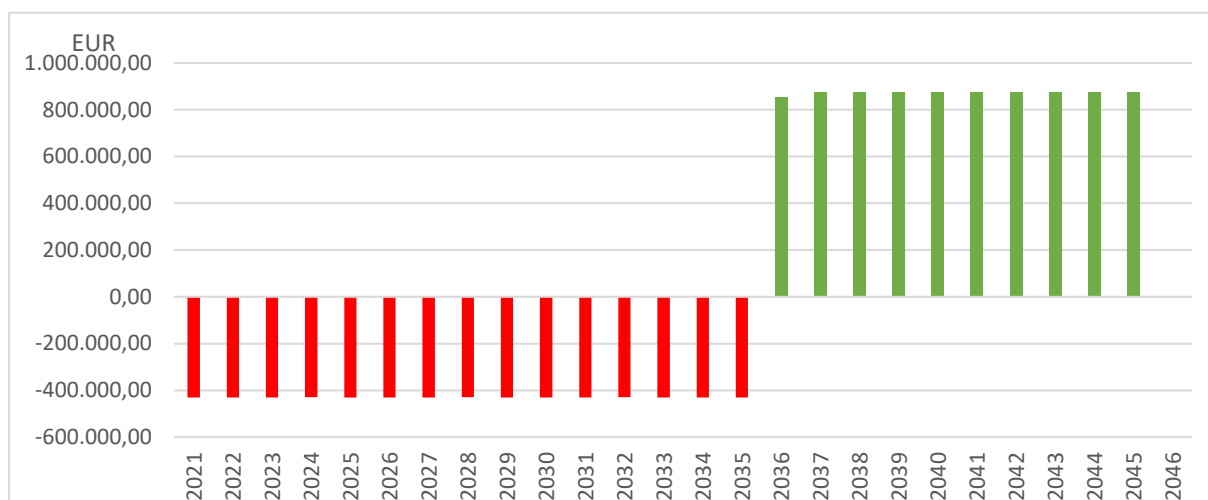
Grafikon 51. Preneseni prihodi za vjetroelektranu Južni Jadran u Scenariju “2019. konst.”

Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Grafikon 51 prikazuje netirani (preneseni) prihod na godišnjoj razini, odnosno od prihoda elektrane oduzet je ukupni trošak elektrane koji sadrži i investicijske i operativne troškove rada i održavanja elektrane. Iz grafikona je vidljivo da prvih 15 godina, u kojima se otplaćuju investicijski troškovi elektrana, posluje s gubitkom, a dobitak ostvaruje tek u 2036. godini. Tijekom 25 promatranih godina, prema simulaciji dobivenoj u PLEXOSU, ova elektrana ukupno ostvari 2.261.765,68 EUR dobiti, no dobit ostvaruje tek u zadnjim godinama, dok prvih 15 godina elektrana ne zarađuje dovoljno čak ni da bi pokrila investicijske troškove (kreditno opterećenje) za tekuću godinu, što bi značilo da bi investitor trebao imati dodatni izvor prihoda za podmirivanje investicijskih troškova (kreditne obveze i troškovi održavanja elektrane). Dakle, ako bi cijene električne energije na tržištu ostale na razini onih iz 2019. godine te se investicijski troškovi ne bi značajno smanjili, vjetroelektrane ne bi bile konkurentne na tržištu te bi u cilju održivog razvoja elektroenergetskog sustava trebalo pronaći dodatne modele za sufinanciranje njihove proizvodnje, u cilju smanjenja negativnog utjecaja na okoliš i zadovoljavanja zahtjeva za smanjenjem emisija CO₂.

Na Grafikonu 52 prikazan je ekonomski tijek projekta za vjetroelektranu na području Srednjeg Jadrana koje kao i one za područje Južnog Jadrana ne mogu svojom proizvodnjom pokriti investicijske troškove u prvih 15 godina u kojima je planirano vraćanje kredita svođenjem cijene električne energije iz elektrana na prosječnu cijenu električne energije s

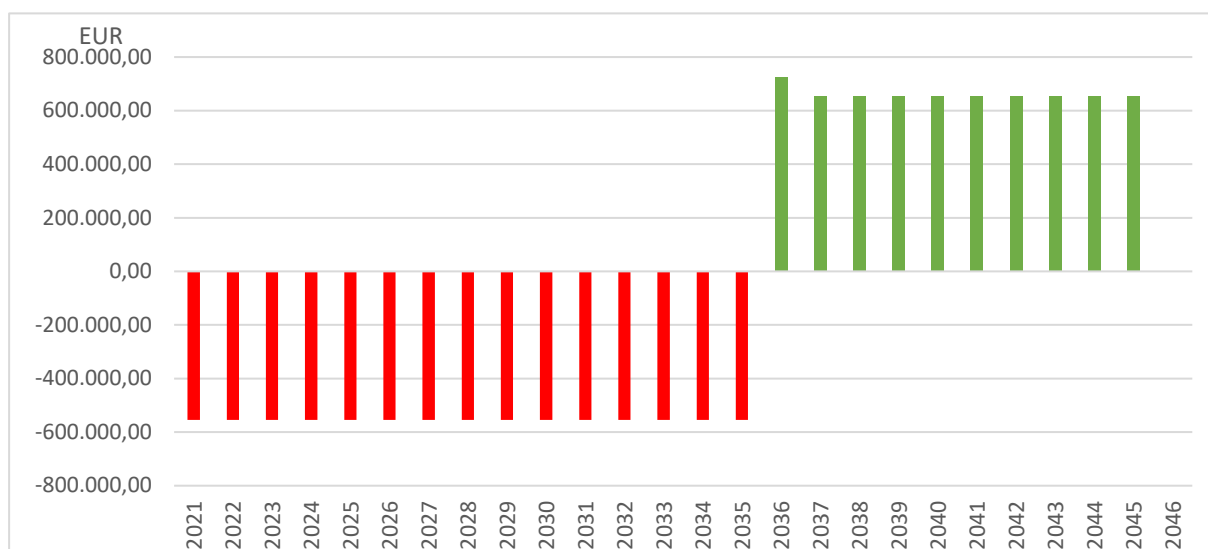
CROPEX-a u 2019. godini. Za razliku od elektrane u području Južni Jadran, ova elektrana za cijelog svog radnog vijeka ne bi donijela nikakvu dobit već bi projekt, na kraju nakon 25 godina, završio s gubitkom od 2.391.692,96 eura.



Grafikon 52. Preneseni prihodi za vjetroelektranu Srednji Jadran u Scenariju “2019. konst.”

Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Na Grafikonu 53 prikazan je ekonomski tijek projekta za vjetroelektranu na području Sjevernog Jadrana.



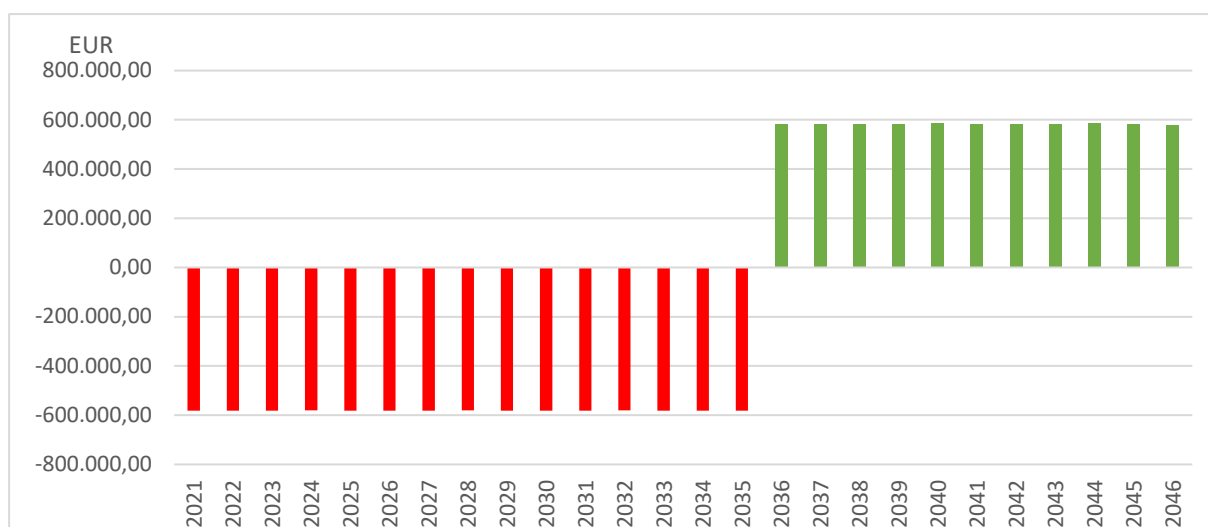
Grafikon 53. Preneseni prihodi za vjetroelektranu Sjeverni Jadran u Scenariju “2019. konst.”

Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Iz podataka na Grafikonu 53 može se vidjeti da vjetroelektrana Sjeverni Jadran svojom proizvodnjom, odnosno prodajom električne energije, po cijeni ostvarenoj na CROPEX-u iz 2019. godine, ne može pokriti investicijske troškove u prvih 15 godina u kojima je planirano vraćanje kredita. Slično kao i za Srednji Jadran, ova elektrana za cijelog svog radnog vijeka ne

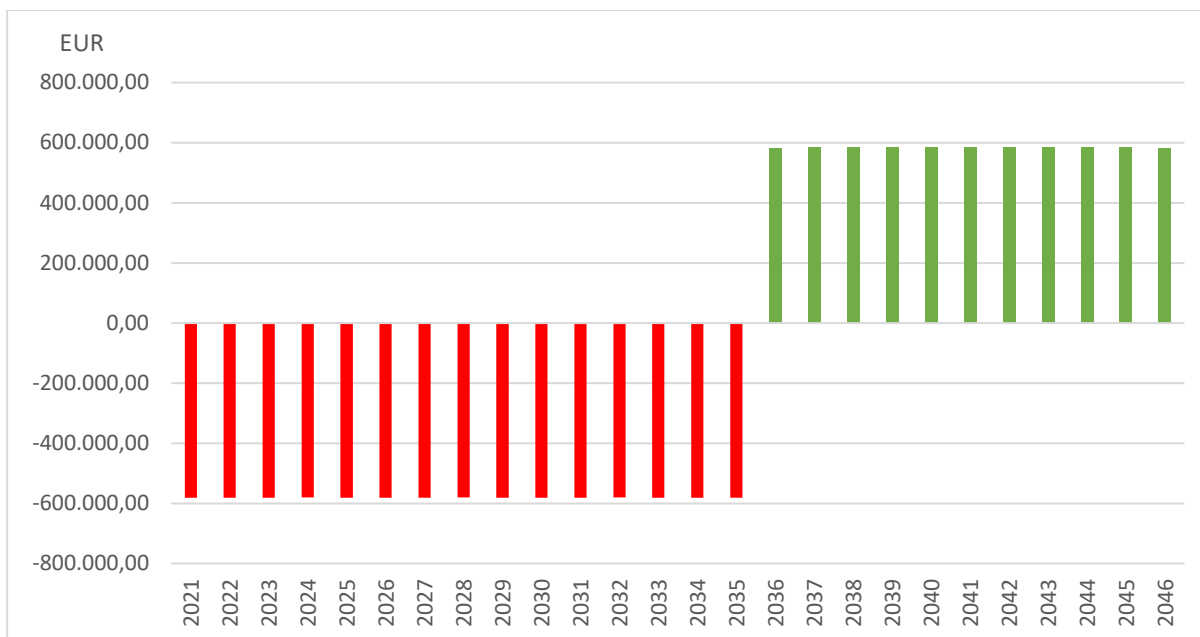
bi donijela nikakvu dobit već bi projekt nakon 25 godina rada vjetroelektrane završio s gubitkom 1.710.409,09 EUR.

Na Grafikonu 54 prikazan je ekonomski tijek projekta za sunčanu elektranu na području Dalmacije koja bi nakon 25 godina rada, promatranih u simulaciji, završila s gubitkom od 2.293.172,21 eura. Iako sunčane elektrane imaju duži životni vijek od vjetroelektrana (oko 30 godina) pretpostavlja se da i u tih dodatnih 5 godina dobit ne bi bila značajna te da ni ovaj projekt ne bi bio isplativ. U prvih 15 godina, u kojima se vraćaju investicijski troškovi, projekt bi rezultirao sa 600 tisuća eura nepokrivenih investicijskih troškova za tekuću godinu te ni ovaj projekt nije prihvatljiv bez značajnih poticaja odnosno bez opterećenja državnog proračuna.



Grafikon 54. Preneseni prihodi za sunčanu elektranu na području Dalmacije u Scenariju “2019. konst.”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Grafikon 55 daje uvid u ekonomski tijek projekta za sunčanu elektranu na području Primorja, koja bi nakon 25 godina rada, promatranih u simulaciji, završila s gubitkom od 4.723.818,22 eura. Ni ova sunčeva elektrana kao ni sunčana elektrana na području Dalmacije nema ekonomsku isplativost u slučaju da cijena električne energije ostane na razini CROPEX-a iz 2019. godine.



Grafikon 55. Preneseni prihodi za sunčanu elektranu na području Primorja u Scenariju “2019. konst.”

Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Na Grafikonu 56 prikazan je ekonomski tijek projekta za sunčanu elektranu na području Unutrašnjosti koja bi nakon 25 godina rada, koje su promatrane u simulaciji, završila s gubitkom od 4.487.628,74 eura.



Grafikon 56. Preneseni prihodi za sunčanu elektranu na području Unutrašnjosti u Scenariju “2019. konst.”

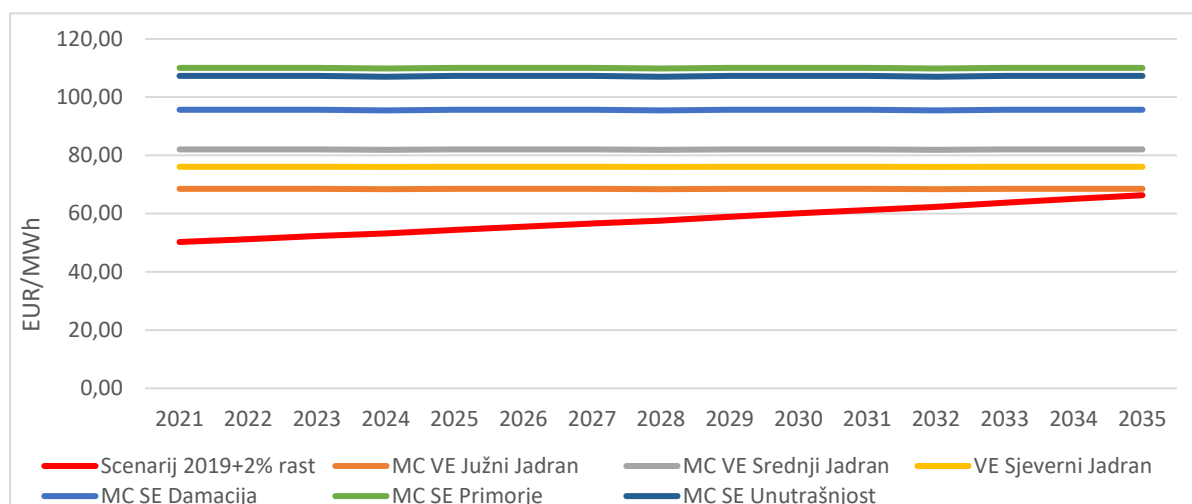
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Prema rezultatima za Scenarij “2019. konst.” jasno je da ako bi cijene električne energije ostale na razini onih iz 2019. godine, a investicijski se troškovi ne bi značajnije smanjili, investiranje u vjetroelektrane i sunčane elektrane na području Republike Hrvatske ne bi bilo isplativo bez značajnijih poticaja.

Rezultati za Scenarij “2019. konst.”, u kojem cijene električne energije ostaju na razini onih iz 2019. godine, jasno pokazuju da je za konkurentnost vjetroelektrana i sunčanih elektrana nužan ili rast cijena električne energije ili pad investicijskih troškova. Stoga su napravljene projekcije scenarija s rastom cijena električne energije od 2, 4 i 6 % godišnje.

4.3.2. Scenarij s cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine s porastom od 2%

U Scenariju “2019 +2 % godišnje” (Prilog 2) istražuje se ekonomska isplativost izgradnje sunčanih elektrana i vjetroelektrana s cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine povećanim za 2 %. Grafikon 57 pokazuje odnos marginalnih cijena vjetroelektrana i sunčanih elektrana i cijene električne energije formirane na CROPEX-u 2019. godine uvećane za 2 %.



Grafikon 57. Usporedba MC (marginalne cijene) SE i VE elektrana s cijenama na tržištu u scenariju “2019 +2 % godišnje”

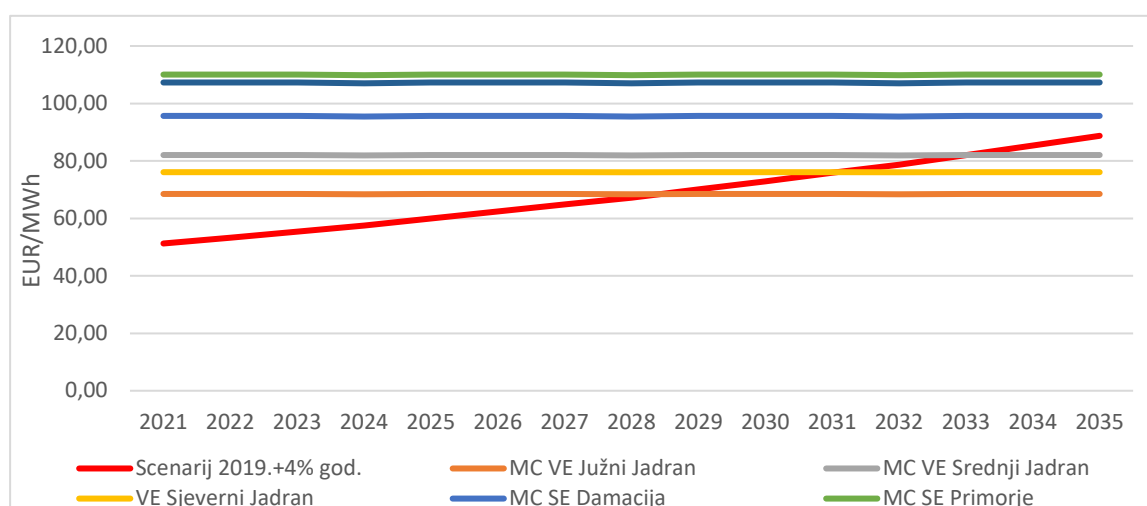
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Krivulja prosječnih godišnjih cijena CROPEX-a iz 2019. godine na Grafikonu 57 ne siječe krivulje s marginalnim cijenama analiziranih vjetroelektrana i sunčanih elektrana te se može zaključiti kako ni ovi projekti, kao ni u scenariju s konstantnim cijenama CROPEX-a iz 2019. godine, ne bi bili isplativi pa nisu detaljnije analizirani.

4.3.3. Scenarij s cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine s porastom od 4 %

Scenarij “2019 +4 % godišnje” (Prilog 3) obuhvaća analizu isplativosti izgradnje sunčanih elektrana i vjetroelektrana s prodajnim cijenama električne energije na razini prosječne cijene s CROPEX-a u 2019. godini, uvećane za 4 %.

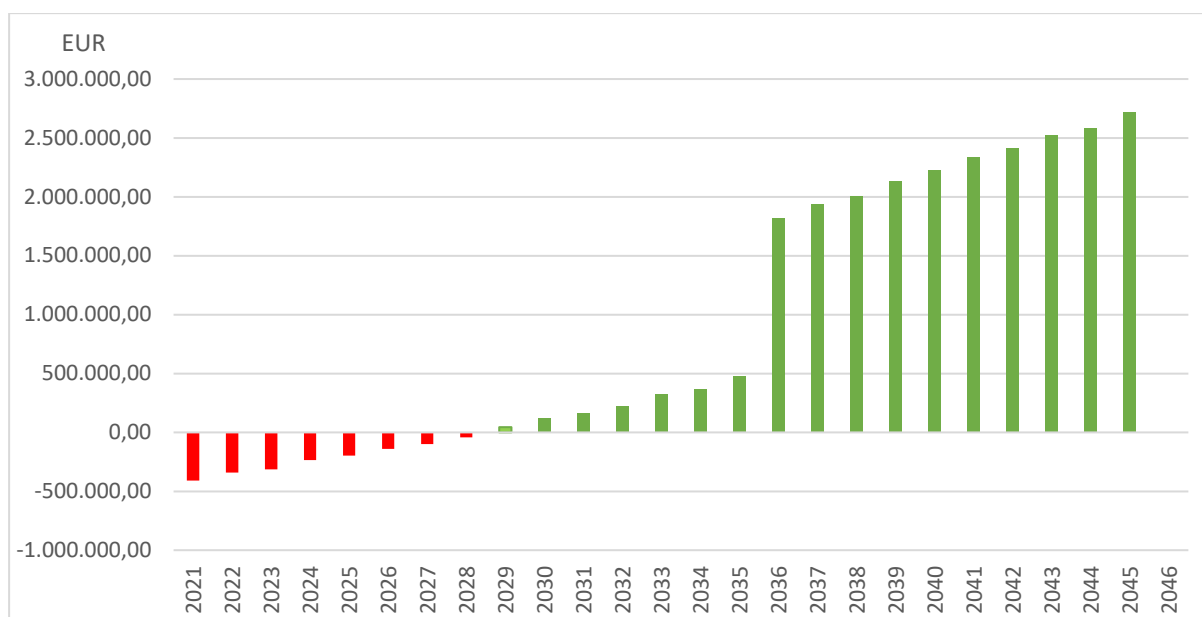
Na Grafikonu 58 dana je usporedba marginalnih cijena proizvedene električne energije iz sunčanih i vjetroelektrana na području Republike Hrvatske s prosječnom cijenom električne energije na tržištu. U ovom scenariju osnovni profil kretanja cijena jednak je onome na CROPEX DA tržištu 2019. godine, s time da cijene rastu s godišnjom stopom od 4 %. Iz grafikona je vidljivo da krivulja koja se odnosi na prosječnu cijenu na tržištu siječe krivulju s marginalnim cijenama vjetroelektrana te će ovaj scenarij pokazati konkurentnost elektrana u prvih 15 godina projekta. Sunčane elektrane su, međutim, i u ovome scenariju nekonkurentne te je proizvodnja električne energije iz ovih elektrana uvijek ispod granice isplativosti i nedostatna za pokriće investicijskih troškova samih elektrana.



Grafikon 58. Usporedba marginalne cijene sunčanih elektrana i vjetroelektrana s cijenama električne energije na tržištu u scenariju “2019 +4 % godišnje”

Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

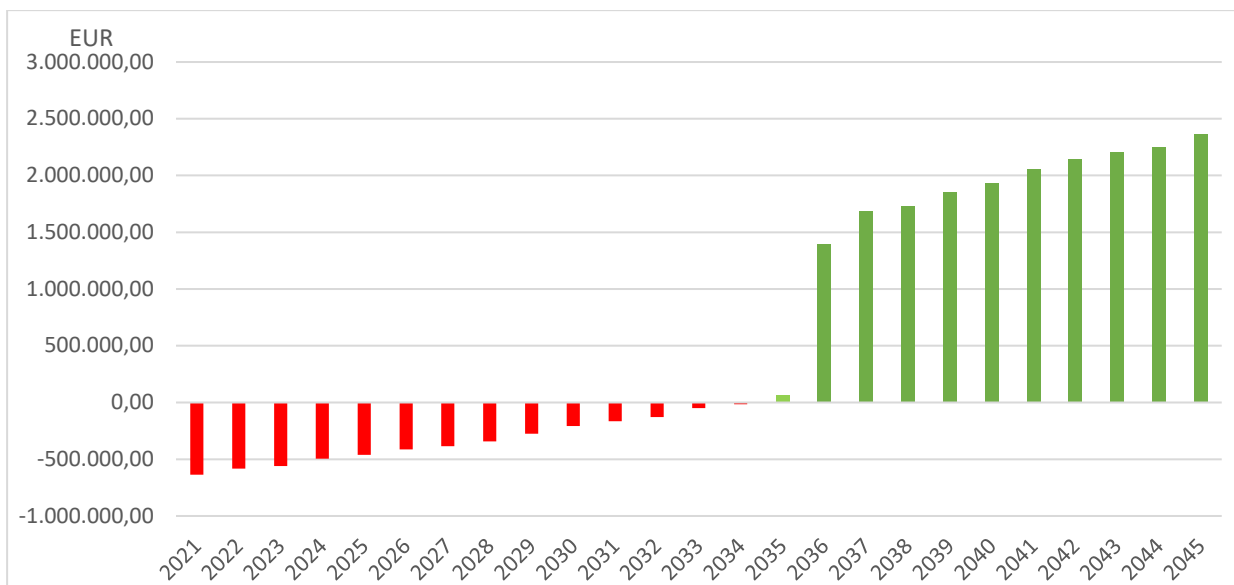
Grafikon 59 daje uvid u ukupne prenesene prihode po godinama za vjetroelektranu snage 10 MW na području Južnog Jadrana u scenariju s godišnjim rastom cijene iz 2019. godine od 4 % godišnje.



Grafikon 59. Preneseni prihodi za vjetroelektrane Južni Jadran u Scenariju “2019. +4 % godišnje”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

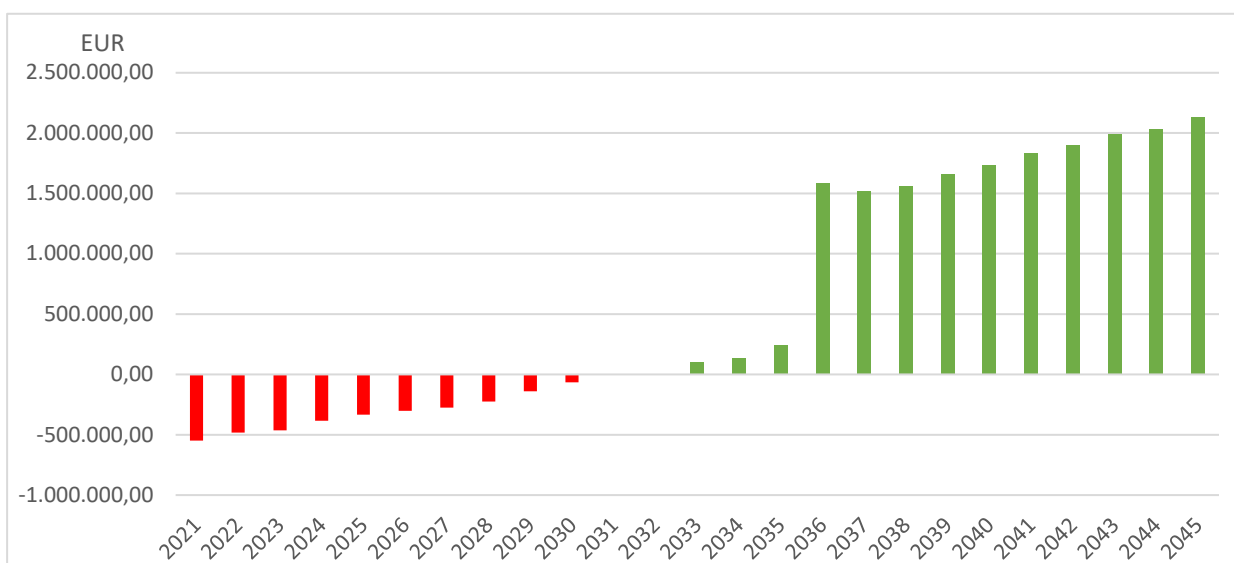
Iz Grafikona 59 vidljivo je da ni u Scenariju “2019. +4 % godišnje” prvih osam godina, prihodi od proizvodnje električne energije, nisu dostatni za pokriće investicijskih troškova koji se namiruju kreditom na 15 godina. Ipak u devetoj godini projekt ima pozitivan godišnji saldo te u promatranom periodu od 25 godina ovakva vjetroelektrana ukupno donosi prihod od 22.633.085,20 EUR. Prema dobivenim rezultatima, može se zaključiti da bi, uz ovakva kretanja cijene električne energije, investicija u vjetroelektrane bila isplativa. Kako prvih godina prihodi nisu dovoljni, da pokriju prispjele investicijske troškove, bilo bi optimalno produžiti vrijeme otplate kredita s nižim kreditnim ratama otplate, kako bi elektrana i u prvim godinama mogla samostalno pokriti investicijske troškove. Takav scenarij bi neznatno smanjio ukupne prihode projekta, a omogućio bi sigurnije financiranje.

U Scenariju “2019. +4 % godišnje” vjetroelektrana na području Srednjeg Jadrana (Grafikon 60) u promatranom periodu, od 2021.-2046. godine, ukupno bi ostvarila prihod od 14.983.120,00 EUR. Unatoč tome što je projekt, u cjelini, isplativ, kao i u prethodnim scenarijima, problem se javlja u pokrivanju investicijskih troškova u prvim godinama rada elektrane kada su cijene još relativno niske te tada elektrana svojom proizvodnjom ne može pokriti prispjele investicijske troškove (kredit).



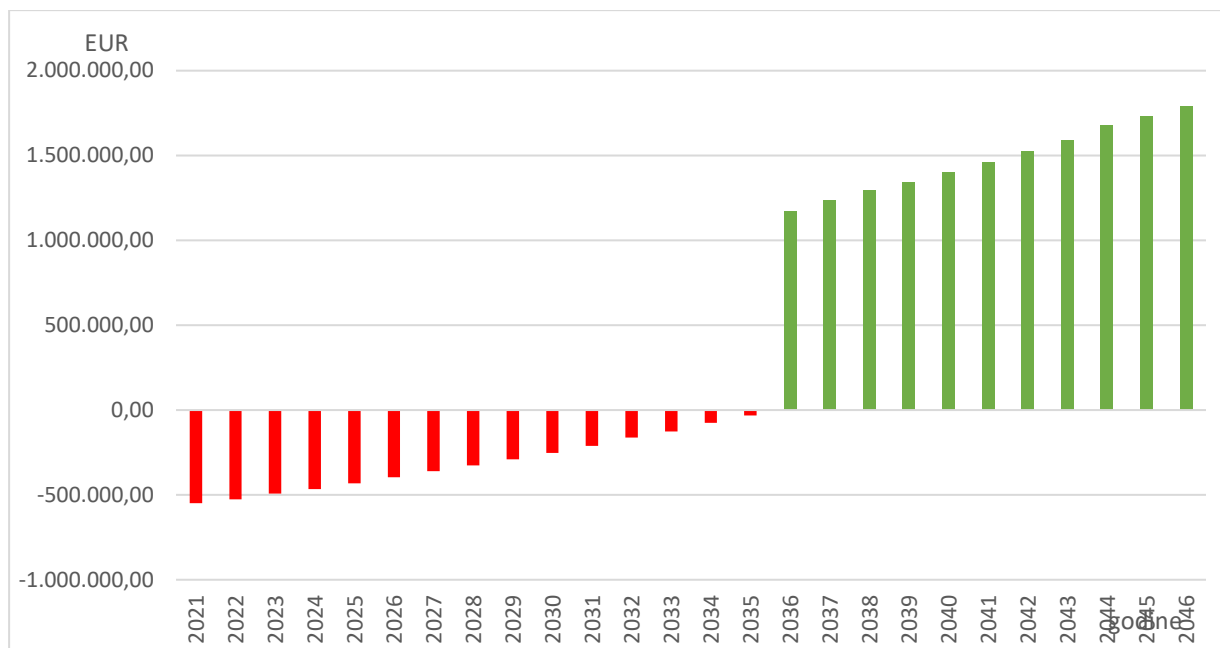
Grafikon 60. Preneseni prihodi za vjetroelektrane Srednji Jadran u Scenariju “2019. +4 % godišnje”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Na Grafikonu 61 prikazan je tijek ekonomske isplativosti vjetroelektrane Sjeverni Jadran u Scenariju “2019. +4 % godišnje”



Grafikon 61. Preneseni prihodi za vjetroelektrane Sjeverni Jadran u Scenariju “2019. +4 % godišnje”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Vjetroelektrana na području Sjevernog Jadrana tijekom svog životnog vijeka, odnosno tijekom ukupnog trajanja projekta ostvarila bi prema rezultatima simulacije 15.215.600,70 eura prihoda. Jednako kao i za vjetroelektrane na ostala dva područja projekt je ukupno isplativ, ali u prvim godinama sami prihodi od proizvodnje električne energije nisu dovoljni za pokrivanje investicijskih troškova, troškova rada i održavanja vjetroelektrane.

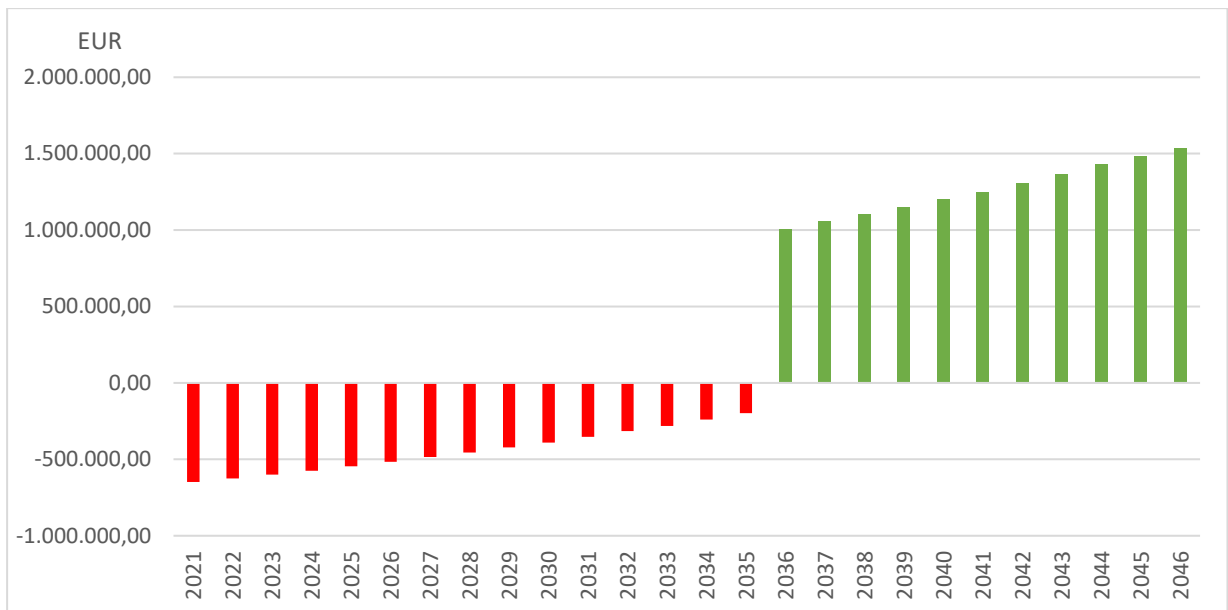


Grafikon 62. Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Dalmacija u Scenariju “2019. +4 % godišnje”

Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

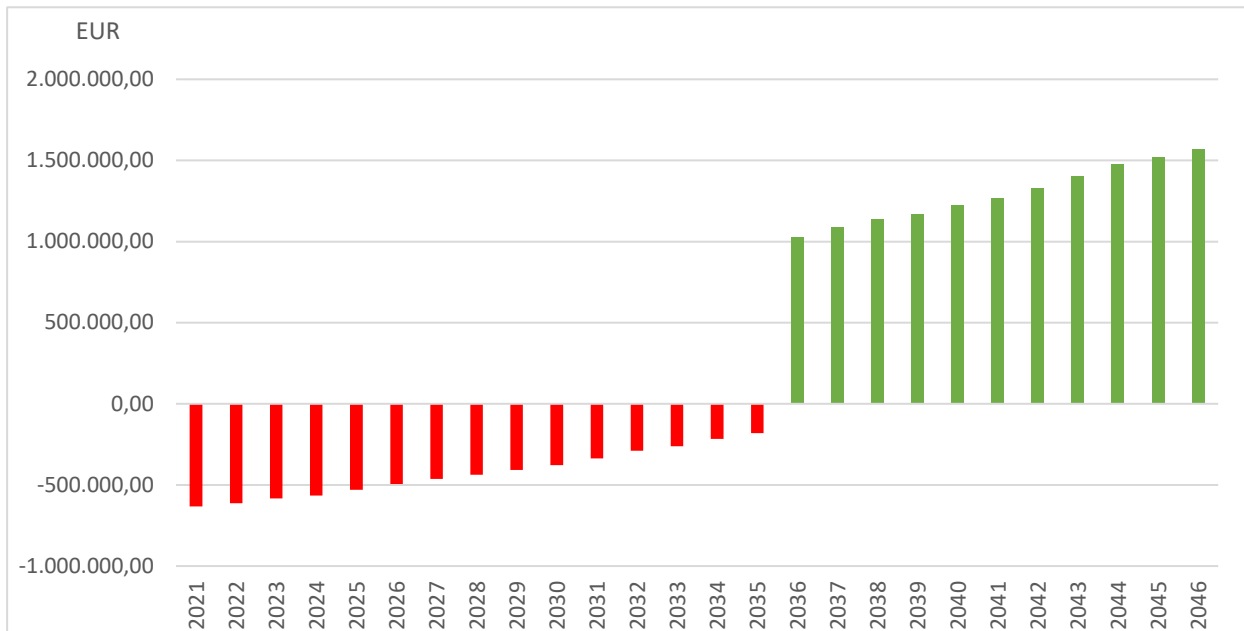
U Scenariju “2019. +4 % godišnje” sunčana elektrana na području Dalmacije (Grafikon 62), kao i sve vjetroelektrane, ukupno ostvaruje prihod koji bi za prvih 25 godina rada prema rezultatima simulacije iznosio 11.528.894,60 EUR. Uz to, valja napomenuti da bi, s obzirom na procijenjeni radni vijek ovakvih elektrana koji može premašiti 25 godina, ukupan iznos troškova mogao biti i veći. U ovom primjeru elektrana ne može samostalno pokriti sve svoje troškove prihodima od proizvedene električne energije prodane na burzi te bi za uspješnu realizaciju projekta trebalo odabrati drugačiji model financiranja investicije.

Na Grafikonu 63 prikazani su rezultati simulacije za sunčanu elektranu na području Primorja. Ova elektrana bi za promatrano razdoblje od 25 godina ostvarila prihod od 7.213.083,50 eura. Sunčana elektrana na području Primorja također ne može sama sebe otplatiti u roku od 15 godina prema uvjetima iz simulacije iako bi u konačnici donijela dobit investitoru.



Grafikon 63. Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Primorje u Scenariju “2019. +4 % godišnje”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Na Grafikonu 64 prikazani su ukupni godišnji prihodi (odnosno rashodi ako se radi o negativnim vrijednostima) za sunčanu elektranu na području Unutrašnjosti. Prema rezultatima simulacije elektrana bi u 25 godina ukupno uprihodila 7.806.116,20 eura te bi tek u 16. godini rada osigurala pokriće investicijskih troškova i donijela investitorima dobit.



Grafikon 64. Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Unutrašnjosti u Scenariju “2019. +4 % godišnje”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

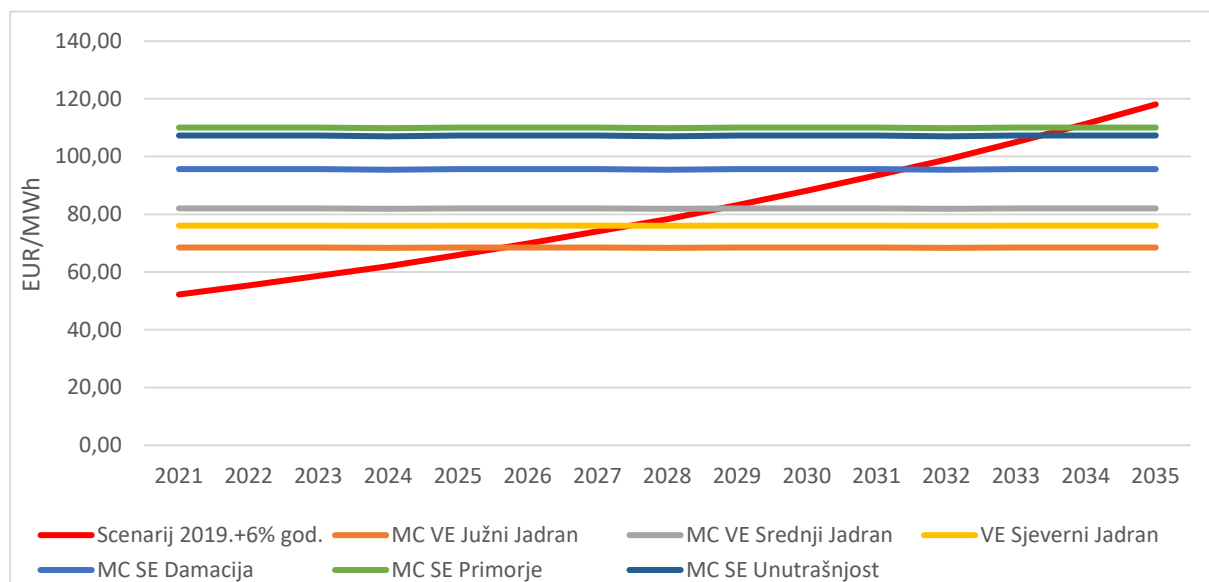
Provedena analiza pokazuje bolje rezultate ekonomske isplativosti elektrana u Scenariju “2019. +4 % godišnje”, no samo vjetroelektrane pokazuju kraće razdoblje nepokrivenosti

investicijskih troškova u odnosu na Scenarij “2019. kons.”. Ni u ovom scenariju bez državnih poticaja ne može se očekivati isplativosti izgradnje i konkurentnost elektrana na tržištu.

4.3.4. Scenarij s cijenama električne energije CROPEX DA 2019. godine s porastom od 6 %

Scenarij s godišnjim porastom osnovnih cijena iz 2019. godine za 4 % nije pokazao ekonomsku isplativost ni konkurentnost od prve godine proizvodnje (2021. godine). Stoga je napravljena analiza sa scenarijem u kojem cijene električne energije rastu 6 % godišnje (Prilog 4), počevši s cijenama na razini onih na CROPEX DA tržištu 2019. godine.

Na Grafikonu 65 dan je usporedni prikaz marginalnih cijena električne energije dobivene iz vjetroelektrana i sunčanih elektrana u modelu.

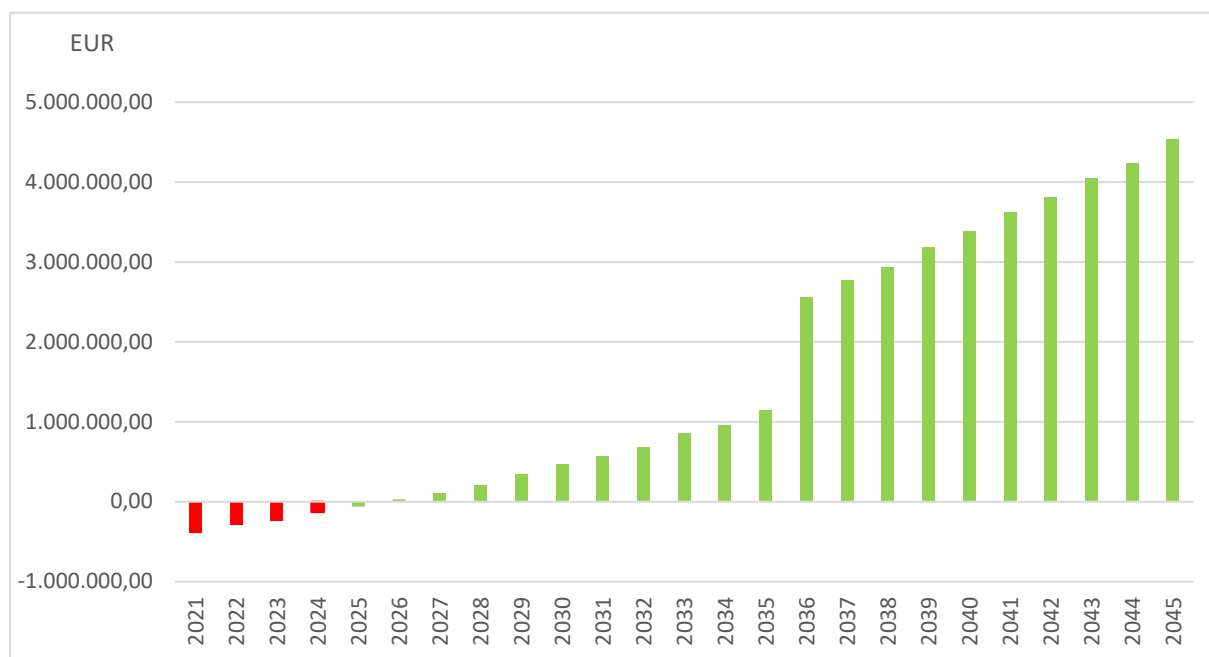


Grafikon 65. Usporedba marginalne cijene sunčanih elektrana i vjetroelektrana s cijenama na tržištu u scenariju “2019 +6 % godišnje”

Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Iz podataka na Grafikonu 65 vidljivo je da u prvih 15 godina sve promatrane elektrane u nekom trenutku imaju nižu marginalnu cijenu (cijenu koja odražava isplativost proizvodnje električne energije) od prosječne cijene električne energije na tržištu. U ovoj analizi sagledana su tri glavna scenarija. Prvi scenarij u kojem cijene električne energije ostaju konstantne, drugi scenarij s konstantnim rastom cijena od 4 % godišnje i scenariji s konstantnim rastom cijena od 6 % godišnje. Za očekivati je da će cijene rasti najbliže srednjem scenariju (s godišnjim rastom cijena od 4 %), no nije realno očekivanje da će cijene konstantno rasti. Realnije je očekivati pojačani rast prvih godina pa potom stabilizaciju rasta. Ako bi cijene rasle ovom brzinom, investicije u vjetroelektrane i sunčane elektrane bi bile isplative same po sebi bez dodatnih subvencija i stimulacija njihove izgradnje te bez opterećenja državnog proračuna.

Na Grafikonu 66 dan je prikaz ukupnih prenesenih prihoda za vjetroelektranu na području Južnog Jadrana u scenariju s rastom cijena od 6 % godišnje. Ova elektrana bi u promatranih 25 godina ostvarila ukupni prihod oko 39.371.211,80 EUR.

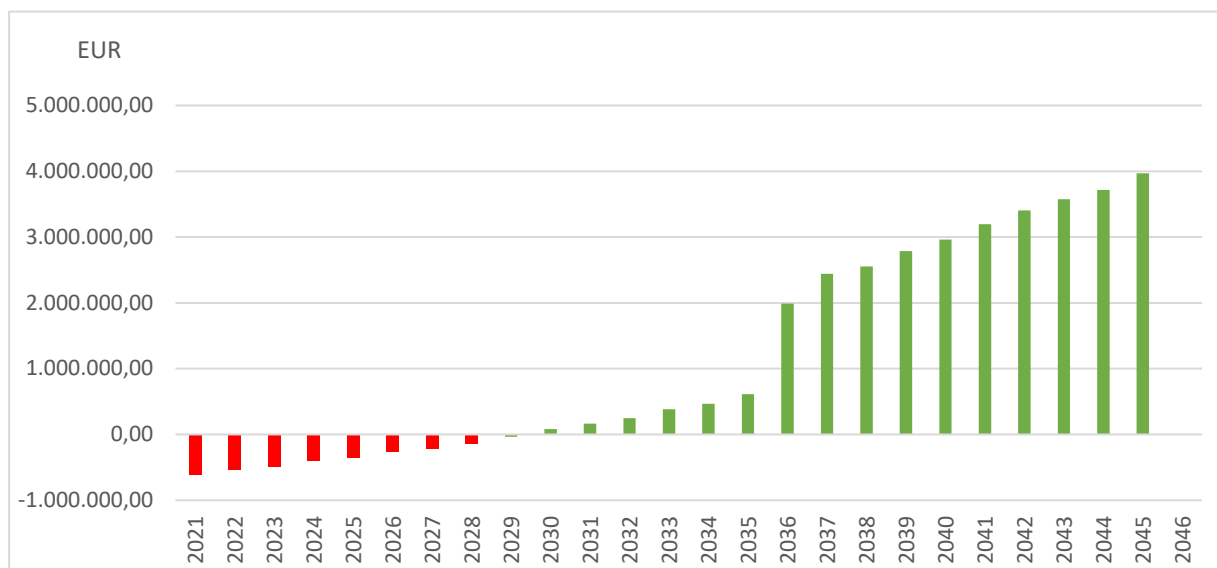


Grafikon 66. Preneseni prihodi za vjetroelektranu Južni Jadran u Scenariju “2019. +6 % godišnje”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Iz Grafikona 66 je vidljivo da vjetroelektrana Južni Jadran može samostalno od svoje proizvodnje podmiriti sve svoje troškove već nakon četiri godine rada i proizvodnje električne energije. Ove rezultate može se protumačiti tako da bi ovakva elektrana bila isplativa ako bi cijene električne energije porasle za oko 25 % u odnosu na one iz 2019. godine. S obzirom na to da su cijene električne energije već u 2021. godini iznosile 114,7 eura/MWh što je povećanje u odnosu na 2019. godinu (69,32 siječanj 2019) za 65,5 %, a u 2022. godini porasla je za 137,5 % (CROPEX 2022; 2023) sasvim je evidentno da će elektrane na vjetar i sunčevu elektranu imati ekonomsku isplativost i konkurentnost u narednom razdoblju. Kako je već ranije spomenuto, kada bi se uzelo duže trajanje kredita te se time smanjili godišnji investicijski troškovi, ovaj projekt prema ovom scenariju bio bi isplativ od prve godine.

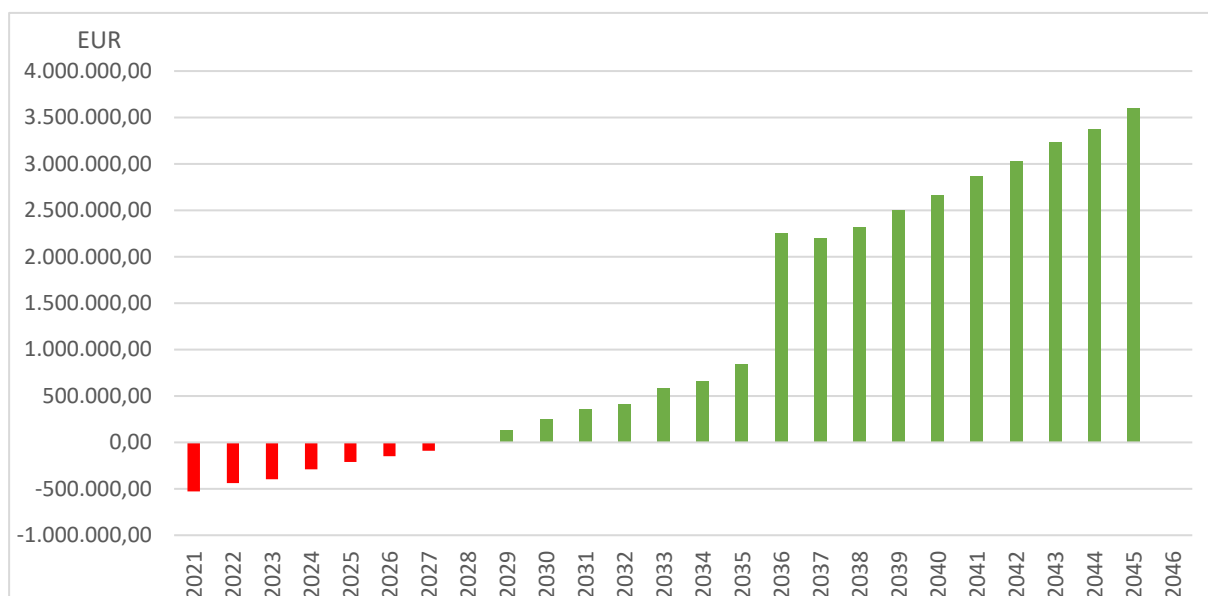
Prema Grafikonu 67, vjetroelektrane na području Srednjeg Jadrana mogle bi se samostalno otplaćivati tek u 9. godini. Ukupni ostvareni prihod u 25 godina prema rezultatima simulacije iznosi 29.457.446,80 EUR. Iz Grafikona se, također, može primijetiti da ukupni godišnji prihodi značajno rastu u šesnaestoj godini projekta. Razlog tog značajnijeg rasta je otplata investicije. Nakon otplate kredita elektrana ima samo fiksne troškove rada i održavanja koji su relativno niski. Za vjetroelektrane i sunčane elektrane nema varijabilnih troškova rada

prvenstveno zbog toga što one ne koriste gorivo za svoju proizvodnju niti proizvode emisije CO₂.



Grafikon 67. Preneseni prihodi za vjetroelektrane Srednji Jadran u Scenariju “2019. +6 % godišnje”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

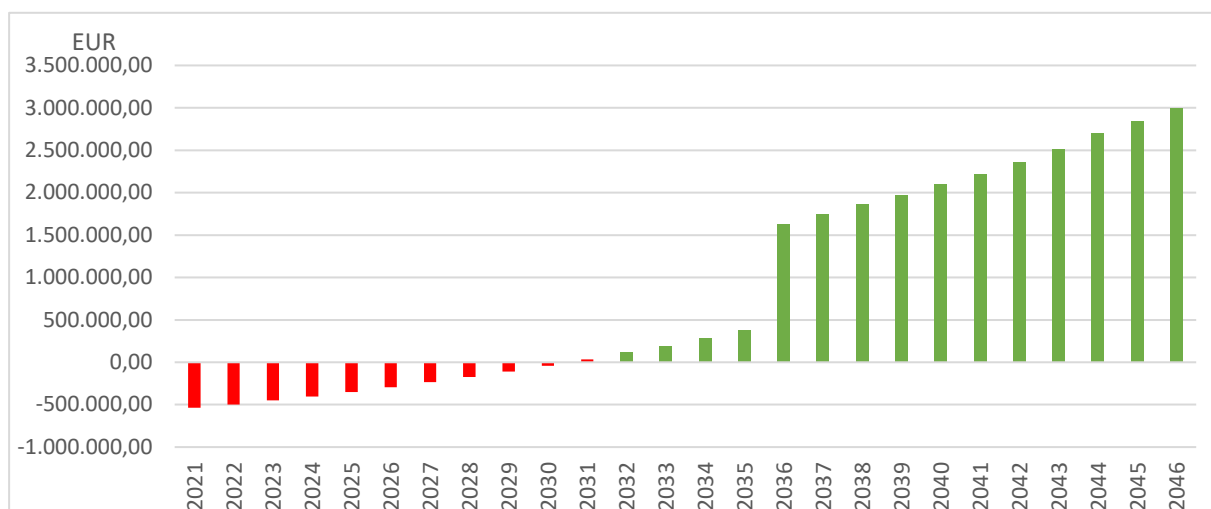
Prema Grafikonu 68 vjetroelektrana na području Sjevernog Jadrana može samostalno pokrivati svoje investicijske troškove tek u devetoj godini, kao i vjetroelektrana na području Srednjeg Jadrana. Ukupno ostvareni prihod u 25 godina, prema rezultatima simulacije, iznosi 29.173.662,80 eura.



Grafikon 68. Preneseni prihodi za vjetroelektranu Sjeverni Jadran u Scenariju “2019. +6 % godišnje”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

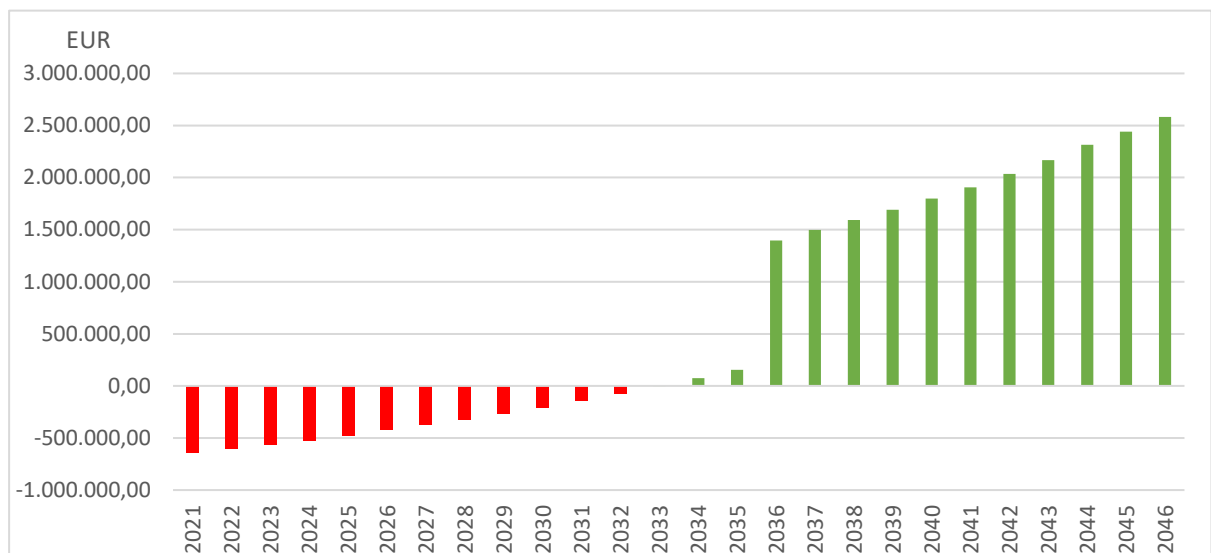
Grafikon 69 pokazuje da bi sunčana elektrana na području Dalmacije mogla samostalno otplaćivati kreditne obveze, odnosno investicijske troškove tek u dvanaestoj godini. Ukupni

ostvareni prihod u 25 godina prema rezultatima simulacije iznosi 22.849.694,80 eura. Ovi rezultati su još jednom potvrdili veće investicijske troškove sunčanih elektrana u odnosu na vjetroelektrane te je za povrat investicije u vjetroelektrane potrebno duže razdoblje.



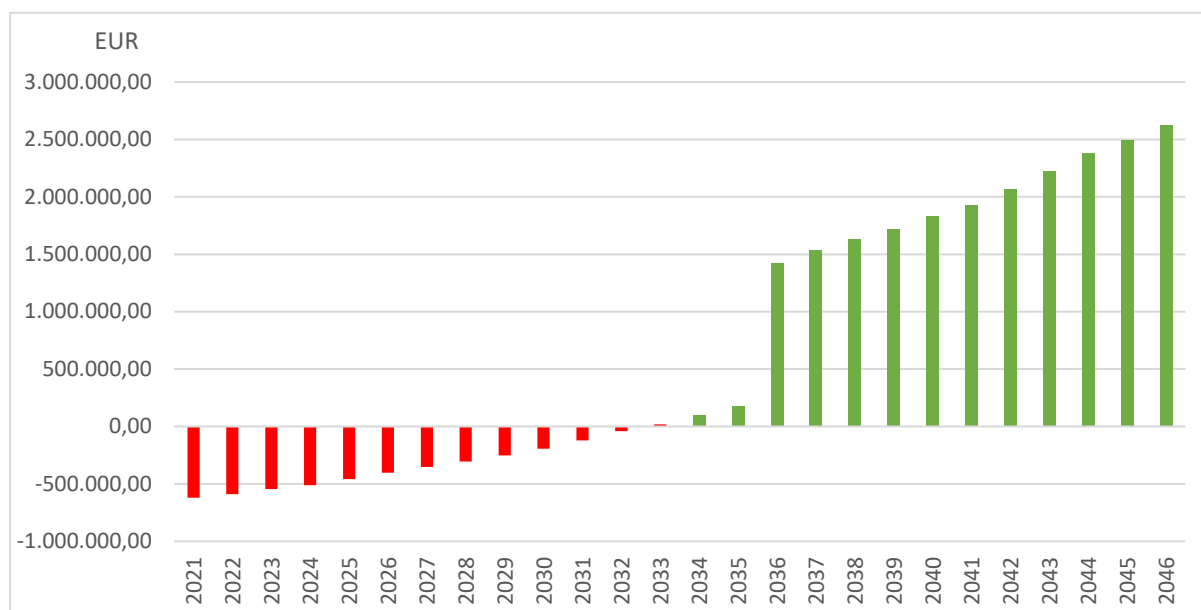
Grafikon 69. Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Dalmacija u Scenariju “2019. +6 % godišnje”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Grafikon 70 prikazuje godišnje prihode za sunčanu elektranu na području Primorja i prema rezultatima simulacije ova bi se elektrana mogla samostalno otplaćivati tek u dvanaestoj godini. Ukupni ostvareni prihod u 25 godina, prema rezultatima simulacije, iznosi 17.049.599,00 eura.



Grafikon 70. Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Primorje u Scenariju “2019. +6 % godišnje”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Sunčana elektrana na području Unutrašnjosti može samostalno pokrivati svoje investicijske troškove tek u četrnaestoj godini proizvodnje električne energije (Grafikon 71). Ukupno ostvareni prihod u 25 godina, prema rezultatima simulacije, iznosio bi 17.773.180,80 eura.



Grafikon 71. Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Unutrašnjost u Scenariju “2019. +6 % godišnje”
Izvor: Izrada autorice u PLEXOS-u.

Scenarij “2019. +6 % godišnje” pokazao je veću ekonomsku isplativost promatranih elektrana u odnosu na Scenarij “2019. konst.,” “2019. +2 % godišnje” i “2019. +4 % godišnje”. Scenarij pokazuje da se ekonomska isplativost elektrana i njihova konkurentnost povećava s rastom cijene električne energije. S obzirom na to da je cijena električne energije u 2022. godini bila znatno veća u odnosu na osnovnu cijenu promatranu u odnosu na 2019. godinu može se pretpostaviti da će izgradnja sunčanih i vjetroelektrana biti ekonomski isplativa. No, potrebno je također imati na umu da su cijene u 2021. i 2022. godini bile pod utjecajem energetske krize izazvane ratom u Ukrajini te da su u 2023. godini prosječne cijene električne energije na CROPEX-u smanjene za 61,9 % u odnosu na 2019. godinu (CROPEX 2024), ali su još uvijek za 49,6 % veće u odnosu na 2019. godinu. To je veći postotak u odnosu na onaj predviđen simulacijom (25 %) koji pokazuje ekonomsku isplativost izgradnje elektrana već u prvoj godini izgradnje. Također, je vidljivo da vjetroelektrane pokazuju veću ekonomsku isplativosti i konkurentnost u odnosu na sunčane elektrane na područjima obuhvaćenih modelom.

Simulacijski model je ujedno dokazao postavljenu pomoćnu hipotezu H1 doktorske disertacije: *Početni investicijski troškovi sprječavaju učinkovit razvoj obnovljivih izvora električne energije.* Istraživanje je pokazalo da uz cijene koje su formirane na tržištu (izuzev cijena u ekstremnim uvjetima kao što je energetska kriza) i uz visoke ulazne investicijske

troškove izgradnja elektrana na obnovljive izvore energije (sunčana energija i energija vjetra) pokazuje ekonomsku neisplativost bez državnih potpora. Potrebno je istaknuti da Hrvatska najviše energije uvozi tijekom ljetnog razdoblja kada bi mogla iskoristiti energiju sunca za zadovoljenje većeg dijela energetske potreba, a proizvedene viškove izvoziti (OIE 2023). Uz predviđeni rast cijena električne energije u simulacijskom modelu može se očekivati brži rast broja elektrana na obnovljive izvore energije na području Republike Hrvatske i time učinkovit razvoj obnovljivih izvora električne energije i povećanje elektroenergetske neovisnosti Republike Hrvatske.

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

5.1. Teorijske i praktične implikacije rezultata

Doktorski rad istražuje problematiku energetskeg sustava s fokusom na elektroenergetski sustav i tržište električne energije u Republici Hrvatskoj, sagledavajući mogućnosti ekonomske isplativosti proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije u cilju postizanja energetske neovisnosti i veće održivosti.

U radu se daju odgovori na postavljena istraživačka pitanja. Detaljnim prikazom elektroenergetskog sustava i tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj, od konvencionalnih oblika organizacije i upravljanja do deintegracije elektroenergetskog sustava, te od tradicionalne strukture tržišta do reformiranog tržišta električne energije, dan je sistematski prikaz razvoja elektroenergetskog sustava u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj. Kroz regulatorni okvir ukazano je na promjene koje se događaju u zakonodavstvu Europske unije i Republike Hrvatske pod utjecajem klimatskih promjena i postavljanja ciljeva dekarbonizacije proizvodnje električne energije te davanje obnovljivim izvorima ključnu ulogu u održivosti elektroenergetskog sustava. Kretanja na tržištu električne energije istaknula su još uvijek dominantna fosilna goriva u strukturi proizvodnje i potrošnje električne energije te energetske ovisnosti Hrvatske o uvozu. Time je ujedno dan odgovor na istraživačko pitanje: *Koje su značajke elektroenergetskog sustava i tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj?*

Sustavni prikaz teorijskih spoznaja o obnovljivim izvorima energije doprinos je teorijskim implikacijama istraživanja u doktorskom radu. Istraživanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i njihovog udjela u strukturi ukupne proizvodnje električne energije kroz razdoblje od 2014. do 2023. godine, ukazalo je na dinamiku uvođenja obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav Republike Hrvatske. U razdoblju do 2014. godine Hrvatska bilježi sporu dinamiku, a tek posljednjih godina dolazi do značajnijeg porasta kapaciteta sunčanih elektrana i vjetroelektrana i njihovog sudjelovanja u proizvodnji električne energije u Republici Hrvatskoj. Razlog tome može se tražiti u promjenama politike Republike Hrvatske prema obnovljivim izvorima energije usklađenim s energetske politikom na razini Europske unije i otklanjanja barijera koje mogu usporavati njihovo uvođenje u elektroenergetski sustav i zacrtane ciljeve energetske neovisnosti Republike Hrvatske i Europske unije. Time je dan odgovor i na drugo istraživačko pitanje: *Kakva je dinamika uvođenja obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav Republike Hrvatske?*

Treće istraživačko pitanje je: Kakav je učinak postojećeg mehanizma poticanja na povećanje udjela obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije u Republici Hrvatskoj? Istraživanje je pokazalo da je mehanizam poticaja kroz poticajnu cijenu u Republici Hrvatskoj imao pozitivne učinke na rast obnovljivih izvora energije. No, poticajne cijene od 2021. godine pokazuju nižu razinu u odnosu na tržišne cijene formirane na CROPEX-u što je utjecalo na izlazak povlašćenih kupaca iz sustava poticaja. To upućuje na nedostatke primijenjenog tarifnog sustava poticaja.

Četvrto istraživačko pitanje je: Kakav je ekološki učinak uvođenja obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav Republike Hrvatske? Izgaranjem fosilna goriva proizvode štetne stakleničke plinove zbog čega se napori usmjeravaju prema uvođenju obnovljivih izvora energije kao alternativnih goriva. Uvođenje elektrana s niskim emisijama stakleničkih plinova, uključujući vjetroelektrane, sunčane fotonaponske, sunčane toplinske, hidroelektrane, elektrane za hvatanje i skladištenje ugljika, prirodni plin i druge energetske tehnologije s niskim emisijama stakleničkih plinova promatrane su kao nužnost u borbi protiv klimatskih promjena. Sasvim je jasno da sve tehnologije proizvodnje električne energije emitiraju stakleničke plinove u nekom stadiju svog životnog ciklusa, no one su uvelike manje u odnosu na izgaranje stakleničkih plinova iz obnovljivih izvora energije.

Peto istraživačko pitanje je: Na koji način se može modelirati optimalan model uvođenja obnovljivih izvora energije sa stajališta ekonomske isplativosti, energetske neovisnosti i veće održivosti elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske? Primjenom metoda simulacije i scenarija uz primjenu PLEXOS modela simuliran je u doktorskom radu optimalan model uvođenja obnovljivih izvora energije sa stajališta ekonomske isplativosti. U istraživanju su postavljena četiri scenarija: scenarij s fiksnom cijenom električne energije CROPEX DA 2019. godine, te scenariji s porastom cijene od 2 % godišnje, 4 % godišnje i 6 % godišnje. Istraživanje je pokazalo da odabrana metoda modeliranja daje uvid u ekonomsku isplativost proizvodnje električne energije u sunčanim i vjetroelektranama u Republici Hrvatskoj.

Istraživačka pitanja su postavljena u skladu s ciljem i svrhom istraživanja te postavljenim znanstvenim hipotezama. Svrha istraživanja je dati uvid u stanje elektroenergetskog sustava i potencijal obnovljivih izvora energije u održivoj proizvodnji električne energije. Temeljni cilj istraživanja odnosi se na moguće projekcije ekonomske isplativosti i konkurentnosti obnovljivih izvora energije na hrvatskom tržištu električne energije.

Obnovljivi izvori energije predstavljaju važnu komponentu suvremenih elektroenergetskih sustava usmjerenih ka zelenoj tranziciji i održivom razvoju elektroenergetskog sustava u

Republici Hrvatskoj. Optimalni model uvođenja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj simuliran je putem modela PLEXOS, postavljanjem scenarija ekonomske isplativosti i konkurentnosti modela sa šest elektrana (tri vjetroelektrane i tri sunčane elektrane) te četiri scenarija s cijenama formiranim na CROPEX DA (dan unaprijed tržištu) i vršnim opterećenjem u 2019. godini, uz prognozu za razdoblje od 2022. do 2047. godine. Rezultati istraživanja dokazuju isplativost vjetroelektrana i sunčanih elektrana u scenariju “s povećanjem osnovne cijene za 6 % godišnje” već u prvoj godini puštanja u rad elektrane. Rezultati istraživanja također dokazuju da proizvodnja električne energije iz vjetroelektrana i sunčanih elektrana instalirane snage 10 MW nije ekonomski isplativa bez državnih potpora, uz cijene koje su formirane na tržištu (izuzev cijena u ekstremnim uvjetima kao što je energetska kriza) i uz visoke ulazne investicijske troškove izgradnje elektrana na obnovljive izvore energije (sunčana energija i energija vjetra). Uz minimalni predviđeni rast cijena u simulacijskom modelu (6 % godišnje u odnosu na cijene iz 2019. godine formirane na CROPEX DA) može se očekivati brža izgradnja novih elektrana na obnovljive izvore energije na području Republike Hrvatske.

Simulacijski model je ujedno dokazao postavljenu pomoćnu hipotezu H1 doktorske disertacije: *Početni investicijski troškovi sprječavaju učinkovit razvoj obnovljivih izvora električne energije*. Istraživanje je pokazalo da uz cijene koje su formirane na tržištu (izuzev cijena u ekstremnim uvjetima kao što je energetska kriza) i visoke ulazne investicijske troškove izgradnja elektrana na obnovljive izvore energije (sunčana energija i energija vjetra) pokazuje ekonomsku neisplativost bez državnih potpora. Uz predviđeni rast cijena električne energije može se očekivati brži rast broja elektrana na obnovljive izvore energije na području Republike Hrvatske, što će omogućiti učinkovitiji razvoj obnovljivih izvora energije i povećanje elektroenergetske neovisnosti Republike Hrvatske.

U radu se istraživala opravdanost sustava potpora na proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora. Republika Hrvatska je uvela sustav poticaja obnovljivih izvora energije kako bi potaknula razvoj obnovljivih izvora energije i povećala njihov udio u energetske bilanci. Razlog tome je i činjenica da je cijena električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije (izuzev hidroelektrana) znatno veća od prosječne proizvodne cijene u konvencionalnim elektranama što destimulira investitore. Snižavanjem ulaznih troškova, potpore izgradnji i poticajne cijene omogućuju novim poduzećima natjecanje s već poduzećima koje se bave fosilnim gorivima, pokrećući tržišnu dinamiku. *Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji* regulirana je operativna potpora, odnosno isplata državnih potpora na temelju isporučene električne energije, no sustav potpora, u biti potiče

izgradnju novih postrojenja koja će proizvoditi električnu energiju iz obnovljivih izvora energije. Visina poticajne cijene do 2021. godine bila je niža od tržišnih cijena, čime je investitorima osiguravala poslovnu sigurnost. No, u 2022. godini uslijed energetske krize cijene na CROPEX-u značajno rastu te su veće u odnosu na poticajne cijene. U takvim okolnostima povlašteni kupci koji su ispunili svoje obveze prema HROTE-u i HERA-i izlaze iz sustava poticaja te sudjeluju na tržištu električne energije. U razdoblju od 2022. godine zabilježen je pad broja postrojenja, instalirane snage i proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u sustavu poticaja. Niža cijena električne energije u odnosu na CROPEX dovela je do poremećaja u sustavu električne energije i dovela u pitanje njegovu učinkovitost. Provedena analiza, međutim, nije potvrdila hipotezu H2: *Postojeći mehanizmi poticanja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj negativno utječu na održivost razvoja energetskog sektora u cijelosti*. Vidljivo je da je sustav poticaja imao pozitivan učinak na rast obnovljivih izvora energije.

Simulacijski model je također pokazao da rast cijena električne energije na CROPEX-u ima pozitivan utjecaj na ekonomsku isplativost projekata sunčane elektrane i vjetroelektrane. Sunčana elektrana kao ni vjetroelektrana nisu ekonomski isplative u slučaju da cijene električne energije ostanu na razini cijena formiranih na CROPEX-a u 2019. godini. Scenarij “2019. +6 % godišnje” pokazao je da se ekonomska isplativost elektrana i njihova konkurentnost povećava s rastom cijene električne energije. S obzirom na to da je cijena električne energije u 2022. godini bila znatno veća u odnosu na osnovnu cijenu promatranu u odnosu na 2019. godinu, može se pretpostaviti da će izgradnja sunčanih i vjetroelektrana biti ekonomski isplativa. Time je, ujedno dokazana hipoteza H3: *Rast cijena električne energije na CROPEX-u ima pozitivan učinak na ekonomsku isplativost projekata obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj*.

Znanstveni doprinos rada očituje se u prihvaćanju postavljenih znanstvenih hipoteza čime se dokazalo da uvođenje obnovljivih izvora energije utječe na održivi razvoj elektroenergetskog sustava i povećava elektroenergetsku neovisnost Republike Hrvatske, a što je ujedno i osnovna hipoteza doktorskog rada (H0).

5.2. Ograničenja provedenog istraživanja

Ograničenja provedenog istraživanja sagledavaju se u malom broju elektrana i korištenju samo dvije tehnologije, sunčanih elektrana i vjetroelektrana, u modeliranju optimalnog modela uvođenja obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav Republike Hrvatske. Ograničenje je i u postavljanju modela bez uključenja šireg obuhvata elektrana na obnovljive izvore energije u zemljama članicama Europske unije i zemalja u okruženju izvan Europske unije (Bosna i Hercegovina, te Srbija).

Prilikom analize nisu u obzir uzeti dodatni prihodi postrojenja na OIE, a to su jamstva porijekla. Naime, jamstva porijekla su dodatni proizvod koji pri proizvodnji električne energije iz obnovljivog izvora stvara proizvođač. Osmišljena su kao dodatni poticaj proizvođačima električne energije da je proizvode iz obnovljivih izvora, kako bi kroz garancije porijekla ostvarili dodatnu neto maržu, odnosno premiju na cijenu. Očekivani efekt uvođenja ovog dodatnog proizvoda je trebao biti olakšavanje prelaska sa poticanih cijena (feed in tarifa i premija) za nova postrojenja na tržišno osiguravanje bankabilnosti.

5.3. Preporuke za buduća istraživanja

Za buduća istraživanja preporučuje se uvođenje većeg broja elektrana na obnovljive izvore kako bi se obuhvatili različiti klimatski potencijali šireg područja Republike Hrvatske. Preporuka se odnosi i na proširenje istraživanja na druge zemlje članice Europske unije, kao i zemlje u okruženju (Bosna i Hercegovina te Srbija). Preporučuje se i proširenje istraživanja na druge elektrane na obnovljive izvore koji nisu tako interinentni kao vjetroelektrane, kao što su hidroelektrane, geotermalne elektrane i elektrane na biomasa. Također se preporučuje istraživanje s baznom godinom, primjerice, 2023. godinom te da se naprave usporedbe s ovim radom koji je koristio baznu godinu 2019.

LITERATURA

- Acemoglu, Daron. (2002). Directed Technical Change. *Review of Economic Studies* 69 (4): 781–809. <https://doi.org/10.1111/1467-937X.00226> (pristupljeno 17. veljače 2022.)
- Afrić, Vjekoslav (1999). Simulacijski modeli. *Polemos* 2: 1-2, <https://hrcak.srce.hr/file/4848> (9. veljače 2022.)
- Ahmad, Salman, i Tahar, Razman Mat. (2014). Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia. *Renewable Energy* 63: 458-466, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.10.001> (pristupljeno 13. veljače 2024.)
- All NEMO Committee. (n.d.) Welcome to the website of all Nominated Electricity Market Operators (NEMOs). <https://www.nemo-committee.eu/> (pristupljeno 14. prosinca 2023.)
- Alnaimat, Fadi, i Yasir Rashid. (2019). Thermal Energy Storage in Solar Power Plants: A Review of the Materials, Associated Limitations, and Proposed Solutions. *Energies* 12 (21): 1-19. <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/21/4164> (pristupljeno 14. veljače 2023.)
- Al-Shetwi, Ali Q., Hannan, M. A., Abdullah, M. A., Rahman, M. S. A., Ker, P. J., Alkahtani, A. A., Indra Mahlia, T.M., i Muttaqi, K. M. (2021). Utilization of renewable energy for power sector in Yemen: current status and potential capabilities. *IEEE Access* 9, 79278-79292, <http://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3084514> (pristupljeno 12. travnja 2023.)
- Banovac, Eraldo, i Zmijarević, Zlatko. (2007). Razdvajanje djelatnosti – preduvjet razvoja učinkovitog tržišta električne energije. *8. savjetovanje HRO CIGRÉ Referati* 8, 1-10. https://www.researchgate.net/publication/264006834_Energy_activities_unbundling_-_prerequisite_for_development_of_efficient_electricity_market (pristupljeno 4. lipnja 2023.)
- Basha, J. Sadhik, Jafary, Taherern, Vasudevan, Ranjit, Bahadur, Jahanzeb Khan, Ajmi, Muna Al, Neydi, Aadil Al, Soudagar, Elahi M. Mujtaba, M.A., Hussain, Abrar, Ahmed, Wagar, Shahapurkar, Kiran, Rahman, S.M.A., i Fattah, I.M. Rizwanul. (2021). Potential of Utilization of Renewable Energy Technologies in Gulf Countries. *Sustainability* 13(8), 10261, <https://doi.org/10.3390/su131810261> (pristupljeno 1. veljače 2024.)
- Beber, Josip, Robert Pašačko, i Stjepan Car. (2018). Novi koncepti zelenog razvoja i njihova primjena u energetici. *Radovi Zavoda za znanstveni rad HAZU* (29): 325-348. <https://hrcak.srce.hr/file/313527> (pristupljeno 11. svibnja 2020.).
- Beus, Mateo, Pavić, Ivan, Štritof, Ivona, Capuder, Tomislav, i Pandžić, Hrvoje. (2018). Electricity Market Design in Croatia within the European Electricity Market – Recommendations for Further Development. *Energies* 11(2), 364: 1-20. <https://doi.org/10.3390/en11020346> (pristupljeno 6. veljače 2024.)

- Bichler, Martin, Hans Ulrich Buhl, Johannes Knörr, Felipe Maldonado, Paul Schott, Stefan Waldherr, i Martin Weibelzahl. (2022). Electricity Markets in a Time of Change: A Call to Arms for Business Research. *Schmalenbach Journal of Business Research* 74: 77-102. <https://link.springer.com/article/10.1007/s41471-021-00126-4> (pristupljeno 11. siječnja 2023.).
- Bojnc, Štefan, i Križaj, Alan. (2021). Electricity Markets during the Liberalization: The Case of a European Union Country. *Energies* 14(14), 4317: 1-21, <https://doi.org/10.3390/en14144317> (pristupljeno 11. ožujka 2023.)
- Bonzanni, Andra. (2022). The Economics of Energy Networks. U *The Palgrave Handbook of International Energy Economics*, (e-book) ur. Hafner, Manfred, i Giacomo Luciani, 213-233. Cham: Palgrave Macmillan, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-86884-0> (pristupljeno 10. ožujka 2023.)
- Boretti, A., Castelleto, S., Al-Kouz, Wael, i Nayfeh, Jamal. (2021). Capacity factors of solar photovoltaic energy facilities in California, annual mean and variability. *E3S Web of Conferences* 181(02004): 1-5, https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/41/e3sconf_icsree2020_02004.pdf (pristupljeno 1. veljače 2023.)
- Borozan, Stefan, Krkoleva Mateska, Aleksandra, i Krstevski, Petar. (2021). Progress of the electricity sectors in South East Europe: Challenges and opportunities in achieving compliance with EU energy policy. *Energy Reports* 7: 8730-8741. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.203> (pristupljeno 6. veljače 2024.)
- Božičević Vrhovčak, Maja, Tomšić, Željko, i Debrecin, Nenad. (2006). Potential and use of renewable energy sources in Croatia. *Renewable Energy* 31(12): 1867-1872, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.09.021> (pristupljeno 1. travnja 2023.)
- Brammer, John G., i Bridgwater, Anthony V. (2002). The influence of feedstock drying on the performance and economics of a biomass gasifier – engine CHP system. *Bioenerg* 22 (4): 271-281. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096195340200003X> (pristupljeno 11. ožujka 2023.).
- Bublitz, Andreas, Keles, Dogan, Zimmermann, Florian, Fraunholz, Christoph, Fichtner, Wolf. (2019). A survey on electricity market design: Insights from theory and real-world implementations of capacity remuneration mechanisms. *Energy Economics* (80): 1059-1078, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.01.030> (pristupljeno 2. ožujka 2023.)
- Budin, Luka, Grdenić, Goran, i Delimar, Marko. (2021). Određivanje optimalne nazivne snage mikro fotonaponske elektrane unutar hrvatskog modela samoopskrbe. *Zbornik radova 15. savjetovanja HRO-CIGRE*, 1-11, <https://hro-cigre.hr/zbornici-radova/zbornik-odabranih-radova-15-savjetovanja-hro-cigre-sibenik-7-10-studenog-2021> (pristupljeno 11. ožujka 2023.)

- Bukša, Davor (2011). Proces deregulacije hrvatskog tržišta električne energije. *Ekonomski pregled* 62 (5-6): 286-310, <https://hrcak.srce.hr/pretraga?q=PROCES+DEREGULACIJE+HRVATSKOGA+TR%C5%BDI%C5%A0TA+ELEKTRI%C4%8CNE+ENERGIJE> (pristupljeno 9. travnja 2023.)
- Carley Sanya, i Andrews Richard N. (2012). Creating a sustainable U.S. electricity sector: the question of scale. *Policy Sciences* 45: 97-121, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11077-012-9152-z> (18. ožujka 2023.)
- Center for Sustainable System. (n.d.) “Factsheets, Wind Energy Factsheet”. <https://css.umich.edu/publications/factsheets/energy/wind-energy-factsheet> (9. veljače 2023.)
- Chick, Martin, i Nelles, Henry Vivian. (2007). Nationalisation and Privatisation. Ownership, Markets and the Scope for Introducing Competition into the Electricity Supply Industry. *Revue Économique* 58 (1): 277-293. <https://www.cairn.info/revue-economique-2007-1-page-277.htm> (pristupljeno 27. svibnja 2023.)
- Ciucci, Matteo. (2023). “Internal energy market”, Fact Sheets on the European Union. European Parliament. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/45/internal-energy-market> (pristupljeno 14. prosinca 2023.)
- Council of European Energy Regulators (CEER). (2020). 2nd CEER Report on Power Losses. https://www.ceer.eu/wp-content/uploads/2024/04/C19-EQS-101-03_Report_on_Power_Losses_3.pdf (pristupljeno 18. ožujka 2024.)
- Cramton, Peter. (2017). Electricity market design. *Oxford Review of Economic Policy* 33 (4): 589-612. <https://academic.oup.com/oxrep/article/33/4/589/4587939> (pristupljeno 9. lipnja 2020.)
- Crespo, Luis. (2021). The long-term market potential of concentrating solar power systems. U *Concentrating Solar Power Technology, Principles, Developments, and Applications*, ur. Lovegrove Keith, i Wes Stein, 477-509. London: Elsevier.
- CROPEX. (2022). Annual report 2021. https://www.cropex.hr/images/monthly_reports/CROPEX_Annual_report_2021.pdf (pristupljeno 1. veljače 2024.)
- CROPEX. (2023). Annual report 2022. https://www.cropex.hr/images/monthly_reports/CROPEX_Annual_report_2022.pdf (pristupljeno 1. veljače 2024.)
- CROPEX. (2024). Annual report 2023. https://www.cropex.hr/images/monthly_reports/Monthly_Report_-_January_2024.pdf (pristupljeno 1. veljače 2024.)
- CROPEX. (n.d.). Trgovanje na burzi. <https://www.cropex.hr/hr/trgovanja/opcenito.html> (pristupljeno 1. veljače 2024.)
- Danish Energy Agency. (2024). Annual and monthly statistics. <https://ens.dk/en/our-responsibilities/electricity> (pristupljeno 4. lipnja 2024.)

- De Bruyn, Sander, Chris Jongsma, Bettina Kampman, Benjamin Görlach, i Jan-Erik Thie. (2020). *Energy-intensive industries. Challenges and opportunities in energy transition*. Luxembourg: European Parliament, Policy Department For Economic, Scientific and Quality of Life Policies, Research and Energy (ITRE). <http://www.europarl.europa.eu/supporting-analyses> (pristupljeno 11. veljače 2023.)
- Destatis. (2024). Production, Gross electricity in Germany. <https://www.destatis.de/EN/Themes/Economic-Sectors-Enterprises/Energy/Production/Tables/gross-electricity-production.html> (pristupljeno 2. lipnja 2024.)
- Direktiva (EU) 2019/944 Europskog parlamenta i Vijeća od 5. lipnja 2019. o zajedničkim pravilima za unutarnje tržište električne energije i izmjeni Direktive 2012/27/EU (preinaka), L 158 14. 6. 2019, 125, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:02019L0944-20220623> (2. siječnja 2024.)
- Direktiva 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009. godine o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora energije i dopuni te naknadnom ukidanju Direktive 2001/77/EZ i Direktive 2003/30/EZ, Official Journal of the European Union L 140/16.
- Državni hidrometeorološki zavod. (n.d.) “Srednje vrijednosti i ekstremi”, https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci¶m=k1&Grad=osijek (pristupljeno 2. veljače 2023.)
- Državni zavod za statistiku (DZS). (2021). Dolasci i noćenja turista u 2020.. *Priopćenje* 4.3.2. <https://podaci.dzs.hr> (pristupljeno 2. ožujka 2024.)
- Državni zavod za statistiku (DZS). (2024). Kratkoročni pokazatelji energetske statistike u veljači 2024., prvi rezultati. *Priopćenje* 61(OEN-2024-2-1/2), <https://podaci.dzs.hr/2024/hr/76808> (pristupljeno 8. ožujka 2024.)
- Ekonomski institut Zagreb, i Energetski institut Hrvoje Požar. (2017). Integralna analiza dosadašnjih učinaka razvoja i izgradnje obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj u razdoblju od 2007. do 2016. Zagreb: Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, https://www.hops.hr/page-file/CwqtWjjSgKIf9Qfz07pFB5/ostale-publikacije/Analiza_OIE_Final.pdf (pristupljeno 11. veljače 2023.)
- Ellabban, Omar, Abu-Rub, Haitham, i Frede, Blaabjerg. (2014). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39: 748-764, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114005656> (pristupljeno 8. ožujka 2023.)
- EMBER. (2021). Carbon Price Tracker. <https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/> (pristupljeno 2. veljače 2022.)

EMBER. (2023). The transition from coal to clean. <https://ember-climate.org/> (pristupljeno 5. svibnja 2023.).

Energija u Hrvatskoj. (2022). Godišnji energetska pregled. 2023. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, https://eihp.hr/wp-content/uploads/2024/01/Energija-u-HR-22_WEB-novo.pdf (pristupljeno 18. veljače 2024.)

ENTSOE Transparency Platform. (2019). Total Load – Day Ahead / Actual, <https://transparency.entsoe.eu/load-domain/r2/totalLoadR2/show> (pristupljeno 1. 4. 2022.)

EPA, United States Environmental Protection Agency. 2023. Centralized Generation of Electricity and its Impacts on the Environment. <https://www.epa.gov/energy/centralized-generation-electricity-and-its-impacts-environment> (pristupljeno 11. veljače 2023.)

EPEX Spot SE. (n.d.) <https://www.epexspot.com/en> (pristupljeno 14. prosinca 2023.)

European Commission. (2023). Electricity Market Design: Commission launches consultation on reform to support a clean and affordable energy transition. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_324 (pristupljeno 11. listopada 2023.)

European Commission. (2024). Delivering the European Green Deal. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en (pristupljeno 7. ožujka 2024.)

European Commission. (n.d.) Clean energy for EU islands. <https://clean-energy-islands.ec.europa.eu/countries/cyprus> (pristupljeno 11. listopada 2023.)

European Commission. (n.d.) Energy, Energy union. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/energy-union_en (pristupljeno 26. prosinca 2023.)

European Commission. 2016. *The economic impact of enforcement of competition politics on the functioning of EU energy markets*. Luxembourg: PPublications Office of the European Union. <https://ec.europa.eu/competition/publications/reports/kd0216007enn.pdf> (pristupljeno 4. lipnja 2023.)

European Council, Council of the European Union. n.d. Electricity market reform. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/electricity-market-reform/> (pristupljeno 17. listopada 2023.)

European Parliament. (2023). Climate change: the greenhouse gases causing global warming. <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20230316STO77629/climate-change-the-greenhouse-gases-causing-global-warming> (pristupljeno 18. travnja 2023.)

Europska komisija. (2021). Provedbena uredba Komisije (EU) 2021/280 od 22. veljače 2021. o izmjeni uredaba (EU) 2015/1222, (EU) 2016/1719, (EU) 2017/2195 i (EU) 2017/1485 radi njihova usklađivanja s Uredbom (EU) 2019/943. Službeni list Europske komisije L 62/25. https://www.hops.hr/page-file/z4y7kM9K2v5f5YjCm3hZD7/eu-pravila-za-mrezu/provedbena%20uredba%20Komisije%202021_280.pdf (pristupljeno 14. listopada 2023.)

- Europska komisija. (2022). Komunikacija Komisije Europskom parlamentu, Europskom vijeću, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru i Odboru regija. COM(2022) 108, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=COM:2022:108:FIN> (pristupljeno 26. prosinca 2023.)
- Europska komisija. (2023). Komisija predložila reformu modela tržišta električne energije u EU kako bi se povećala upotreba energije iz obnovljivih izvora, bolje zaštitili potrošači i povećala konkurentnost industrije. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/hr/ip_23_1591 (pristupljeno 28. 12. 2023.)
- Europski parlament i Vijeće. (2018). Direktiva (EU) 2018/2001 Europskog parlamenta i Vijeća od 11. prosinca 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora (preinaka). SL L 328, <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj> (pristupljeno 18. veljače 2023.)
- Europski parlament i Vijeće. (2023). Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o izmjeni uredbi (EU) br. 1227/2011 i (EU) 2019/942 radi poboljšanja zaštite Unije od manipulacije tržištem na veleprodajnom tržištu energije. COM(2023) 147 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0147&am%3Bqid=1679411047615> (pristupljeno 14. prosinca 2023.)
- Europski parlament i Vijeće. (2023a). Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o izmjeni uredbi (EU) 2019/943 i (EU) 2019/942 te direktiva (EU) 2018/2001 i (EU) 2019/944 radi poboljšanja modela tržišta električne energije u Uniji. COM(2023) 148 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0148&am%3Bqid=1679410882233> (pristupljeno 14. prosinca 2023.)
- Europski parlament. (n.d.) Energija iz obnovljivih izvora. *Informativni članci o Europskoj uniji*, <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/hr/sheet/70/energija-iz-obnovljivih-izvora> (pristupljeno 26. prosinca 2023.)
- Europski zeleni plan, COM. (2019). 640 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640&qid=1616165122571> (pristupljeno 3. ožujka 2023.)
- Europsko vijeće, Vijeće Europske unije. n.d. Europski zeleni plan, Spremni za 55 %. <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> (pristupljeno 27. prosinca 2023.)
- Eurostat. (2023). Industrial production (volume) indeks overview. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Industrial_production_\(volume\)_index_overview#General_overview](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Industrial_production_(volume)_index_overview#General_overview) (pristupljeno 4. ožujka 2024.)
- Eurostat. (2023.) Electricity production, consumption and market overview. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_production,_consumption_and_market_overview#Electricity_generation (pristupljeno 2. veljače 2024.)

- Eurostat. (2024). Electricity production capacities by main fuel groups and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_inf_epc__custom_12350238/default/table?lang=en (pristupljeno 17. lipnja 2024.).
- Eurostat. (2024a). Electricity from renewable sources up to 41 % in 2022. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240221-1> (pristupljeno 2. ožujka 2024.)
- Eurostat. (2024b). Electricity prices for household consumers – bi-annual data (from 2007 onwards). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_204__custom_10921858/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)
- Eurostat. (2024c). Energy market indicator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_MARKET__custom_12044093/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)
- Eurostat. (2024d). Gross and net production of electricity and derived heat by type of plant and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_peh__custom_11995594/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)
- Eurostat. (2024e). Share of energy from renewable sources. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ren__custom_12081650/default/table?lang=en (18. ožujka 2024.)
- Eurostat. (2024f). Supply, transformation and consumption of electricity. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_cb_e__custom_10867668/default/table?lang=en (pristupljeno 2. ožujka 2024.)
- Ferenčak, Ivan. (2003). *Počela ekonomike*. Osijek: Ekonomski fakultet Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku.
- Ferguson, Ross, William Wilkinson, i Robert Hill. (2000). Electricity use and economic development. *Energy Policy* 28 (13): 923-934. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421500000811> (pristupljeno 11. siječnja 2021.)
- Fernández, Lucía (2024). Renewable energy in Sweden – statistics & facts. Statista. <https://www.statista.com/topics/10734/renewable-energy-in-sweden/#topicOverview> (18. lipnja 2024.)
- Filipović, Sanja, i Tanić, Gordan. (2010). Beograd: Ekonomski institut. https://www.researchgate.net/publication/291972251_Izazovi_na_trzistu_elektricne_energije (pristupljeno 1. lipnja 2023.)
- Foster, Vivien, i Rana, Anshul. (2020). Rethinking Power Sector Reform in the Developing World. Washington: World Bank Group. <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/7bd370a9-3aaa-5705-a18f-233293fed4e3/content> (pristupljeno 9. prosinca 2022.)

- Galo, Tomislav, Šimurina, Nika, Šimurina, Jurica. (2021). The Economic Impact of Investment in Renewables in Croatia by 2030. *Energies* 14(24), 8215, <http://doi.org/10.3390/en14248215> (pristupljeno 1. travnja 2023.)
- Garba, Nura, i Abdulrahman Bashir. (2024). Renewable Energy Sources, Sustainability and Environmental Protection: A Review. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences* 2(2): 449-462, [https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2\(2\).39](https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2(2).39)
- Gebreegziabher, Tesfaldet, Adetoyese Olajire Oyedunb, Ho Ting Lukb, Tsz Ying Gene Lamb, Yu Zhangb, i Chi Wai Hui. (2014). Design and optimization of biomass power plant. *Chemical Engineering Research and Design* 92 (8): 1412-1427. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263876214001890> (pristupljeno 6. siječnja 2022.).
- Geotermalne elektrane. (n.d.) <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/elektricna-energija/geotermalne-elektrane.html> (pristupljeno 9. siječnja 2022.)
- Glenk, Gunther, Rebecca Meier, i Stefan Reichelstein. (2021). Cost dynamics of clean energy technologies. *Schmalenbach Journal of Business Research* 73: 179–206. <https://doi.org/10.1007/s41471-021-00114-8> (pristupljeno 13. lipnja 2022.)
- Goić, Ranko. (2002). Moguće opcije razvoja tržišta električne energije u Hrvatskoj. CROSB I <http://bib.irb.hr/datoteka/126798.clanak2.pdf> (pristupljeno 8. lipnja 2023.)
- Golja, Tea. (2010). Utjecaj društveno odgovornog poslovanja na ekonomski rast. Doktorska disertacija, Pula: Sveučilište Jurja Dobrile u Puli.
- Hampton, H., i Foley, A. (2022). A review of current analytical methods, modelling tools and development frameworks applicable for future retail electricity market design. *Energy* 260 (1), 124861: 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124861> (pristupljeno 11. lipnja 2023.)
- Hartman, Devin. (2016). Economic characteristics of electricity. <https://www.rstreet.org/research/economic-characteristics-of-electricity/> (pristupljeno 7. veljače 2021.)
- HEP ODS. (n.d.) Godišnja izvješća o sigurnosti opskrbe u distribucijskom sustavu, <https://www.hep.hr/ods/o-nama/publikacije-229/godisnja-izvjesca-o-sigurnosti-opskrbe-u-distribucijskom-sustavu/672> (pristupljeno 11. travnja 2024.)
- HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o. (HEP ODS). (2019). Godišnje izvješće o sigurnosti opskrbe u distribucijskom sustavu za 2018. godinu s projekcijom za 2019. godinu. https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages//publikacije/GI_sigurnost//HEP_ODS_GI_sigurnost_opskrbe_2018.pdf (pristupljeno 11. travnja 2024.)
- HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o. (HEP ODS). (2023). Godišnje izvješće o sigurnosti opskrbe u distribucijskom sustavu za 2022. godinu s projekcijom za 2023. godinu. https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages//publikacije/GI_sigurnost//HEP_ODS_GI_sigurnost_opskrbe_2022.pdf (pristupljeno 11. travnja 2024.)

- HEP Proizvodnja. (n.d.) Električna energija. <https://www.hep.hr/proizvodnja/proizvodi-i-usluge/elektricna-energija/1569> (pristupljeno 2. ožujka 2023.).
- Herc, Luka, Pfeifer, Antun, Feijoo, Felipe, i Duić, Neven. (2021). Energy system transitions pathways with the new H2RES model: A comparison with existing planning. *Engineering, Electronics and Energy I*(100024): 1-16, <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100024> (pristupljeno 11. siječnja 2023.).
- Sarkar, Dipak K. 2015. *Thermal Power Plant, Design and Operation*. London: Elsevier.
- Herenčić, Lin, Jelavić, Vladimić, Delija-Ružić, Valentina. (2018). Procjene utjecaja scenarija niskougličnog razvoja Republike Hrvatske. *Radovi Zavoda za znanstveni rad HAZU* (29): 361-380, <https://hrcak.srce.hr/file/313532> (pristupljeno 8. veljače 2023.).
- Hina. (2023). Europska komisija predlaže reformu tržišta električne energije: Bruxelles želi potaknuti ulaganje u obnovljive izvore. <https://euractiv.hr/energetika/a1092/Europska-komisija-predlozila-reformu-trzista-elektricne-energije-u-EU.html> (pristupljeno 13. listopada 2023.).
- Hofbauer, Ines. (2009). Liberalisation, privatisation and regulation in the Austrian electricity sector. *Austrian Country Report*, Wien: STREP. <https://www.forba.at/bericht/liberalisation-privatisation-and-regulation-in-the-austrian-electricity-sector-austrian-country-report/> (pristupljeno 5. lipnja 2023.).
- HOPS. (n.d.). “Tržište električne energije”. <https://www.hops.hr/en/electricity-market> (17. lipnja 2023.).
- HOPS. (n.d.1). “Električna energija za pokriće gubitaka”. <https://www.hops.hr/elektricna-energija-za-pokrice-gubitaka> (2. travnja 2024.).
- HROTE. (2018.) Prijedlog pravila organiziranja tržišta električne energije. https://files.hrote.hr/files/PDF/OTEE/2019/Popratni_dokument_Prijedlog_POTEE.pdf (10. svibnja 2024.).
- HROTE. (2020.). Program državnih potpora za sustav poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovite kogeneracije, <https://files.hrote.hr/files/PDF/Dokumenti/Programi%20drzavnih%20potpora/Program%2023.06.2020..pdf> (pristupljeno 28. ožujka 2023.).
- HROTE. (2021.) Godišnji izvještaj o poslovanju u 2020. godini. https://files.hrote.hr/files/Financije/Godisnji_izvjestaj_o_poslovanju_u_2020_godini.pdf (pristupljeno 10. svibnja 2024.).
- HROTE. (2024.) Alat za usporedbu cijena električne energije. <https://www.hrote.hr/alat-za-usporedbu> (pristupljeno 28. ožujka 2024.).
- HROTE. (n.d.). “HROTE”. <https://www.hrote.hr/hrote> (pristupljeno 10. svibnja 2024.).
- Hrvatska burza električne energije. (n.d.). <https://www.cropex.hr/hr/o-nama.html> (10. lipnja 2023.).

- Hrvatska energetska regulatorna organizacija (HERA). (2022). Program rada i razvoja Hrvatske energetske regulatorne organizacije za 2023. godinu. Zagreb: HERA, https://www.hera.hr/hr/docs/2022/Program_rada_i_razvoja_2023.pdf (pristupljeno 8. veljače 2024.)
- Hrvatska energetska regulatorna organizacija (HERA). (2024). Godišnje izvješće 2023. Zagreb: HERA, https://www.hera.hr/hr/docs/2022/Program_rada_i_razvoja_2023.pdf (pristupljeno 8. veljače 2024.)
- Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o. (2017). Mrežna pravila prijenosnog sustava. Narodne novine, br. 67. <https://www.zakon.hr/cms.htm?id=19343> (pristupljeno 9. veljače 2023.)
- Hu, Lihua, Chen, Yuanyuan, i Fan, Tao. (2023). The Influence of Government Subsidies on the Efficiency of Technological Innovation: A Panel Threshold Regression Approach. *Sustainability* 15(1), 534, <https://doi.org/10.3390/su15010534> (pristupljeno 2. veljače 2023.)
- Huangpeng, Quzi, Huang, Wenwei, i Gholinia, Fatemeh. (2021). Forecast of the hydropower generation under influence of climate change based on RCPs and Developed Crow Search Optimization Algorithm. *Energy Reports* 7:385-397.
- Imran, Kashif, i Kockar, Ivana. (2014). A technical comparison of wholesale electricity markets in North America and Europe. *Electric Power Systems Research* 108: 59-67. doi:10.1016/j.epsr.2013.10.016
- International Energy Agency (IEA). (2023). *Electricity Market Report 2023*. International Energy Agency, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/255e9cba-da84-4681-8c1f-458ca1a3d9ca/ElectricityMarketReport2023.pdf> (pristupljeno 13. lipnja 2023.)
- International Energy Agency (IEA). (2024). *Electricity 2024 – Executive summary*. <https://www.iea.org/reports/electricity-2024/executive-summary> (pristupljeno 13. lipnja 2023.)
- International Hydropower Association (IEA). (2020). *Hydropower Sustainability Assessment Protocol*. London: International Hydropower Association. <https://static1.squarespace.com/static/5c1978d3ee1759dc44fbd8ba/t/5eb3e949d47d2945368419dc/1588848975609/Hydropower+Sustainability+Assessment+Protocol+07-05-20.pdf> (pristupljeno 11. veljače 2021.)
- International Renewable Energy Agency. (2017). *Geothermal Power Technology Brief*. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Aug/IRENA_Geothermal_Power_2017.pdf (pristupljeno 12. siječnja 2022.).
- International Trade Administration. (2023). Portugal – Country Commercial Guide. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/portugal-energy> (pristupljeno 10. lipnja 2024.).
- Jakovac, Pavle, i Vlahinić Lenz, Nela. (2016). *Energija i ekonomija u Republici Hrvatskoj: makroekonomski učinci proizvodnje i potrošnje električne energije*. Rijeka: Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci.

- Jakovac, Pavle. (2010). Važnost električne energije i osvrt na reformu elektroenergetskog sektora u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj. *Ekonomski misao i praksa* 19 (2): 251-276. <https://www.unidu.hr/wp-content/plugins/quaroscope/download.php?file=3170> (pristupljeno 20. siječnja 2020.)
- Jakovac, Pavle. (2022). Pregled novih trendova u energetici. *Zbornik radova EMAN 2022*, 283-297, <https://doi.org/10.31410/EMAN.2022.283> (pristupljeno 11. kolovoza 2023.)
- Jamasb, Tooraj, i Pollitt, Michael. (2005). European Electricity Liberalisation. 26: 11-41. <https://www.jstor.org/stable/23297005> (pristupljeno 11. veljače 2022.)
- Jerkić, Edo. (2012). “Kreativnost u diskreditiranju vjetroelektrana”. <https://www.vjetroelektrane.com/edo-jerkic/1153-kreativnost-u-diskreditiranju-vjetroelektrana> (pristupljeno 14. travnja 2023.)
- Kabeyi, Moses Jeremiah Barasa, i Oludolapo Akanni Olanrewaju. (2023). Diesel Power Plants: Design and Operation and Performance Enhancement. *Fifth European Conference on Industrial Engineering and Operations Management Rome*. doi:10.46254/EU05.20220425 (18. svibnja 2023.).
- Kabeyi, Moses Jeremiah Barasa, i Oludolapo Akanni Olanrewaju. (2021). Relationship Between Electricity Consumption and Economic Development. *2021 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*, Cape Town, South Africa, 1-18, doi: 10.1109/ICECET52533.2021.9698413.
- Kalea, Marijan. 2007. *Električna energija*. Zagreb: Kigen.
- Kasiulis, Egidijus, Punys, Petras, Kvaraciejus, Algis, Dumbrasuskas, Antanas, i Linas Jurevičius. (2020). Small Hydropower in the Baltic States – Current Status and Potential for Future Development. *Energies* 13 (24), 6731, <https://doi.org/10.3390/en13246731> (pristupljeno 14. lipnja 2024.).
- Keček, Damira, Mikulić, Davor, i Lovrinčević, Željko. (2019). Deployment of renewable energy: Economic effects on the Croatian economy. *Energy Policy* 126: 402-410. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.028> (pristupljeno 1. travnja 2023.)
- Keramidas, K., A. Diaz Vazquez, M. Weitzel, T. Vandyck, M. Tamba, S. Tchung-Ming, A. SoriaRamirez, J. Krause, R. Van Dingenen, Q. Chai, S. Fu, i X. Wen. (2020). *Global Energy and Climate Outlook 2019: Electrification for the low-carbon transition. JRC Science for Policy Report*. Sevilla: European Commission, Joint Research Centre. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC119619> (pristupljeno 9. svibnja 2021.)
- Khan, Jibrán, Arsalan, Mudassar H. (2016). Solar power technologies for sustainable electricity generation – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 55: 414-425, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.135> (pristupljeno 11. veljače 2023.)
- Kirschen, D. S., i Strbac, G. (2004). *Fundamentals of Power System Economics*, John Wiley and Sons. https://www.usb.ac.ir/FileStaff/7926_2019-4-10-12-27-43.pdf (pristupljeno 1. svibnja 2023.)

- Krstinić Nižić, Marinela, i Blažević, Branko. (2017). *Gospodarenje energijom u turizmu*. Opatija: Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu.
- Krstinić Nižić, Marinela, i Hustić, Andreja. (2015). Modeli odgovornosti povlaštenih proizvođača obnovljivih izvora energije za odstupanja od planova proizvodnje. *Zbornik Veleučilišta u Rijeci* 3(1): 82-97, <https://hrcak.srce.hr/index.php/clanak/371474> (pristupljeno 18. siječnja 2016.)
- Krstinić Nižić, Marinela, Šverko Grdić, Zvonimira, Hustić, Andreja. (2016). The importance of Energy for the Tourism Sector. *Academica turistica* 9(2): 77-84, <https://academica.turistica.si/index.php/AT-TIJ/article/view/58> (pristupljeno 9. siječnja 2022.)
- Kuang, Yonghong, Zhang, Yongjung, Zhou, Bin, Li, Canbing, Cao, Yijia, Li, i Lijuan, Zeng, Long. (2016). review of renewable energy utilization in islands." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59: 504-513, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.014> (pristupljeno 11. veljače 2023.)
- Kulić, Slavko, Zoran Aralica, i Vladimir Cvijanović. (2007). Holističko sagledavanje mogućnosti pozicioniranja poduzeća na tržištu jugoistočne Europe – primjer Hrvatske elektroprivrede. *Ekonomski pregled* 58 (7-8): 421-444. <https://hrcak.srce.hr/file/21747> (pristupljeno 6. veljače 2021.).
- Le Lostec, Brice, Nicolas Galanis, Jean Baribeault, i Jocelyn Millette. (2008). Wood chip drying with and absorption heat pump. *Energy* 33 (3): 500-512. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544207001909> (pristupljeno 11. ožujka 2023.).
- Leksikografski zavod Miroslav Krleža. (2021). *Natuknica Elektrana*. Hrvatska enciklopedija. online izdanje. Zagreb: Leksikografski zavod "Miroslav Krleža". <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17558> (pristupljeno 9. siječnja 2022.).
- Leksikografski zavod Miroslav Krleža. (2021a). *Natuknica Elektroenergetski sustav*. Hrvatska enciklopedija. online izdanje. Zagreb: Leksikografski zavod "Miroslav Krleža". <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17604> (pristupljeno 14. studenog 2021.).
- Leksikografski zavod Miroslav Krleža. (2021b). *Natuknica Vjetroelektrana*. Hrvatska enciklopedija. online izdanje. Zagreb: Leksikografski zavod "Miroslav Krleža". <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17558> (pristupljeno 9. siječnja 2022.).
- Leksikografski zavod Miroslav Krleža. (n.d.). *Natuknica Monopson*. Hrvatska enciklopedija. online izdanje. Zagreb: Leksikografski zavod "Miroslav Krleža". <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17558> (pristupljeno 9. siječnja 2022.).
- Li, Jingyi, Raphael Ricardo, Zepon Tarpani, Laurence Stamford, i Alejandro Gallego-Schmid. (2023). Life cycle sustainability assessment and circularity of geothermal power plants. *Sustainable Production and Consumption* 35: 141-156. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.027> (pristupljeno 12. siječnja 2022.).

- Lin, Boqian, i Xie, Yongjing. (2023). The impact of government subsidies on capacity utilization in the Chinese renewable energy industry: Does technological innovation matter? *Applied Energy* 352(15), 121959, <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121959> (pristupljeno 2. veljače 2024.)
- Liu, Hong, Ji Xuan Pan, Han Qing Yuan, Hui Ling Li, Jing Wang, Jia Jun Wang, i Xiao Hua Song. (2021). Research on Evaluation of Working Capital Management Efficiency of Electric Power Listed Companies. *2021 International Conference on Tourism, Economy and Environmental Sustainability (TEES 2021)* 251 (01095): 1-5. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125101095> (pristupljeno 8. veljače 2023.)
- Lovrić, Marija, i Lovrić, Dražen. (2013). Obnovljivi izvori energije u Hrvatskoj: prednosti i nedostaci. Prilog u časopisu, *Kemija u industriji* 62(7-8): 279-282, <https://hrcak.srce.hr/file/154676> (pristupljeno 11. siječnja 2023.)
- Majstrović, Goran. (2008). Ostvarenje i perspektive tržišta električne energije. *Nafta* 59(1): 549-556. <https://hrcak.srce.hr/clanak/75911> (pristupljeno 10. ožujka 2023.)
- Malta, Draft National Energy and Climate Plane 2021-2030. (2023). <https://sostenibilita.gov.mt/wp-content/uploads/2023/10/National-Energy-and-Climate-Plan-2021-2030.pdf> (9. lipnja 2024.).
- Mariarty, Patrick, i Honnery, Damon. (2012). What is the global potential for renewable energy? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(1): 244-252, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.151> (pristupljeno 17. siječnja 2023.)
- Mendeley, Alexis, Cambini, Carlo, i Masera, Marcelo. (2018). Regulatory and ownership determinants of unbundling regime choice for European electricity transmission utilities. *Utilities Policy* 50, 13-29. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.01.006> (pristupljeno 4. lipnja 2023.)
- Metodologija utvrđivanja podrijetla električne energije, *Narodne novine* 133/14, 127/19.
- Metodologija za određivanje iznosa tarifnih stavki za zajamčenu opskrbu električnom energijom, *Narodne novine* 20/22.
- Mikulić, D.; Lovrinčević, Ž.; Keček, D. Economic Effects of Wind Power Plant Deployment on the Croatian Economy. *Energies* 2018, 11, 1881, <https://doi.org/10.3390/en11071881> (pristupljeno 1. travnja 2023.)
- Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva i Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP). (2008). Prilagodba i nadogradnja Strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske: Zelena knjiga, Zagreb: Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva i Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP). <https://vlada.gov.hr/UserDocsImages//ZPPI/Strategije%20-%20OGP/gospodarstvo//Zelena%20knjiga%20Energetika.pdf> (pristupljeno 25. listopada 2022.).
- Ministarstvo rada, mirovinskoga sustava, obitelji i socijalne politike (MRMOS). (2024). “Usvojen šesti paket mjera za ublažavanje inflatornih učinaka i porasta cijena energenata vrijedan 503 milijuna eura pomoći”. <https://mrosp.gov.hr/vijesti/usvojen-sesti-paket-mjera-za-ublazavanje-inflatornih-ucinaka-i-porasta-cijena-energenata-vrijedan/13351> (pristupljeno 5. svibnja 2024.)

- Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. (2019). Integrirani nacionalni energetska i klimatski plan za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine. https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Strategije,%20planovi%20i%20programi/hr%20necp/Integrirani%20nacionalni%20energetska%20i%20klimatski%20plan%20Republike%20Hrvatske%20%20_final.pdf (pristupljeno 2. veljače 2024.)
- Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. (2023). Ažurirani Integrirani nacionalni energetska i klimatski plan za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine. <https://mingo.gov.hr/azurirani-integrirani-nacionalni-energetska-i-klimatski-plan-republike-hrvatske-za-razdoblje-od-2021-2030-necp/9220> (pristupljeno 2. travnja 2024.)
- Ministerstwa Gospodarki. (n.d.) *Energy sector in Poland. Polish information and foreign investment agency.* https://www.paih.gov.pl/files/?id_plik=19610 (pristupljeno 17. svibnja 2023.)
- Motuziene, Violeta, Kęstutis Čiuprinskas, Artur Rogoża, i Vilūnė Lapinskienė. (2022). A Review of the Life Cycle Analysis Results for Different Energy Conversion Technologies. *Energies* 15 (8488): 1-26. <https://doi.org/10.3390/en15228488> (pristupljeno 9. veljače 2023.)
- Myhrvold, N.P., i Caldeira, K. (2012). Greenhouse gases, climate change and the transition from coal to low-carbon electricity. *Environmental Research Letters* 7(1) 014019: 1-9, doi:10.1088/1748-9326/7/1/014019 (pristupljeno 2. svibnja 2024.)
- Nassar, Yasser F., El-Khozondar, Hala J., El-Osta, Wedad, Mohammed, Suhaila, Elnaggar, Mohamed, Khaleel, Mohamed, Ahmed, Abdussalam, i Alsharif, Abdulgader. (2024). Carbon footprint and energy life cycle assessment of wind energy industry in Libya. *Energy Conversion and Management* 300, 117846: 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117846> (pristupljeno 5. veljače 2023.)
- National Statistics Office Malta. (2023). Renewable Energy from Photovoltaic Panels (PVs): 2022. <https://nso.gov.mt/renewable-energy-from-photovoltaic-panels-pvs-2022/> (pristupljeno 9. lipnja 2024.).
- Netherlands Enterprise Agency. (n.d.). Renewable Energy and Climate Change. <https://english.rvo.nl/renewable-energy-and-climate-change> (pristupljeno 8. lipnja 2024.).
- Odluka o davanju prethodne suglasnosti na Prijedlog Pravila organiziranja tržišta električne energije 2015, Hrvatska energetska regularna agencija, https://www.hera.hr/hr/docs/2015/Odluka_2015-10-26_01.pdf (pristupljeno 11. 10. 2023.)
- Odluka o izmjeni Odluke o naknadi za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju, *Narodne novine* br. 57/2020.
- Odluka o iznosu tarifnih stavki za zajamčenu opskrbu električnom energijom, *Narodne novine*, 102/18, 59/19, 102/18, 25/19, 68/20, 24/21.
- Odluka o iznosu tarifnih stavki za zajamčenu opskrbu električnom energijom 2024, *Narodne novine* 70.

- Odluka o naknadi za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju, *Narodne novine* 87/2017, 57/2020, 138/2021, 24/2024
- Ofgem. (n.d.). "Policy and regulatory programmes". <https://www.ofgem.gov.uk/energy-policy-and-regulation/policy-and-regulatory-programmes> (pristupljeno 2. lipnja 2023.)
- Ognjan, Diana. (2008). Poticajne mjere za proizvodnju električne energije iz biomase – usporedba mjera u Hrvatskoj i u Europi. *Hrvatski ogranak Međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED*, 1-11, <https://www.ho-cired.hr/referati/SO4-14.pdf> (18. svibnja 2023.)
- OIE Hrvatska. (2021). "Nije pitanje hoćemo li doći do 100 % obnovljivih izvora, pitanje je samo kada". <https://oie.hr/nije-pitanje-hocemo-li-doci-do-100-obnovljivih-izvora-pitanje-je-samo-kada/> (pristupljeno 3. siječnja 2024.)
- OIE Hrvatska. (2023). Elektroenergetska kretanja u Hrvatskoj u 2022. <https://oie.hr/elektroenergetska-kretanja-u-hrvatskoj-u-2022/> (pristupljeno 14.04.2024.)
- OIE. (2024). OIEH izvješće o elektroenergetskim prilikama u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2023. godine i za 2023. godinu, https://oie.hr/wp-content/uploads/2024/04/OIEH_EEizvjesce_2023.pdf (pristupljeno 7. svibnja 2024.)
- Olabi, Abdul Ghani. (2012). Developments in sustainable energy and wnvironmental protection. *Energy* 39(1): 2-5, <http://doi.org/10.1016/j.energy.2011.12.037> (pristupljeno 1. veljače 2023.)
- Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom, *Narodne novine* 85/15, 49/30, 104/20.
- Overland, Indra, Juraev, Javlon, i Vakulchuk, Roman. (2022). Are renewable energy sources more evenly distributed than fossil fuels? *Renewable Energy* 200: 379-386, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.046> (pristupljeno 8. veljače 2024.)
- Pandey, Shashi Kant, Soumya R. Mohanty, i Nand Kishor. (2013). A literature survey on load-frequency control for conventional and distribution generation power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25, 318-334. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.029> (pristupljeno 14. listopada 2022.).
- Patricolo, Claudia. (2020). Bringing MVM Group to the next level – intervju with György Kóbor. *Ceenergy News*. <https://ceenergynews.com/interviews/bringing-mvm-group-to-the-next-level-interview-with-gyorgy-kobor/> (pristupljeno 4. ožujka 2024.)
- Perić, Jože, i Šverko Grdić, Zvonimira. (2017). *Klimatske promjene i turizam*. Opatija: Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu.
- PLEXOS for Renewables. (n.d.) <https://www.energyexemplar.com/plexos-for-renewables> (pristupljeno 8. veljače 2024.)

- Poljak, Marko, Brkić, Davorin, Waggmann, Lahorko, Žutobradić, Srđan. (2018). Usporedba gubitaka električne energije u europskim državama. *6. savjetovanje Hrvatskog ogranka Međunarodne elektrodistribucijske konferencije*, https://www.ho-cired.hr/images/OPATIJA2018/Referati_po_studijskim_odborima/SO5/SO5-04.pdf (19. 4. 2024.)
- Pravila o promjeni opskrbljivača i agregatora, *Narodne novine* 84/22.
- Pravila organiziranja tržišta električne energije, *Narodne novine* 121/15.
- Pravila organiziranja tržišta električne energije, *Narodne novine* 107/19, 36/20.
- Pravilima o uravnoteženju elektroenergetskog sustava, *HOPS* 11/19.
- Pravilima za razgraničenje potrošnje i očitavanja brojila. *HEP ODS* 10/16.
- Pravilnik o općim uvjetima za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom. *Narodne novine* 100/22.
- Pravilnik o uvjetima kvalitete opskrbe električnom energijom, *Narodne novine* 84/22.
- Privatization and the Globalization of Energy Markets nd. https://training.itcilo.org/actrav_cdrom1/english/global/frame/energy1.htm (17. svibnja 2023.)
- Prša, Vedran. (2015). "Ekonomski učinci reformi elektroenergetskog sektora na proizvodnju električne energije u Europskoj uniji i odabranim zemljama jugoistočne Europe." Doktorska disertacija, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci. <https://repository.efri.uniri.hr/islandora/object/efri:57/datastream/PDF/view> (pristupljeno 2. lipnja 2023.)
- Radeljak Kaufmann, Petra. (2015). Kako se razvila i gdje se primjenjuje metoda scenarija. *Geografski horizont* (2): 7-13, <https://hrcak.srce.hr/file/439448> (9. ožujka 2023.)
- Rajput, R. K. (2016). A textbook of power plant engineering. New Delhi: Laxmi Publications (P) Ltd. <https://dokumen.pub/a-textbook-of-power-plant-engineering-5nbsped-9788131802557.html> (pristupljeno 11. siječnja 2023.)
- Roumasset, James A., Ujjayant Chakravorty, i Tse Kinping. (1997). Endogenous Substitution among Energy Resources and Global Warming. *Journal of Political Economy* 105 (6): 1201-1234. https://www.researchgate.net/publication/24104003_Endogenous_Substitution_among_Energy_Resources_and_Global_Warming (pristupljeno 9. veljače 2023.)
- Runko Luttenberger, Lidija. (2015). The barriers to renewable energy in Croatia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49: 646-654, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.167> (pristupljeno 2. veljače 2023.)
- Schneider, Daniel R., Duić, Neven, i Bogdan, Željko. (2007). Mapping the potential for decentralized energy generation based on renewable energy sources in the Republic of Croatia. *Energy* 32(9): 1731-1744, <http://doi.org/10.1016/j.energy.2006.12.003> (pristupljeno 1. travnja 2024.)

- Schumacher, Linda i dr. (2019). *The future electricity intraday market design*. European Commission. Directorate-General for Energy, Bruxelles. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/004191> (pristupljeno 14. prosinca 2023.)
- Shengfeng, Xiao, Ming Sheng Xu, Tingwing Zhu, i Xuelli Zhang. (2012). The Relationship between Electricity Consumption and Economic Growth in China. *Physics Procedia* 24: 56-62. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389212000533?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=7f1d855badaac20a (pristupljeno 17. siječnja 2021.).
- Shyam, Bhimaraju, i Kanakasabapathy, P. (2017). Renewable energy utilization in India—policies, opportunities and challenges. U *International Conference on Technological Advancements in Power and Energy* (1-6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/TAPENERGY.2017.8397311> (pristupljeno 12. travnja 2023.)
- Skoko, Minea. (2023). Regulatorni tretman gubitaka električne energije u distribucijskoj i prijenosnoj elektroenergetskoj mreži u Republici Hrvatskoj – nove smjernice. 8. (14.) savjetovanje, Hrvatski ogranak Međunarodne elektrodistribucijske konferencije, Seget Donji/Trogir, <https://hocired.hr/images/pdf/8-14/SO6/SO6-03.pdf> (pristupljeno 11. travnja 2024.)
- Smith, Raub W. i S. Can Gülen. (2012). Natural Gas Power. U *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, ur. Meyers, R. A., 6804–6852. New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_100 (pristupljeno 4. siječnja 2022.).
- Srivastava, Anurag K. i dr. (2011). Electricity markets: an overview and comparative study. *International Journal of Energy Sector Management* 5 (2): 169-200. <https://doi.org/10.1108/17506221111145977> (pristupljeno 11. kolovoza 2023.)
- Statista Research Department. (2023). Distribution of electricity generation worldwide in 2022, by energy source. <https://www.statista.com/statistics/269811/world-electricity-production-by-energy-source/> (pristupljeno 7. kolovoza 2023.).
- Statista Research Department. (2024). Power production breakdown in Hungary 2022, by source. <https://www.statista.com/statistics/1235432/hungary-distribution-of-electricity-production-by-source/> (pristupljeno 29. lipnja 2024.).
- Statistics Netherlands. (2024). Nearly half the electricity produced in the Netherlands is now renewable. <https://www.cbs.nl/en-gb/news/2024/10/nearly-half-the-electricity-produced-in-the-netherlands-is-now-renewable> (pristupljeno 11. lipnja 2023.)
- Stoerring, Dagmara, i Horl, Dagmara. (2017). Unutarnje energetske tržište. Europski parlament, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches_techniques/2013/050702/04A_FT\(2013\)050702_HR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches_techniques/2013/050702/04A_FT(2013)050702_HR.pdf) (pristupljeno 18. veljače 2023.)
- Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, *Narodne novine* br. 35/2020.

- Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu, *Narodne novine* br. 40/2020.
- Strielkowski, Wadim, Civin, Lubomir, Tarkhanova, Elena, i Petrenko, Yelena. (2021). Renewable Energy in the Sustainable Development of Electrical Power Sector: A Review. *Energies* 14(24): 8240, <https://doi.org/10.3390/en14248240> (pristupljeno 11. ožujka 2023.)
- Stupin, Karmen. (2015). Stanje i perspektive energetske zakonodavstva Republike Hrvatske. *Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu* 52(3): 623-639, <https://hrcak.srce.hr/file/214399> (pristupljeno 4. veljače 2024.)
- Sun Xiaoyang, Zhang, Baosheng, i Tang, Xu. (2016). Sustainable Energy Transitions in China: Renewable Options and Impact on the Electricity System. *Energies* 9(12): 980, <https://doi.org/10.3390/en9120980> (pristupljeno 27. siječnja 2023.)
- Sun, Zhebin, Zhao, Chenxu, i Zhihai Yan. (2018). An Optimizing Power System Dispatch with An Extra EV Load Using PLEXOS Approach. *2018 China International Conference on Electricity Distribution*. IEEE, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8592362> (pristupljeno 8. siječnja 2023.)
- Sustainable energy authority of Ireland. (n.d.) Renewables. <https://www.seai.ie/data-and-insights/seai-statistics/key-statistics/renewables/> (pristupljeno 8. lipnja 2024.)
- Šverko Grdić, Zvonimira, i Krstinić Nižić, Marinela. (2016). Development of Tourist Demand in Correlation with Climate Change in the Republic of Croatia, *Ekonomski pregled* 67(1): 27-43, <https://hrcak.srce.hr/154692> (pristupljeno 11. veljače 2023.)
- Takashi, Kenji, Simon Baker, i Lado Kurdgelashvili. (2005). *Policy Options to Support Distributed Resources, A Report to Connecticut Power Delivery*. Newark: Center for Energy and Environmental Policy University of Delaware. https://www.academia.edu/26404568/Policy_Options_to_Support_Distributed_Resources (pristupljeno 11. svibnja 2020.)
- Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, br. 33/07.
- Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, br. 63/12.
- Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, br. 133/13, 151/13, 20/14, 107/14, 100/15
- Teodorović, Ivan, Zoran Aralica, i Denis Redžepović. (2006). Energetska politika EU i hrvatske perspektive. *Ekonomija* 13 (1): 195-220. <https://bib.irb.hr/datoteka/261554.RIFIN-EIZ.pdf> (pristupljeno 6. veljače 2021.)
- Tešnjak, Sejid, Eraldo Banovac, i Igor Kuzle. (2009). *Tržište električne energije*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu.

- The Energy Sector Management Assistance Program. (2011). Revisiting policy options on the market structure in the power sector. <https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/study%20on%20energy%20sector.pdf>
- The World Bank. n.d. *Metadata Glossary*. <https://databank.worldbank.org/metadataglossary/world-development-indicators/series/EG.USE.ELEC.KH> (pristupljeno 7. veljače 2021.).
- The World Commission on Dams. (2000). *Dams and development, A New Framework for Decision – Making*. London: Earthscan Publications. https://www.ern.org/wp-content/uploads/sites/52/2017/12/2000_world_commission_on_dams_final_report.pdf (19. travnja 2023.).
- Tominov, Ivan. (2008). Liberalizacija tržišta električne energije – ispunjava li očekivanja?. *Energija* 57 (3): 256-299. <https://hrcak.srce.hr/file/45526> (pristupljeno 14. siječnja 2020.).
- Tomšić, Željko, Rajšl, Ivan, i Filipović, Matea. (2018). Niskouglična strategije Republike Hrvatske za elektroenergetski sektor do 2050. godine. *Zbornik odabranih radova 13. savjetovanja HRO CIGRE*: 101-110.
- Udovičić, Božo. (2004). Neodrživost održivog razvoja: energetske resursi u globalizaciji i slobodnom tržištu, Zagreb: Kigen.
- Ugovor o funkcioniranju Europske unije (pročišćena verzija), Službeni list Europske unije C 202/3, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:12016E/TXT&qid=1700638457309> (pristupljeno 3. svibnja 2023.).
- United Nations. (2023). Global Sustainable Development Report. <https://sdgs.un.org/goals> (pristupljeno 1. travnja 2024.)
- United Nations. (n.d.) What is renewable energy? <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy> (pristupljeno 19. ožujka 2023.).
- University of Calgary n.d. “Energy Education, Monopoly”, <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Monopoly> (pristupljeno 13. lipnja 2023.).
- Uredba (EU) 2018/1999 Europskog parlamenta i Vijeća od 11. prosinca 2018. o upravljanju energetske unijom i djelovanjem u području klime, izmjeni uredbi (EZ) br. 663/2009 i (EZ) br. 715/2009 Europskog parlamenta i Vijeća, direktiva 94/22/EZ, 98/70/EZ, 2009/31/EZ, 2009/73/EZ, 2010/31/EU, 2012/27/EU i 2013/30/EU Europskog parlamenta i Vijeća, direktiva Vijeća 2009/119/EZ i (EU) 2015/652 te stavljanju izvan snage Uredbe (EU) br. 525/2013 Europskog parlamenta i Vijeća, Službeni list Europske unije L 328/1, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN> (7. ožujka 2023.).
- Uredba (EU) 2019/941 Europskog parlamenta i Vijeća od 5. lipnja 2019. o pripravnosti na rizike u sektoru električne energije i stavljanju izvan snage Direktive 2005/89/EZ, L 158/1, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R0941&from=EN> (pristupljeno 5. lipnja 2023.).

- Uredba (EU) 2019/943 Europskog parlamenta i Vijeća od 5. lipnja 2019. o unutarnjem tržištu električne energije (preinaka). 2019. Službeni list Europske unije, L 158/54. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0943&from=HR> (pristupljeno 5. lipnja 2023.)
- Uredba (EU) 2022/869 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2022. godine o smjernicama za transeuropsku energetska infrastrukturu, izmjene uredaba (EZ) br. 715/2009, (EU) 2019/942 i (EU) 2019/943 i direktiva 2009/73/EZ i (EU) 2019/944 te stavljanju izvan snage Uredbe (EU) br. 347/2013. L 152/45. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:32022R0869> (pristupljeno 2. siječnja 2024.)
- Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija, *Narodne novine* br. 60/2020.
- Uredba o kvotama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija, *Narodne novine* br. 57/2020.
- Uredba o otklanjanju poremećaja na domaćem tržištu, *Narodne novine* 104/2022.
- Uredba o otklanjanju poremećaja na domaćem tržištu, *Narodne novine* 31/2023.
- Vijeće Europske unije. (2024). Veleprodajna tržišta energije: Vijeće donijelo zakon o zaštiti od manipulacije tržištem. <https://www.consilium.europa.eu/hr/press/press-releases/2024/03/18/wholesale-energy-markets-council-adopts-law-to-protect-against-market-manipulation/> (pristupljeno 1. travnja 2024.)
- Vlahinić Lenz, Nela, Živkov, Saša, i Gržeta, Ivan. (2019). *Novi izazovi u energetici, Ekonomska perspektiva*, Rijeka: Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci.
- Vlahinić, Nela, i Jakovac, Pavle. (2014). Revisiting the Energy Consumption – Growth Nexus for Croatia: New Evidence from a Multivariate Framework Analysis. *Contemporary Economics* 8(4): 435-452, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2548447 (pristupljeno 11. veljače 2021.)
- Vlahinić, Nela, Žiković, Saša. (2010). The role of energy in economic growth: the case of Croatia. *Zbornik radova Ekonomskog fakulteta u Rijeci*: 35-60.
- Vlahinić, Nela. (2015). Energy Market Liberalization in the EU: Quo Vadis, Croatia? U *New Europe – Old Values? Reform and Peseverance*, (ur.) Bodiroga-Vukobrat, Nada, Rodin, Siniša, Sander Gerald 245-261, London: Springer.
- Vlahinić-Dizdarević, Nela. (2014). Restrukturiranje i liberalizacija električne energije: Gdje je Hrvatska? *Gospodarska kretanja* 7(1): 99-104. https://www.researchgate.net/publication/236130672_Restrukturiranje_i_liberalizacija_trzista_elektricne_energije_Gdje_je_Hrvatska (pristupljeno 11. veljače 2024.)

- Wainstein, Martin E., i Bumpus, Adam G. 2(016). Business models as drivers of the low carbon power system transition: a multi-level perspective. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.095> (pristupljeno 4. lipnja 2023.)
- Wang, Dong, Amin Mugera, i Ben White. (2019). Directed Technical Change, Capital Intensity Increase and Energy Transition: Evidence from China. *Tehe Energy Journal* 40 (1): 277-296. <https://www.jstor.org/stable/27139285> (pristupljeno 11. veljače 2021.).
- Wiatros-Motyka, Malgorzata. (2023). *Global Electricity Review 2023*. <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2023/> (4. svibnja 2023.). Holjevac, Ninoslav, i Igor Kuzle. Prvi cjeloviti višefazni elektroenergetski sustav na svijetu – Krka Šibenik. *Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske* 2019 (1): 162-174. <https://hrcak.srce.hr/clanak/346624> (pristupljeno 29. listopada 2022.).
- World Nuclear Association. (2024). Carbon Dioxide Emissions From Electricity. <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/carbon-dioxide-emissions-from-electricity> (pristupljeno 2. svibnja 2024.)
- World Nuclear Association. (2024). *Carbon Dioxide Emissions From Electricity*. <https://www.world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/carbon-dioxide-emissions-from-electricity.aspx> (5. svibnja 2023.)
- Yang, Yang, Yan, Ling, i Gu, Jing. (2023). Vertical or horizontal: optimal integration strategy under separation of ownership and control. *Ekonomika istraživanja* 36 (1): 22133-2272. <https://doi.org/10.1080/1331677Y.2022.2097104> (pristupljeno 2. lipnja 2023.)
- Yu, Shiwei, Zheng, Yali, i Li, Longxi. (2019). A comprehensive evaluation of the development and utilization of China's regional renewable energy. *Energy Policy* 127, 73-86, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.056> (pristupljeno 11. veljače 2023.)
- Zakon o regulaciji energetske djelatnosti, *Narodne novine* 120/12, 68/18.
- Zakon o regulaciji energetske djelatnosti, *Narodne novine* 177/04, 76/07.
- Zakon o tržištu električne energije. *Narodne novine*, br. 111/21, 83/23. <https://www.zakon.hr/z/377/Zakon-o-tržištu-električne-energije> (pristupljeno 6. veljače 2021.).
- Zakon o zaštiti okoliša, *Narodne novine* br. 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18.
- Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, *Narodne novine* 138/21, 83/83.
- Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji. *Narodne novine*, br. 138/21, 83/23.

- Zhou, Dequn, Chong, Zhaotian, i Wang, Qunwei. (2020). What is the future policy for photovoltaic power applications in China? Lessons from the past. *Resources Policy* 65, 101575, <http://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101575> (pristupljeno 2. veljače 2024.)
- Zishan, F., Akbari, E., Montoya, O.D., Giral-Ramírez, D.A., i Nivia-Bargas, A.M. (2022). Electricity retail market and accountability-based strategic bidding model with short-term energy storage considering the uncertainty of consumer demand response. *Results in Engineering* 16(100679): 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100679> (pristupljeno 11. srpnja 2023.)

POPIS ILUSTRACIJA

POPIS TABLICA

Redni broj	Naslov tablica	Stranica
1.	Oblici primarne energije prema obnovljivosti i konvencionalnosti primjene	34
2.	Pregled osnovnih modela tržišta električne energije s obzirom na razinu konkurencije	54
3.	Glavne faze reforme tržišta električne energije	56
4.	Neto proizvodnja električne energije po zemljama članicama EU-27 2018. i 2022. godine	69
5.	Volumen trgovine električnom energijom na CROPEX-u, 2019.-2023. godine	84
6.	Kapaciteti prijenosne HOPS-a mreže HEP ODS-a u Republici Hrvatskoj, 2022. godine	89
7.	Kapaciteti distribucijske mreže HEP ODS-a u Republici Hrvatskoj, 2018. i 2022. godine	89
8.	Obračun cijena električne energije opskrbljivača električne energije na tržištu u Republici Hrvatskoj za tarifni model kućanstvo Plavi, na dan 28. ožujka 2024. godine	95
9.	Kapacitet elektrana na obnovljive izvore u Republici Hrvatskoj, 2016.-2022. godine	120
10.	Karakteristike elektrana u modelu dugoročne simulacije	131

POPIS GRAFIKONA

Redni broj	Naslov grafikona	Stranica
1.	Učinak monopolističkog tržišta u odnosu na konkurentsko tržište	47
2.	Učinak monopsonskog tržišta u odnosu na konkurentsko tržište	49
3.	Neto proizvodnja električne energije u Europskoj Uniji, 1990.-2022. godine	67
4.	Struktura izvora neto električne energije u EU-27 2018. i 2022. godine	68
5.	Ukupna potrošnja električne energije u EU-27 po sektorima, 2018. i 2022. godine	70
6.	Tržišni udio najvećeg proizvođača na tržištu električne energije u zemljama članicama Europske unije, 2018. i 2022. godine	71
7.	Cijene električne energije za kućanstva u EU-27, I. polugodište 2018. – I. polugodište 2023.	73
8.	Stope rasta neto proizvodnja električne energije u Republici Hrvatskoj, 1990.-2022. godine	85
9.	Međugodišnje stope bruto proizvodnje električne energije u Republici Hrvatskoj, 1991-2022. godine	86
10.	Odnosi uvoza, izvoza, ukupne domaće proizvodnje i ukupne potrošnje električne energije u Republici Hrvatskoj, 2018.-2022. godine	87
11.	Uvoz i izvoz električne energije u Republici Hrvatskoj, 2018.-2022. godine	88
12.	Gubitci u distribucijskoj mreži HEP ODS-a, 2018.-2022. godine	90
13.	Gubitci u prijenosnoj mreži HOPS, 2018.-2022. godine	91
14.	Ukupna potrošnja električne energije u EU-27 po sektorima, 2018. i 2022. godine	92
15.	Tržišni udio najvećeg proizvođača na tržištu električne energije u zemljama članicama Europske unije, 2018. i 2022. godine	93
16.	Prosječne cijene električne energije na CROPEX-u po mjesecima 2018.-2022.	96
17.	Prosječne polugodišnje cijene za kućanstvo u EU-27 i Republici	

	Hrvatskoj potrošnje od 1.000 kWh, 2018.-2023. godine	96
18.	Udio obnovljivih izvora u bruto potrošnji električne energije u EU-27, 2022. godine	104
19.	Udio obnovljivih izvora u bruto potrošnji električne energije u EU-27	104
20.	Obnovljivi izvori energije u bruto potrošnji električne energije u EU-27, 2022. godine	106
21.	Kapacitet elektrana na obnovljive izvore energije u EU-27, 2009.-2022. godine	107
22.	Udio elektrana na obnovljive izvore energije u ukupno instaliranom kapacitetu elektrana u EU-27, 2009.-2022. godine	109
23.	Neto proizvodnja električne energije iz elektrana na obnovljive izvore energije u EU-27, 2009.-2022. godine	110
24.	Neto proizvodnja električne energije iz elektrana na obnovljive izvore energije u EU-27, 2009.-2022. godine	110
25.	Udio obnovljivih izvora u neto proizvodnji električne energije u EU-27, 2022. godine	111
26.	Struktura neto proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u EU-27, 2022. godine	112
27.	Struktura raspoložive električne energije u Republici Hrvatskoj, 2016.-2023. godine	118
28.	Proizvodnja električne energije u Republici Hrvatskoj prema tehnologiji, 2016.-2023. godine	118
29.	Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora (bez hidroelektrana) u Republici Hrvatskoj, 2016.-2023. godine	119
30.	Udio obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije u Republici Hrvatskoj, 2016.-2023. godine	120
31.	Razmjena električne energije na interkonekcijama, 2016.-2023.	122
32.	Poticajne cijene za sunčane elektrane i vjetroelektrane te prosječna cijena električne energije na CROPEX-u	126
33.	Ključni pokazatelji sustava poticaja u Republici Hrvatskoj 2014.-2023. godine	126
34.	Instalirana snaga proizvodnih postrojenja povlaštenih proizvođača	

	prema grupi postrojenja u sustavu poticanja sustava poticaja u Republici Hrvatskoj, 2014.-2023. godine	127
35.	Instalirana snaga povlašćenih proizvođača prema tipu proizvodnih postrojenja i udio u ukupnoj instaliranoj snazi (MW) na dan 31. prosinca 2023. godine (Tarifni sustavi 2007., 2012. i 2013.)	127
36.	Specifične investicije u tehnologije obnovljivih izvora energije do 2050. godine	132
37.	Profili proizvodnje simuliranih vjetroelektrana u po područjima za mjesec siječanj	133
38.	Profili proizvodnje simuliranih vjetroelektrana po područjima za mjesec srpanj	134
39.	Profil proizvodnje simuliranih sunčanih elektrana po istraživanim područjima u mjesecu siječnju	135
40.	Profil proizvodnje simuliranih sunčanih elektrana po istraživanim područjima u mjesecu srpnju	135
41.	Opterećenje elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske u 2019. godini (MWh)	136
42.	Opterećenje elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske u 2020. godini (MWh)	137
43.	Cijene električne energije na CROPEX DA u 2019. godini (EUR/MWh)	138
44.	Cijene električne energije na CROPEX DA u 2020. godini (EUR/MWh)	138
45.	Cijene električne energije na tržištu u dugoročnom modelu za scenarij s konstantnim cijenama kao u 2019. godini (EUR/MWh)	139
46.	CROPEX DA cijena električne energije, rujanj 2021.	140
47.	Cijene električne energije na tržištu u dugoročnom modelu za scenarij s početnom cijenom iz 2019. godine i rastom od 2 % godišnje (EUR/MWh)	140
48.	Cijene električne energije na tržištu u dugoročnom modelu za scenarij s početnom cijenom iz 2019. godine i rastom od 4 % godišnje (EUR/MWh)	141
49.	Cijene električne energije na tržištu u dugoročnom modelu za	

	scenarij s početnom cijenom iz 2019. godine i rastom od 6 % godišnje (EUR/MWh)	141
50.	Usporedba marginalnih cijena (MC) sunčanih elektrana i vjetroelektrana s cijenama na tržištu u scenariju “2019 konst.”	144
51.	Preneseni prihodi za vjetroelektranu Južni Jadran u Scenariju “2019. konst.”	145
52.	Preneseni prihodi za vjetroelektranu Srednji Jadran u Scenariju “2019. konst.”	146
53.	Preneseni prihodi za vjetroelektranu Sjeverni Jadran u Scenariju “2019. konst.”	146
54.	Preneseni prihodi za sunčanu elektranu na području Dalmacije u Scenariju “2019. konst.”	147
55.	Preneseni prihodi za sunčanu elektranu na području Primorja u Scenariju “2019. konst.”	148
56.	Preneseni prihodi za sunčanu elektranu na području Unutrašnjosti u Scenariju “2019. konst.”	148
57.	Usporedba MC (marginalne cijene) SE i VE elektrana s cijenama na tržištu u scenariju “2019 +2 % godišnje”	149
58.	Usporedba marginalne cijene sunčanih elektrana i vjetroelektrana s cijenama električne energije na tržištu u scenariju “2019 +4 % godišnje”	150
59.	Preneseni prihodi za vjetroelektrane Južni Jadran u Scenariju “2019. +4 % godišnje”	151
60.	Preneseni prihodi za vjetroelektrane Srednji Jadran u Scenariju “2019. +4 % godišnje”	152
61.	Preneseni prihodi za vjetroelektrane Sjeverni Jadran u Scenariju “2019. +4 % godišnje”	152
62.	Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Dalmacija u Scenariju “2019. +4 % godišnje”	153
63.	Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Primorje u Scenariju “2019. +4 % godišnje”	154
64.	Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Unutrašnjosti u Scenariju “2019. +4 % godišnje”	154

65.	Usporedba marginalne cijene sunčanih elektrana i vjetroelektrana s cijenama na tržištu u scenariju “2019 +6 % godišnje”	155
66.	Preneseni prihodi za vjetroelektranu Južni Jadran u Scenariju “2019. +6 % godišnje”	156
67.	Preneseni prihodi za vjetroelektrane Srednji Jadran u Scenariju “2019. +6 % godišnje”	157
68.	Preneseni prihodi za vjetroelektranu Sjeverni Jadran u Scenariju “2019. +6 % godišnje”	157
69.	Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Dalmacija u Scenariju “2019. +6 % godišnje”	158
70.	Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Primorje u Scenariju “2019. +6 % godišnje”	158
71.	Preneseni prihodi za sunčanu elektranu Unutrašnjost u Scenariju “2019. +6 % godišnje”	159

POPIS SHEMA

Redni broj	Naslov shema	Stranica
1.	Vertikalno integrirana poduzeća u elektroenergetskom sustavu	38
2.	Prikaz različitih oblika razdvajanja	43
3.	Model monopola na tržištu električne energije	47
4.	Primjena agencijskog modela tržišta električne energije. a) integrirani model, b) deintegrirani model	48
5.	Model veleprodajnog tržišta električne energije	50
6.	Model maloprodajnog tržišta električne energije	53
7.	Dizajn tržišta električne energije u Europskoj uniji	66
8.	Model tržišta bilančnih grupa i njihov međuodnos na tržištu električne energije u Republici Hrvatskoj	80
9.	Europski zeleni plan	101

POPIS SLIKA

Redni broj	Naslov slika	Stranica
1.	Postavke za promatrani vremenski horizont simulacije u PLEXOS-u	142
2.	Karakteristike za dugoročni plan (dugoročno planiranje) simulacije u PLEXOS-u	142
3.	Karakteristike za srednjoročni plan (kratkoročno planiranje) simulacije u PLEXOS-u	143

PRILOZI

Prilog 1: Scenarij "2019. konstanta"

Godišnji trošak izgradnje EUR 000							
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW	
2021	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2022	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2023	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2024	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2025	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2026	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2027	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2028	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2029	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2030	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2031	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2032	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2033	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2034	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2035	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47	
2036	0	0	0	0	0	0	
2037	0	0	0	0	0	0	
2038	0	0	0	0	0	0	
2039	0	0	0	0	0	0	
2040	0	0	0	0	0	0	
2041	0	0	0	0	0	0	
2042	0	0	0	0	0	0	
2043	0	0	0	0	0	0	
2044	0	0	0	0	0	0	
2045	0	0	0	0	0	0	
2046	0	0	0	0	0	0	

Ukupni troškovi izgradnje EUR 000						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2022	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2023	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2024	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2025	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2026	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2027	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2028	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2029	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2030	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2031	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2032	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2033	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2034	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2035	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2036	270,74	270,74	270,74	100,27	100,27	100,27
2037	270	270	270	100	100	100
2038	270	270	270	100	100	100
2039	270	270	270	100	100	100
2040	270,74	270,74	270,74	100,27	100,27	100,27
2041	270	270	270	100	100	100
2042	270	270	270	100	100	100
2043	270	270	270	100	100	100
2044	270,74	270,74	270,74	100,27	100,27	100,27
2045	270	270	270	100	100	100
2046	0	0	0	100	100	100

Ukupna godišnja proizvodnja							
Godina	Prosječna cijena	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2022	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2023	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2024	49,27977004	23031,6	19229,9	20712,6	13261,4	11523,3	11828,3
2025	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2026	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2027	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2028	49,27977004	23031,6	19229,9	20712,6	13261,4	11523,3	11828,3
2029	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2030	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2031	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2032	49,27977004	23031,6	19229,9	20712,6	13261,4	11523,3	11828,3
2033	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2034	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2035	49,27354224	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2036	49,27977004	22345,4	18303,3	19938,6	13147,4	11430	11779,9
2037	49,27354224	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2038	49,2737393	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2039	49,27218582	22985,4	20699,3	19194	13227,8	11498,6	11793,5
2040	49,27977004	23031,6	20712,6	19229,9	13261,4	11523,3	11828,3
2041	49,27354224	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2042	49,27354224	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2043	49,27354224	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2044	49,27977004	23031,6	20712,6	19229,9	13261,4	11523,3	11828,3
2045	49,27354224	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2046	49,48540278	0	0	0	13132,4	11426,4	11763,4

Ukupni godišnji prihodi						
Godina	VE JJ 10 €	VE SR 10 €	VE SJ 10 €	SE Dalmacija 10 €	SE Primorje 10 €	SE Unutrašnjost 10 €
2021	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2022	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2023	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2024	1146065,51	925251,25	1020984,61	685885,48	591961,04	601352,08
2025	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2026	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2027	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2028	1146065,51	925251,25	1020984,61	685885,48	591961,04	601352,08
2029	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2030	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2031	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2032	1146065,51	925251,25	1020984,61	685885,48	591961,04	601352,08
2033	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2034	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2035	1143579,64	923021,13	1019973,62	684139,18	590698,82	599542,59
2036	1123212,62	894142,05	994952,54	681784,19	588670,04	599590,66
2037	1143579,64	1019973,62	923021,13	684139,18	590698,82	599542,59
2038	1143579,64	1019973,62	923021,13	684139,18	590698,82	599542,59
2039	1143631,99	1020186,74	923211,82	684139,18	590698,82	599542,59
2040	1146065,51	1020984,61	925251,25	685885,48	591961,04	601352,08
2041	1143579,64	1019973,62	923021,13	684139,18	590698,82	599542,59
2042	1143579,64	1019973,62	923021,13	684139,18	590698,82	599542,59
2043	1143579,64	1019973,62	923021,13	684139,18	590698,82	599542,59
2044	1146065,51	1020984,61	925251,25	685885,48	591961,04	601352,08
2045	1143579,64	1019973,62	923021,13	684139,18	590698,82	599542,59
2046	0	0	0	680641,78	588098,96	598380,99

Godišnje marginalne cijene						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2022	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2023	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2024	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2025	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2026	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2027	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2028	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2029	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2030	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2031	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2032	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2033	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2034	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2035	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2036	12,11614023	14,79186813	13,57868657	7,626602979	8,772528434	8,511956808
2037	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2038	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2039	11,74658696	13,04391936	14,0668959	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2040	11,75515379	13,07127063	14,07911638	7,561041821	8,701500438	8,477126891
2041	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2042	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2043	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2044	11,75515379	13,07127063	14,07911638	7,561041821	8,701500438	8,477126891
2045	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2046				7,614754348	8,751662816	8,500943605

Ukupni troškovi						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2022	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2023	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2024	1.575.100,00	-1.575.100,00	-1.575.100,00	-1.265.740,00	1.265.740,00	-1.265.740,00
2025	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2026	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2027	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2028	1.575.100,00	-1.575.100,00	-1.575.100,00	-1.265.740,00	1.265.740,00	-1.265.740,00
2029	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2030	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2031	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2032	1.575.100,00	-1.575.100,00	-1.575.100,00	-1.265.740,00	1.265.740,00	-1.265.740,00
2033	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2034	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2035	1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.574.360,00	-1.265.470,00	1.265.470,00	-1.265.470,00
2036	-270.740,00	-270.740,00	-270.740,00	-100.270,00	-100.270,00	-100.270,00
2037	-270.000,00	-270.000,00	-270.000,00	-100.000,00	-100.000,00	-100.000,00
2038	-270.000,00	-270.000,00	-270.000,00	-100.000,00	-100.000,00	-100.000,00
2039	-270.000,00	-270.000,00	-270.000,00	-100.000,00	-100.000,00	-100.000,00
2040	-270.740,00	-270.740,00	-270.740,00	-100.270,00	-100.270,00	-100.270,00
2041	-270.000,00	-270.000,00	-270.000,00	-100.000,00	-100.000,00	-100.000,00
2042	-270.000,00	-270.000,00	-270.000,00	-100.000,00	-100.000,00	-100.000,00
2043	-270.000,00	-270.000,00	-270.000,00	-100.000,00	-100.000,00	-100.000,00
2044	-270.740,00	-270.740,00	-270.740,00	-100.270,00	-100.270,00	-100.270,00
2045	-270.000,00	-270.000,00	-270.000,00	-100.000,00	-100.000,00	-100.000,00
2046	0,00	0,00	0,00	-100.000,00	-100.000,00	-100.000,00

Ukupni prihodi						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2022	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2023	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2024	-429.034,49	-649.848,75	-554.115,39	-579.854,52	-673.778,96	-664.387,92
2025	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2026	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2027	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2028	-429.034,49	-649.848,75	-554.115,39	-579.854,52	-673.778,96	-664.387,92
2029	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2030	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2031	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2032	-429.034,49	-649.848,75	-554.115,39	-579.854,52	-673.778,96	-664.387,92
2033	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2034	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2035	-430.780,36	-651.338,87	-554.386,38	-581.330,82	-674.771,18	-665.927,41
2036	852.472,62	623.402,05	724.212,54	581.514,19	488.400,04	499.320,66
2037	873.579,64	749.973,62	653.021,13	584.139,18	490.698,82	499.542,59
2038	873.579,64	749.973,62	653.021,13	584.139,18	490.698,82	499.542,59
2039	873.631,99	750.186,74	653.211,82	584.139,18	490.698,82	499.542,59
2040	875.325,51	750.244,61	654.511,25	585.615,48	491.691,04	501.082,08
2041	873.579,64	749.973,62	653.021,13	584.139,18	490.698,82	499.542,59
2042	873.579,64	749.973,62	653.021,13	584.139,18	490.698,82	499.542,59
2043	873.579,64	749.973,62	653.021,13	584.139,18	490.698,82	499.542,59
2044	875.325,51	750.244,61	654.511,25	585.615,48	491.691,04	501.082,08
2045	873.579,64	749.973,62	653.021,13	584.139,18	490.698,82	499.542,59
2046	0,00	0,00	0,00	580.641,78	488.098,96	498.380,99
Ukupno	2.261.765,68	-2.391.692,96	-1.710.409,09	-2.293.172,21	-4.723.818,22	-4.487.628,74

Prilog 2: Scenariju “2019 +2 % godišnje”

Prosječni troškovi izgradnje EUR 000						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2022	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2023	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2024	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2025	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2026	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2027	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2028	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2029	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2030	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2031	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2032	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2033	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2034	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2035	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2036	0	0	0	0	0	0

Ukupni troškovi						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2022	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2023	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2024	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2025	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2026	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2027	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2028	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2029	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2030	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2031	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2032	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2033	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2034	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2035	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2036	270,74	270,74	270,74	100,27	100,27	100,27

Ukupna godišnja proizvodnja							
Godina	Prosječna cijena	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	50,23938356	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2022	51,25913242	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2023	52,29018265	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2024	53,19285064	23031,6	19229,9	20712,6	13261,4	11523,3	11828,3
2025	54,40068493	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2026	55,49109589	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2027	56,58938356	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2028	57,57137978	23031,6	19229,9	20712,6	13261,4	11523,3	11828,3
2029	58,90262557	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2030	60,06940639	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2031	61,2673516	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2032	62,32206284	23031,6	19229,9	20712,6	13261,4	11523,3	11828,3
2033	63,73515982	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2034	65,01289954	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2035	66,30833333	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2036	67,84224537	22345,4	18303,3	19938,6	13147,4	11430	11779,9

Prosječni godišnji prihodi						
Godina	VE JJ 10 €	VE SR 10 €	VE SJ 10 €	SE Dalmacija 10 €	SE Primorje 10 €	SE Unutrašnjost 10 €
2021	1143521,9	920868,9	1006647,1	702074,3	605018,6	621319,2
2022	1186118,9	953545,8	1050335,6	711594,6	615370,7	627225,5
2023	1190126,2	955667,5	1048619,6	729532,8	628938,1	643530,1
2024	1238829,5	999201,7	1103259,8	740026	639471,5	648633
2025	1249722,2	1010274,3	1125153,4	756556,4	654056,8	666660,9
2026	1275585,2	1033352,8	1132432,6	772871,7	667616,5	685537,8
2027	1288002,5	1037244,2	1133894,5	790878,6	681547	699859,8
2028	1312868,4	1054598,2	1156193,9	805209,7	694178,7	708815
2029	1359821,2	1090241,6	1205718	819136,8	708545,3	720653
2030	1394161,1	1125225,4	1243405,8	834082,9	720205,8	730952,5
2031	1407412,5	1137617,2	1267247,8	852047,7	736600,8	750770,7
2032	1422465,5	1146140,2	1249853,6	874351,2	753136,4	773466
2033	1474714,7	1185568,9	1305924,5	884781,9	765118,8	779866,5
2034	1479881,6	1188348,5	1303867,3	906923,5	781844,2	799969,7
2035	1530743,1	1227264,9	1357219,2	922158,6	797699,6	811246,7
2036	1531964,6	1221091,6	1363810,9	933437,7	807852,1	824565,3

Godišnja marginalna cijena						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2022	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2023	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2024	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2025	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2026	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2027	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2028	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2029	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2030	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2031	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2032	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2033	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2034	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2035	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2036	12,11614023	14,79186813	13,57868657	7,626602979	8,772528434	8,511956808

Ukupni troškovi						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2022	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2023	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2024	-1,5751	-1,5751	-1,5751	-1,26574	-1,26574	-1,26574
2025	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2026	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2027	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2028	-1,5751	-1,5751	-1,5751	-1,26574	-1,26574	-1,26574
2029	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2030	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2031	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2032	-1,5751	-1,5751	-1,5751	-1,26574	-1,26574	-1,26574
2033	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2034	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2035	-1,57436	-1,57436	-1,57436	-1,26547	-1,26547	-1,26547
2036	-0,27074	-0,27074	-0,27074	-0,10027	-0,10027	-0,10027

Ukupni godišnji prihodi						
Godina	VE JJ 10 €	VE SR 10 €	VE SJ 10 €	SE Dalmacija 10 €	SE Primorje 10 €	SE Unutrašnjost 10 €
2021	1,1435219	0,9208689	1,0066471	0,7020743	0,6050186	0,6213192
2022	1,1861189	0,9535458	1,0503356	0,7115946	0,6153707	0,6272255
2023	1,1901262	0,9556675	1,0486196	0,7295328	0,6289381	0,6435301
2024	1,2388295	0,9992017	1,1032598	0,740026	0,6394715	0,648633
2025	1,2497222	1,0102743	1,1251534	0,7565564	0,6540568	0,6666609
2026	1,2755852	1,0333528	1,1324326	0,7728717	0,6676165	0,6855378
2027	1,2880025	1,0372442	1,1338945	0,7908786	0,681547	0,6998598
2028	1,3128684	1,0545982	1,1561939	0,8052097	0,6941787	0,708815
2029	1,3598212	1,0902416	1,205718	0,8191368	0,7085453	0,720653
2030	1,3941611	1,1252254	1,2434058	0,8340829	0,7202058	0,7309525
2031	1,4074125	1,1376172	1,2672478	0,8520477	0,7366008	0,7507707
2032	1,4224655	1,1461402	1,2498536	0,8743512	0,7531364	0,773466
2033	1,4747147	1,1855689	1,3059245	0,8847819	0,7651188	0,7798665
2034	1,4798816	1,1883485	1,3038673	0,9069235	0,7818442	0,7999697
2035	1,5307431	1,2272649	1,3572192	0,9221586	0,7976996	0,8112467
2036	1,5319646	1,2210916	1,3638109	0,9334377	0,8078521	0,8245653

Prilog 3: Scenarij “2019 +4 % godišnje”

Godišnji trošak izgradnje EUR 000						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2022	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2023	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2024	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2025	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2026	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2027	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2028	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2029	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2030	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2031	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2032	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2033	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2034	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2035	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2036	0	0	0	0	0	0
2037	0	0	0	0	0	0
2038	0	0	0	0	0	0
2039	0	0	0	0	0	0
2040	0	0	0	0	0	0
2041	0	0	0	0	0	0
2042	0	0	0	0	0	0
2043	0	0	0	0	0	0
2044	0	0	0	0	0	0
2045	0	0	0	0	0	0
2046	0	0	0	0	0	0

Ukupni troškovi						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2022	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2023	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2024	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2025	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2026	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2027	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2028	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2029	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2030	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2031	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2032	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2033	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2034	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2035	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2036	270,74	270,74	270,74	100,27	100,27	100,27
2037	270	270	270	100	100	100
2038	270	270	270	100	100	100
2039	270	270	270	100	100	100
2040	270,74	270,74	270,74	100,27	100,27	100,27
2041	270	270	270	100	100	100
2042	270	270	270	100	100	100
2043	270	270	270	100	100	100
2044	270,74	270,74	270,74	100,27	100,27	100,27
2045	270	270	270	100	100	100
2046	0	0	0	100	100	100

Ukupna godišnja proizvodnja							
Godina	Prosječna cijena	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	51,25502283	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2022	53,29041096	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2023	55,42636986	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2024	57,48622495	23031,6	19229,9	20712,6	13261,4	11523,3	11828,3
2025	59,95639269	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2026	62,35559361	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2027	64,83972603	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2028	67,24977231	23031,6	19229,9	20712,6	13261,4	11523,3	11828,3
2029	70,12260274	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2030	72,93116438	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2031	75,85388128	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2032	78,66313752	23031,6	19229,9	20712,6	13261,4	11523,3	11828,3
2033	82,03527397	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2034	85,32705479	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2035	88,73310502	22984	19188,9	20693,6	13227,8	11498,6	11793,5
2036	92,03369763	22345,4	18303,3	19938,6	13147,4	11430	11779,9
2037	95,98458904	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2038	99,83894533	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2039	103,8092683	22985,4	20699,3	19194	13227,8	11498,6	11793,5
2040	107,667122	23031,6	20712,6	19229,9	13261,4	11523,3	11828,3
2041	112,2864155	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2042	116,7753425	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2043	121,4447489	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2044	125,9610656	23031,6	20712,6	19229,9	13261,4	11523,3	11828,3
2045	131,3502283	22984	20693,6	19188,9	13227,8	11498,6	11793,5
2046	137,24375	0	0	0	13132,4	11426,4	11763,4

Godišnji prihodi							SE
Godina	VE JJ 10 €	VE SR 10 €	VE SJ 10 €	SE Dalmacija 10 €	SE Primorje 10 €	SE	Unutrašnjost 10 €
2021	1166714	939653,7	1026955,3	716100,4	617129,6	633703,7	
2022	1233150,4	991370,8	1091919,4	739860,9	639810,8	652121,5	
2023	1261636,5	1013079,9	1111524,7	773142,4	666535,7	682008	
2024	1339025,3	1080071,6	1192408	799630	690977	700958,4	
2025	1377345,7	1113345,4	1240003,8	833814,5	720858,3	734720,1	
2026	1433212	1161061,9	1272401	868539	750247,8	770400,5	
2027	1475793,4	1188564,6	1299192,6	906073,5	780794	801781,6	
2028	1533458,8	1231879,1	1350363,5	940453,6	810842,2	827931	
2029	1619007,4	1298066,8	1435663,5	975127,3	843524,7	857841,3	
2030	1692655,1	1366130,8	1509752,9	1012640	874311,3	887418,5	
2031	1742606,5	1408525	1568843,6	1054943,8	912048,1	929629,6	
2032	1795298,6	1446451,4	1577377,5	1103605,2	950630,8	976234,9	
2033	1898285,2	1526207,8	1680896,3	1138802,1	984819,9	1003841,2	
2034	1942179,4	1559668,4	1711202,4	1190419,6	1026255,2	1050092,4	
2035	2048611,8	1642595,1	1816579,5	1233907,8	1067326,8	1085518,5	
2036	2090012	1665956,7	1860649,9	1273458	1102159,5	1124964	
2037	2206075,4	1958556,8	1787139	1337019,4	1154976,6	1185978,8	
2038	2272424,1	2000445,6	1829990,8	1395160,3	1202293,9	1234577	
2039	2402286,8	2127583,8	1931558,2	1441072,4	1246209,7	1270269,5	
2040	2498804,3	2208184,3	2002799,1	1502659,9	1299040,4	1323327,4	
2041	2605932,1	2324241,7	2103371,5	1559121,3	1346172,8	1366338,7	
2042	2682578,3	2415179	2168411,2	1623971,6	1403909,7	1430983	
2043	2791370,7	2478218,2	2261377,8	1691599,6	1461255,5	1500484,7	
2044	2854662,4	2523808	2304157,1	1778116,1	1528285	1573570,6	
2045	2989799	2634113,6	2400902,1	1832513,4	1579815,3	1616450,7	
2046	0	0	0	1890812,5	1636522,9	1668640,6	

Godišnja marginalna cijena						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2022	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2023	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2024	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2025	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2026	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2027	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2028	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2029	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2030	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2031	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2032	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2033	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2034	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2035	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2036	12,11614023	14,79186813	13,57868657	7,626602979	8,772528434	8,511956808
2037	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2038	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2039	11,74658696	13,04391936	14,0668959	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2040	11,75515379	13,07127063	14,07911638	7,561041821	8,701500438	8,477126891
2041	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2042	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2043	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2044	11,75515379	13,07127063	14,07911638	7,561041821	8,701500438	8,477126891
2045	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2046				7,614754348	8,751662816	8,500943605

Ukupni troškovi						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2022	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2023	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2024	-1575100	-1575100	-1575100	-1265740	-1265740	-1265740
2025	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2026	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2027	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2028	-1575100	-1575100	-1575100	-1265740	-1265740	-1265740
2029	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2030	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2031	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2032	-1575100	-1575100	-1575100	-1265740	-1265740	-1265740
2033	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2034	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2035	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2036	-270740	-270740	-270740	-100270	-100270	-100270
2037	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2038	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2039	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2040	-270740	-270740	-270740	-100270	-100270	-100270
2041	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2042	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2043	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2044	-270740	-270740	-270740	-100270	-100270	-100270
2045	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2046	0	0	0	-100000	-100000	-100000

Ukupni prihodi						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	-407646	-634706,3	-547404,7	-549369,6	-648340,4	-631766,3
2022	-341209,6	-582989,2	-482440,6	-525609,1	-625659,2	-613348,5
2023	-312723,5	-561280,1	-462835,3	-492327,6	-598934,3	-583462
2024	-236074,7	-495028,4	-382692	-466110	-574763	-564781,6
2025	-197014,3	-461014,6	-334356,2	-431655,5	-544611,7	-530749,9
2026	-141148	-413298,1	-301959	-396931	-515222,2	-495069,5
2027	-98566,6	-385795,4	-275167,4	-359396,5	-484676	-463688,4
2028	-41641,2	-343220,9	-224736,5	-325286,4	-454897,8	-437809
2029	44647,4	-276293,2	-138696,5	-290342,7	-421945,3	-407628,7
2030	118295,1	-208229,2	-64607,1	-252830	-391158,7	-378051,5
2031	168246,5	-165835	-5516,4	-210526,2	-353421,9	-335840,4
2032	220198,6	-128648,6	2277,5	-162134,8	-315109,2	-289505,1
2033	323925,2	-48152,2	106536,3	-126667,9	-280650,1	-261628,8
2034	367819,4	-14691,6	136842,4	-75050,4	-239214,8	-215377,6
2035	474251,8	68235,1	242219,5	-31562,2	-198143,2	-179951,5
2036	1819272	1395216,7	1589909,9	1173188	1001889,5	1024694
2037	1936075,4	1688556,8	1517139	1237019,4	1054976,6	1085978,8
2038	2002424,1	1730445,6	1559990,8	1295160,3	1102293,9	1134577
2039	2132286,8	1857583,8	1661558,2	1341072,4	1146209,7	1170269,5
2040	2228064,3	1937444,3	1732059,1	1402389,9	1198770,4	1223057,4
2041	2335932,1	2054241,7	1833371,5	1459121,3	1246172,8	1266338,7
2042	2412578,3	2145179	1898411,2	1523971,6	1303909,7	1330983
2043	2521370,7	2208218,2	1991377,8	1591599,6	1361255,5	1400484,7
2044	2583922,4	2253068	2033417,1	1677846,1	1428015	1473300,6
2045	2719799	2364113,6	2130902,1	1732513,4	1479815,3	1516450,7
2046	0	0	0	1790812,5	1536522,9	1568640,6
Ukupno	22633085,2	14983120	15215600,7	11528894,6	7213083,5	7806116,2

Prilog 4: Scenarij “2019 +6 % godišnje”

Godišnji troškovi izgradnje EUR 000						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2022	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2023	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2024	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2025	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2026	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2027	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2028	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2029	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2030	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2031	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2032	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2033	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2034	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2035	1304,36	1304,36	1304,36	1165,47	1165,47	1165,47
2036	0	0	0	0	0	0
2037	0	0	0	0	0	0
2038	0	0	0	0	0	0
2039	0	0	0	0	0	0
2040	0	0	0	0	0	0
2041	0	0	0	0	0	0
2042	0	0	0	0	0	0
2043	0	0	0	0	0	0
2044	0	0	0	0	0	0
2045	0	0	0	0	0	0
2046	0	0	0	0	0	0

Ukupni troškovi						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2022	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2023	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2024	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2025	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2026	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2027	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2028	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2029	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2030	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2031	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2032	1575,1	1575,1	1575,1	1265,74	1265,74	1265,74
2033	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2034	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2035	1574,36	1574,36	1574,36	1265,47	1265,47	1265,47
2036	270,74	270,74	270,74	100,27	100,27	100,27
2037	270	270	270	100	100	100
2038	270	270	270	100	100	100
2039	270	270	270	100	100	100
2040	270,74	270,74	270,74	100,27	100,27	100,27
2041	270	270	270	100	100	100
2042	270	270	270	100	100	100
2043	270	270	270	100	100	100
2044	270,74	270,74	270,74	100,27	100,27	100,27
2045	270	270	270	100	100	100
2046	0	0	0	100	100	100

Ukupni godišnji prihodi						
Godina	VE JJ 10 €	VE SR 10 €	VE SJ 10 €	SE Dalmacija 10 €	SE Primorje 10 €	SE Unutrašnjost 10 €
2021	1189103,7	959603,8	1047651,9	728194,7	628455,7	644650,3
2022	1280975,8	1030741	1135181,5	767670,7	664777,5	676120,2
2023	1334900,7	1073422,4	1176450,5	816744,2	705195,8	719781,8
2024	1444796,3	1166773,1	1286716,2	861027,7	745266,6	754589,9
2025	1514408	1224717,4	1364931,7	915316,3	792737,9	806166,1
2026	1605142,3	1301444,9	1426706,8	972078,3	841540,6	862059,8
2027	1686422,2	1360902,6	1485687,9	1032488,5	891050,4	914009,8
2028	1784332,9	1435314,8	1572194,3	1092547,1	943958,2	960857,3
2029	1918524,9	1540207,8	1703446,8	1155003,5	1000482	1014804,8
2030	2047835,9	1654621,9	1826098,9	1222539,8	1057179,4	1070973,7
2031	2147781,4	1736990	1935938,6	1298352,1	1124484,9	1143513,4
2032	2257508,8	1822468,6	1985285,1	1384834,8	1194699,2	1225182,6
2033	2431516,6	1956593,7	2154948,8	1457106,6	1261769,5	1283366,4
2034	2534579,9	2038087,7	2233916,4	1550888	1339159,3	1366810,5
2035	2721528,2	2184822,4	2416537	1638926,9	1419695,8	1440050,3
2036	2834729,5	2261176,7	2525014,4	1724501,6	1495241,3	1521850,2
2037	3047422,4	2708703,1	2470704,8	1845539,4	1597812,4	1636724,2
2038	3202155,9	2821234,5	2584288	1960989,7	1692419,1	1735990,4
2039	3449303,9	3057391,3	2775844,1	2067106,6	1790015,3	1820631,2
2040	3651433,3	3230502,2	2930859,4	2195053,6	1899598,3	1930802
2041	3887312,5	3466383,6	3140787,8	2320860,7	2006923,5	2033089,3
2042	4076980,8	3674888,3	3297307,3	2464469,7	2134432,5	2170493,2
2043	4322830,2	3842304,8	3504727,5	2617715,7	2266283	2321520,3
2044	4508341,1	3987475,1	3643567,4	2803265,8	2414519,1	2479494,2
2045	4811184,6	4240515,1	3868709,7	2944098,6	2542183,4	2594576,1
2046	0	0	0	3096044,2	2683388,3	2728742,8

Godišnje marginalne cijene						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2022	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2023	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2024	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2025	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2026	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2027	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2028	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2029	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2030	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2031	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2032	68,38864864	81,90890228	76,04549888	95,44542808	109,8417988	107,0094604
2033	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2034	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2035	68,49808562	82,04534913	76,07956083	95,66745793	110,0542675	107,3023276
2036	12,11614023	14,79186813	13,57868657	7,626602979	8,772528434	8,511956808
2037	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2038	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2039	11,74658696	13,04391936	14,0668959	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2040	11,75515379	13,07127063	14,07911638	7,561041821	8,701500438	8,477126891
2041	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2042	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2043	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2044	11,75515379	13,07127063	14,07911638	7,561041821	8,701500438	8,477126891
2045	11,74730247	13,04751227	14,07063459	7,559836103	8,696710904	8,479247043
2046				7,614754348	8,751662816	8,500943605

Ukupni troškovi						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2022	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2023	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2024	-1575100	-1575100	-1575100	-1265740	-1265740	-1265740
2025	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2026	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2027	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2028	-1575100	-1575100	-1575100	-1265740	-1265740	-1265740
2029	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2030	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2031	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2032	-1575100	-1575100	-1575100	-1265740	-1265740	-1265740
2033	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2034	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2035	-1574360	-1574360	-1574360	-1265470	-1265470	-1265470
2036	-270740	-270740	-270740	-100270	-100270	-100270
2037	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2038	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2039	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2040	-270740	-270740	-270740	-100270	-100270	-100270
2041	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2042	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2043	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2044	-270740	-270740	-270740	-100270	-100270	-100270
2045	-270000	-270000	-270000	-100000	-100000	-100000
2046	0	0	0	-100000	-100000	-100000

Ukupni prihodi						
Godina	VE JJ 10 MW	VE SR 10 MW	VE SJ 10 MW	SE Dalmacija 10 MW	SE Primorje 10 MW	SE Unutrašnjost 10 MW
2021	-385256,3	-614756,2	-526708,1	-537275,3	-637014,3	-620819,7
2022	-293384,2	-543619	-439178,5	-497799,3	-600692,5	-589349,8
2023	-239459,3	-500937,6	-397909,5	-448725,8	-560274,2	-545688,2
2024	-130303,7	-408326,9	-288383,8	-404712,3	-520473,4	-511150,1
2025	-59952	-349642,6	-209428,3	-350153,7	-472732,1	-459303,9
2026	30782,3	-272915,1	-147653,2	-293391,7	-423929,4	-403410,2
2027	112062,2	-213457,4	-88672,1	-232981,5	-374419,6	-351460,2
2028	209232,9	-139785,2	-2905,7	-173192,9	-321781,8	-304882,7
2029	344164,9	-34152,2	129086,8	-110466,5	-264988	-250665,2
2030	473475,9	80261,9	251738,9	-42930,2	-208290,6	-194496,3
2031	573421,4	162630	361578,6	32882,1	-140985,1	-121956,6
2032	682408,8	247368,6	410185,1	119094,8	-71040,8	-40557,4
2033	857156,6	382233,7	580588,8	191636,6	-3700,5	17896,4
2034	960219,9	463727,7	659556,4	285418	73689,3	101340,5
2035	1147168,2	610462,4	842177	373456,9	154225,8	174580,3
2036	2563989,5	1990436,7	2254274,4	1624231,6	1394971,3	1421580,2
2037	2777422,4	2438703,1	2200704,8	1745539,4	1497812,4	1536724,2
2038	2932155,9	2551234,5	2314288	1860989,7	1592419,1	1635990,4
2039	3179303,9	2787391,3	2505844,1	1967106,6	1690015,3	1720631,2
2040	3380693,3	2959762,2	2660119,4	2094783,6	1799328,3	1830532
2041	3617312,5	3196383,6	2870787,8	2220860,7	1906923,5	1933089,3
2042	3806980,8	3404888,3	3027307,3	2364469,7	2034432,5	2070493,2
2043	4052830,2	3572304,8	3234727,5	2517715,7	2166283	2221520,3
2044	4237601,1	3716735,1	3372827,4	2702995,8	2314249,1	2379224,2
2045	4541184,6	3970515,1	3598709,7	2844098,6	2442183,4	2494576,1
2046	0	0	0	2996044,2	2583388,3	2628742,8
	39371211,8	29457446,8	29173662,8	22849694,8	17049599	17773180,8