

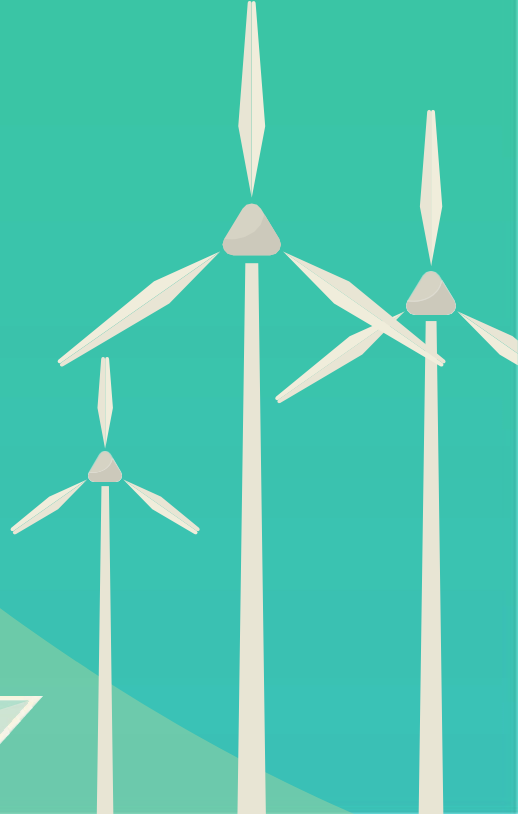
ISSN 0354-8651



List Saveza energetičara
Broj 2 / Godina XXV / Jun 2023.

energija

| ekonomija | ekologija



e3e

Energija / Ekonomija / Ekologija

Broj 2, Jun 2023

Izdavač:

Savez energetičara
Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd
e-mail: info@savezenergeticara.org
<http://www.savezenergeticara.org>

Suizdavači:

Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet,
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet,
Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu

Predsednik Saveza energetičara:

prof. dr Nikola Rajaković

Predsednik Skupštine Saveza energetičara:

prof. dr Milun Babić

Glavni i odgovorni urednik:

prof. dr Dušan Gordić, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac

Uređivački odbor i izdavački savet:

prof. dr Željko Đurišić, Elektrotehnički fakultet, Beograda
prof. dr Dejan Ivezić, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
prof. dr Mirko Komatina, Mašinski fakultet, Beograd
prof. dr Miloš Banjac, Mašinski fakultet, Beograd
prof. dr Vladimir Popović, Mašinski fakultet, Beograd
prof. dr Vladimir Stevanović, Mašinski fakultet, Beogradu
prof. dr Željko Despotović, Institut Mihailo Pupin, Beograd
prof. dr Vanja Šušteršić, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac
prof. dr Petar Đukić, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
prof. dr Nenad Đajić, Akademija inženjerskih nauka Srbije
prof. dr Damir Đaković, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
dr Vladimir Šiljkut, JP Elektroprivreda Republike Srbije
v. prof. dr Vladimir Vukašinović, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac
docent dr Tomislav Rajić, Elektrotehnički fakultet, Beograd
dr Iva Batić, Elektrotehnički fakultet, Beograd
prof. dr Jovica V. Milanović, The University of Manchester, Velika Britanija
prof. Vladimir Terzija, Humboldt Fellow, IEEE Fellow, EiC Elsevier IJEPES
prof. dr Adriana Sida Manea, Politehnica University Timisoara, Rumunija
prof. dr Neven Duić, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Hrvatska
prof. dr Rade Čirić, University of Agder, Norveška
prof. dr Nataša Markovska, MANU Skopje, Severna Makedonija
dr Stanko Janković, TenneT TSO GmbH, Savezna Republika Nemačka
prof. dr Mirza Kušljagić, Fakultet elektrotehnike, Tuzla, BiH
prof. dr Peter Vrtič, Univerzitet u Mariboru, Slovenija
prof. dr Predrag Popovski, Mašinski fakultet Skopje, Severna Makedonija
dr Ilija Batas-Bijelić, Generalni sekretar Saveza, Institut tehničkih nauka SANU

Priprema, tehnička i jezička obrada:

Savez energetičara

Štamparija:

Mašinac, Kragujevac

Tiraž:

150

UDK

620.9
338:620.9
502:620.9

COBISS.SR-ID 108696839

Časopis izlazi četiri puta godišnje

*Radovi su recenzirani uz tehničku obradu.
Nijedan deo ove publikacije ne može biti
reprodukovano, presnimavano ili prenošeno bez
prethodne saglasnosti Izdavača.*



Sadržaj

- [01] Boban PAVLOVIĆ
Osnaživanje energetske tranzicije u sektoru domaćinstva u Srbiji: Integrativni pristup / Strengthening the Energy Transition in the Household Sector in Serbia: An Integrative Approach
- [10] Miroslav PAROVIĆ
Uticaj novih energetske tehnologije na nivo energetske pravde / The Impact of New Energy Technologies on the Level of Energy Justice
- [16] Nikola RAJAKOVIĆ, Bojan IVANOVIĆ, Ilija BATAS BJELIĆ, Tomislav RAJIĆ
Sprema simulacionog planerskog alata sa alatom za proračun tokova snaga: Studija slučaja Republike Srbije / Coupling of the Simulation Planning and Power Flow Calculation Tools: Case Study of the Republic of Serbia
- [22] Jelena NIKOLIĆ, Dušan GORDIĆ, Vladimir VUKAŠINOVIĆ, Mladen JOSIJEVIĆ, Dubravka ŽIVKOVIĆ
Planiranje energetske budućnosti grada: SWOT analiza - Studija slučaja grada Kragujevca / **Planning the Energy Future of the City: SWOT Analysis - Case Study of the City of Kragujevac**
- [29] Andrija AVRAMOVIĆ
Analiza energetske efikasnosti i indikatori održivosti naftne industrije u Srbiji / Analysis of Energy Efficiency and Sustainability Indicators of the Petroleum Industry in Serbia

- [36] Marko S. ĐUROVIĆ, Željko V. DESPOTOVIĆ
Predlog rešenja dvo-osnog mobilnog solarnog tragača sa mogućnošću akumuliranja energije / Solution Proposal for a Two-Axis Mobile Solar Tracker with the Possibility of Accumulating Energy

- [44] Aleksandar MADŽAREVIĆ, Predrag JOVANČIĆ, Stevan ĐENADIĆ, Filip MILETIĆ, Miroslav CRNOGORAC
Proizvodnja električne energije iz elektrana na ugalj i prateća emisija CO₂: komparacija EU-27 i Srbije / Production of Electricity from Coal-Fired Power Plants and Accompanying CO₂ Emissions: Comparison of EU-27 and Serbia

- [51] Ivan VUJOVIĆ, Zoran STOJANOVIĆ, Željko ĐURIŠIĆ
Predlog povezivanja velikih Data Centara i pripadajućih objekata za proizvodnju električne energije u elektroenergetski sistem / A Proposal to Connect Large Data Centers and Associated Power Plants in the Power System

- [57] Dunja GRUJIĆ, Miloš KUZMAN, Željko ĐURIŠIĆ
Novi model obračuna električne energije kupaca-proizvođača / New Model of Calculating Electricity of Prosumers

- [68] Željko V. DESPOTOVIĆ, Dejan ĐOKIĆ, Boris ILIĆ, Dragan MILISAVLJEVIĆ
Realizacija postrojenja za detekciju i izdvajanje metala na transportnoj traci na dopremi uglja u TE „Kostolac“ / Realization of the Plant for Detection and Separation of Tramp Metal on the Conveyor Belt for the Delivery of Coal to TPP "Kostolac"

Osnaživanje energetske tranzicije u sektoru domaćinstva u Srbiji: Integrativni pristup

Strengthening the Energy Transition in the Household Sector in Serbia: An Integrative Approach

Boban Pavlović

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Rezime – Glavni cilj istraživanja bio je da se razvije metodološki pristup koji bi podržao proces energetskeg planiranja tranzicije u grejanju domaćinstava, uzimajući u obzir specifičnosti ovog sektora. Kako bi se procenili mogući tokovi energetske tranzicije u grejanju domaćinstava i analizirali politički instrumenti za ubrzanje ovog procesa, razvijen je simulacioni model zasnovan na agentima (*Agent Based Model* - ABM). Simulacioni model je primenjen na slučaju energetske tranzicije u sektoru domaćinstva u Srbiji. Prethodno su kroz istraživanje prikupljeni podaci o grejanju domaćinstava potrebni za kreiranje ulaznih baza podataka za simulacioni model. Rezultati dobijeni primenom simulacionog modela prikazuju promenu strukture sistema grejanja u domaćinstvima do 2050. godine, u zavisnosti od odabranih političkih instrumenata za podršku procesu tranzicije. Integracijom istraživanja o grejanju domaćinstava, ABM simulacionog modela i standardnih alata za energetske modeliranje, razvijen je sveobuhvatni koncept za podršku energetskeg planiranja. Ovom integracijom su obezbeđeni uslovi za analizu efekata tranzicije u domaćinstvima na nivou ukupnog energetskeg sistema države, regiona ili lokalne zajednice. Predloženi integrativni pristup dozvoljava da se projektuje buduća potrošnja energije za grejanje, koja proizilazi iz ponašanja domaćinstava, trendova demografskog razvoja, trendova energetske rehabilitacije objekata i dr. Rezultati dobijeni u slučaju sektora domaćinstva u Srbiji ukazuju na značajan potencijal za postizanje ušteda u potrošnji energije u grejanju domaćinstava ukoliko se postojeći zastareli grejni uređaji zamene održivijim tehnologijama, pre svega toplotnim pumpama, ali i ako se investira u energetske sanacije stambenih objekata. Predloženi pristup omogućava ranu procenu efekata neograničenog broja mera podrške i mehanizama za ubrzanje energetske tranzicije u sektoru domaćinstva.

Ključne reči - energetska tranzicija, energetske planiranje, energetske modeliranje, obnovljivi izvori energije, domaćinstva, ponašanje potrošača

Abstract - The main objective of the research was to develop a methodological approach that would support the process of energy planning for the transition in household heating, taking into account the specificities of this sector. To assess possible energy transition pathways in household heating and analyse

policy instruments to accelerate this process, an Agent-Based Model (ABM) for the simulation of energy transition was developed. The simulation model was applied to the case of energy transition in the household sector in Serbia. Data on household heating was collected through research to create input databases for the simulation model. The results obtained by applying the simulation model show a change in the heating system structure in households by 2050, depending on the selected policy instruments to support the transition process. By integrating research on household heating, the ABM simulation model, and standard tools for energy modelling, a comprehensive concept was developed to support energy planning. This integration provides conditions for analysing the effects of household transition on the overall energy system of the country, region, or local community. The proposed integrated approach allows making the projection of future energy demand for heating, arising from household behaviour, demographic trends, energy rehabilitation trends, etc. The results in the case of the household sector in Serbia indicate significant potential for achieving energy savings in household heating if existing outdated heating devices are replaced with more sustainable technologies, primarily heat pumps, but also if investments are made in energy rehabilitation of residential buildings. The proposed approach allows an early assessment of the effects of an unlimited number of support measures and mechanisms to accelerate energy transition in the household sector.

Index Terms - Energy transition, Energy planning, Energy modelling, Renewable energy sources, Households, Consumer behaviour

I UVOD

Energetsko modeliranje u cilju projekcija buduće potražnje za energijom, strukture potražnje, transformacije, raspoložive energije i sl., najčešće se bazira na istorijskim trendovima, ekspertskim procenama ili na bazi statističkih metoda [1 – 3]. Ovakvi pristupi energetskeg modeliranja su pokazali zadovoljavajuće rezultate u centralno vođenim energetskeg sektorima i podsektorima, kao npr. u sektoru proizvodnje električne energije ili daljinskeg grejanja. Međutim, kada je u pitanju tranzicija u grejanju u sektoru domaćinstva, u kome je potrošnja fragmentirana na pojedinačna domaćinstva, a struktura

potrošnje heterogena, ovakvi pristupi ostavljaju određeni stepen neizvesnosti kod izrade projekcija potražnje za energijom. U ovakvim okolnostima javlja se potreba za analizom energetske politike i instrumenata pomoću više različitih pristupa modeliranja [4] kako bi se neizvesnost u projekcijama smanjila.

Kako je grejanje aktivnost koja obuhvata najveću potrošnju energije u sektoru domaćinstva [5], i kako najveći broj domaćinstava koristi individualne sisteme grejanje [6], osnovni cilj ovog istraživanja jeste da se kreiraju simulacioni modeli koji bi predstavljali podršku u upravljanju energetsom tranzicijom. Zamene postojećih sistema grejanja za sisteme grejanja koji podrazumevaju veću zastupljenost obnovljivih izvora energije (OIE), efikasnije korišćenje energije i koji imaju manje negativnog uticaja na životnu sredinu, zahteva multidisciplinarni pristup [7], jer tranzicija ka modernijim tehnologijama u domaćinstvima nema samo tehničko-tehnološki aspekt. Ova tranzicija podrazumeva i promene političkih, ekonomskih, socioloških i organizacionih aspekata. Koristeći metodologiju modeliranja zasnovanu na agentima (engl. *agent based modelling* - ABM), razvijen je simulacioni model koji je pohranjen podacima iz ankete domaćinstava koja je rađena sa svrhom prikupljanja podataka o grejanju domaćinstava [6].

Osnovna hipoteza od koje se pošlo u istraživanju jeste da se pomoću ABM metodologije može modelirati i simulirati ponašanje domaćinstava, njihove socijalne interakcije i donošenje odluka na individualnom nivou na prihvatljivom nivou apstrakcije. Osnovni izlaz iz predloženog modela jesu projekcije strukture sistema grejanja u domaćinstvima do 2050. godine, koje su dobijene na ovakav način u velikoj meri nezavisne od individualnih ekspertskih pretpostavki. Umesto da se predviđa stopa rasta određenih tehnologija ili stopa pada u korišćenju zastarelih tehnologija, dinamika uvođenja novih tehnologija i promena načina grejanja u populaciji, kao i obim promena u posmatranom periodu, ispraćeni su uz pomoć rezultata simulacija koje se baziraju na simuliranom ponašanju individualnih domaćinstava iz reprezentativnog uzorka.

Integracijom polaznih pretpostavki iz prikazanog ABM simulacionog modela u energetske modeliranje može se izvesti hipoteza da buduća potražnja za energijom za grejanje u domaćinstvima zavisi od mnoštva individualnih odluka domaćinstava. S tim u vezi, izlazni podaci iz ABM simulacionog modela o energetske tranziciji grejanja u domaćinstvima do 2050. godine pružaju mogućnost za dalju primenu i obradu u alatima za energetske modeliranje. Na ovaj način, izlazni podaci iz jednog modela mogu poslužiti kao ulazni podaci za drugi model, odnosno moguće je izvršiti integraciju ABM-a sa alatima za energetske modeliranje u cilju sveobuhvatnije analize i uspostavljanja šireg metodološkog okvira za podršku planiranju energetske tranzicije u sektoru domaćinstva.

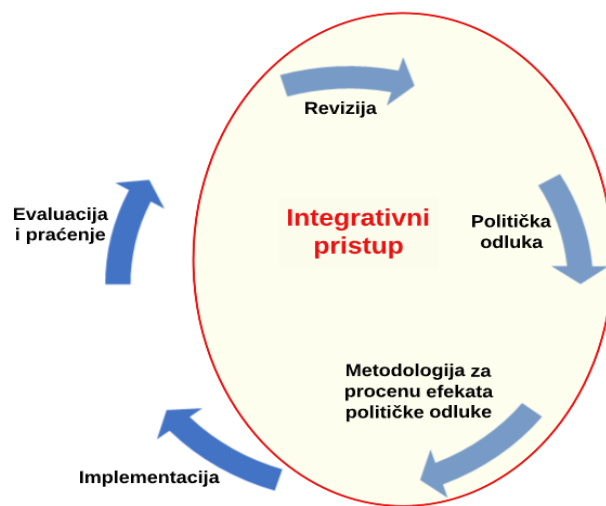
II METODOLOŠKI OKVIR

Integracija različitih metoda i alata za planiranje i modeliranje energetske tranzicije već neko vreme je prisutna u naučnoj i stručnoj literaturi [8 – 14]. Da bi se sprovedla analiza specifičnih aspekata energetske tranzicije, autori se opredeljuju za kombinaciju metodoloških pristupa, baza podataka, softverskih alata i dr. Ovo je posebno korisno kod razvoja dugoročnih

energetskih modela sektora domaćinstva za podršku planiranju i donošenju odluka [15], imajući u vidu heterogenost potrošača, razlike u ponašanju i navikama, a posebno decentralizovano donošenje odluka na nivou pojedinca (domaćinstva).

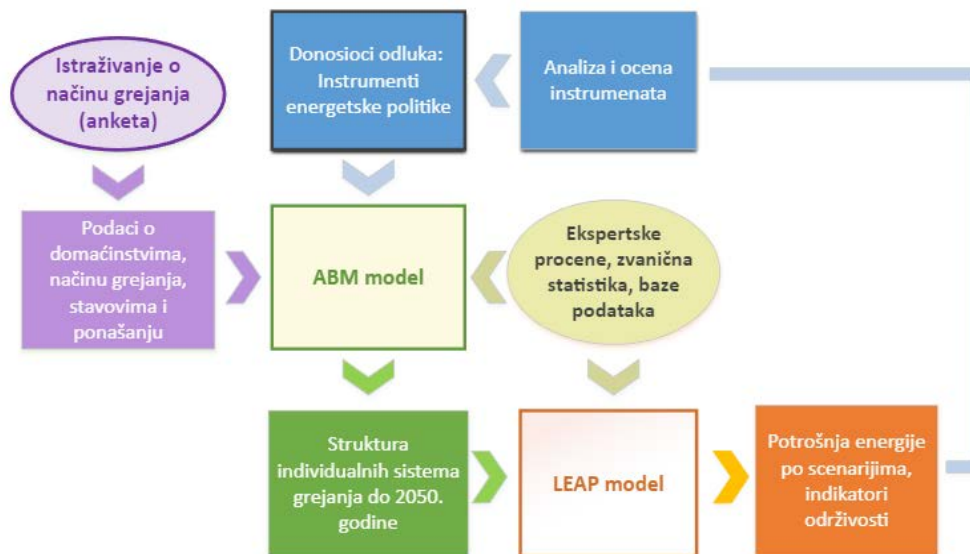
Dosadašnja praksa nekih od najuspešnijih tranzicija ka održivijem grejanju u Evropi pokazala je da su one trajale između 18 i 35 godina [16]. Da bi se smanjila inertnost dela domaćinstava po pitanju energetske tranzicije, donosioci odluka i kreatori politika na različitim upravljačkim nivoima teže da pronađu efikasne mere podsticaja i da preko njih stvore pogodniju sredinu za uključivanje domaćinstava u energetske tranzicije kroz zamenu zastarelih i niskoefikasnih sistema grejanja za održivije sisteme grejanja [16]. Pod održivijim grejanjem u ovom smislu podrazumeva se grejanje u kome je veća zastupljenost obnovljivih izvora energije, veća efikasnost, dugoročno veća isplativost grejanja i grejanje koje ima manje negativnog uticaja na životnu sredinu [17].

Integrativni pristup za podršku procesu planiranja energetske tranzicije koji se predlaže u ovom radu (Slika 1) treba da unapredi ceo proces planiranja na taj način što će se kroz metodologiju za procenu efekata konkretne politike obezbediti rezultati koji će ukazati da li je, i ako jeste, u kojoj meri potrebna revizija instrumenata za podršku energetske tranziciji [18]. Ova procena konkretnih instrumenata treba da se sprovede pre njihove implementacije u realnom sistemu. Na ovaj način, efekti i dometi političkih instrumenata za osnaživanje tranzicije mogu se testirati pre primene u realnim okolnostima.



Slika 1. Mesto i uloga integrativnog pristupa [19]

Okvir predloženog pristupa, u smislu korišćene metodologije i toka celog procesa, prikazan je na Slici 2. Kao što se uočava, prvi korak je prikupljanje potrebnih ulaznih podataka o domaćinstvima za modeliranje i simulacije, nakon čega sledi simulacija u ABM modelu. Dobijeni izlazni podaci o strukturi individualnih sistema grejanja iz ABM modela mogu se dalje koristiti za modeliranje finalne potrošnje energije pomoću alata za energetske modeliranje. U ovoj fazi u model je moguće uključiti i druge činioce koji utiču na proces tranzicije, kao što su npr. demografski trendovi, migracioni trendovi, makroekonomski trendovi, energetska rehabilitacija stambenih objekata i dr.



Slika 2. Okvir predloženog integrativnog pristupa [19]

Integrativni pristup je koncipiran tako da se dobijeni rezultati mogu koristiti kao povratne informacije za korigovanje ili definisanje novih instrumenata energetske politike. U celini gledano, ovakav pristup stvara uslove za komunikaciju i razmenjivanje znanja između eksperata različitih oblasti [20], zainteresovanih strana [14] i donosilaca odluka na lokalnom ili nacionalnom nivou, čime se obezbeđuje veća transparentnost i robusnost energetskog planiranja [21].

A ABM simulacioni model

Kao softverska platforma za razvoj ABM simulacionog modela korišćen je softver NetLogo 6.1.1 [22]. Ovaj softver omogućava kodiranje pomoću programskog jezika „NetLogo“ i nudi alate za izvršavanje programskog koda i vizuelizaciju.

ABM model za simulaciju energetske tranzicije u grejanju fokusiran je na krajnjeg potrošača (agenta), tj. domaćinstva koja se greju pomoću individualnih sistema grejanja. Ovakav pristup u literaturi je poznat i kao „bottom-up“ pristup (odozdo na gore) [23]. Osnovna karakteristika ovog pristupa je da sva domaćinstva tretira kao posebne potrošače i usmeren je na ispitivanje njih i njihovih navika. U ovom konkretnom slučaju, ABM model simulira ponašanje domaćinstava u cilju ispitivanja posledica pojedinačnih odluka o grejanju na društvenu dinamiku [24], kao i efekata različitih političkih instrumenata na odluke domaćinstava u vezi sa grejanjem.

U metodološkom smislu, svaki simulacioni ABM model sastoji se od određenih delova i treba da odgovori na određeni broj pitanja koja se tiču sadržaja, obima i samog cilja modeliranja. Tabela 1 prikazuje osnovne delove predloženog ABM modela za simulaciju energetske tranzicije i njihov opis.

Tabela 1. Opis ABM modela [19]

Osnovni delovi modela	Opis
Definisanje problema	Model treba da pruži odgovor na sledeća pitanja:
	– Kakva će biti struktura sistema grejanja do 2050. godine? – Koji instrumenti energetske politike najviše doprinose masovnijoj zastupljenosti održivijeg grejanja?
Tip agenta	Domaćinstvo sa individualnim sistemom grejanja
Karakteristike agenta (Ulazni parametri)	– Tip naselja (urbano/ruralno) – Grejna površina (m²) – Glavni energent – Tip sistema grejanja – Efikasnost sistema grejanja – Starost sistema grejanja – Potrošnja energenta (kWh/god.) – Korisna toplota (kWh/god.) – Emisija CO₂, NO_x, i CO (kg/god.) – Finansijsko stanje – Nezainteresovanost za zamenom trenutnog načina grejanja – Spremnost za prihvatanje subvencije – Uticaj okruženja
Aktivnosti agenta	Domaćinstvo odlučuje o načinu grejanja u cilju zadovoljenja dugoročne potrebe za termalnim komforom tokom grejne sezone (oktobar-april).
Spoljna sredina (Ulazni parametri)	– Cene sistema grejanja – Cene energenata – Instrumenti energetske politike – Socijalna mreža/okruženje
Izlazni parametri	– Udeo održivih i modernih sistema grejanja u ukupnoj populaciji – Struktura domaćinstava prema načinu grejanja – Emisija CO₂, NO_x i CO
Vremenski okvir	Vremenski okvir simulacije je 30 godina (tj. do 2050. godine) i podeljen je na vremenske intervale po jednu godinu (jedna grejna sezona).

Proces donošenja odluke o načinu grejanja domaćinstva prikazan je u izrazu (1). Odluka domaćinstva o izboru novog sistema grejanja (D) predstavlja funkciju finansijskih (cena sistema i energenta), tehničkih (potrošnja goriva tokom grejne sezone), socijalnih i ekoloških parametara (spremnost da se investira u održivije grejanje).

$$D = ((P_F \cdot C) + P_{HS}) \cdot WTP \quad (1)$$

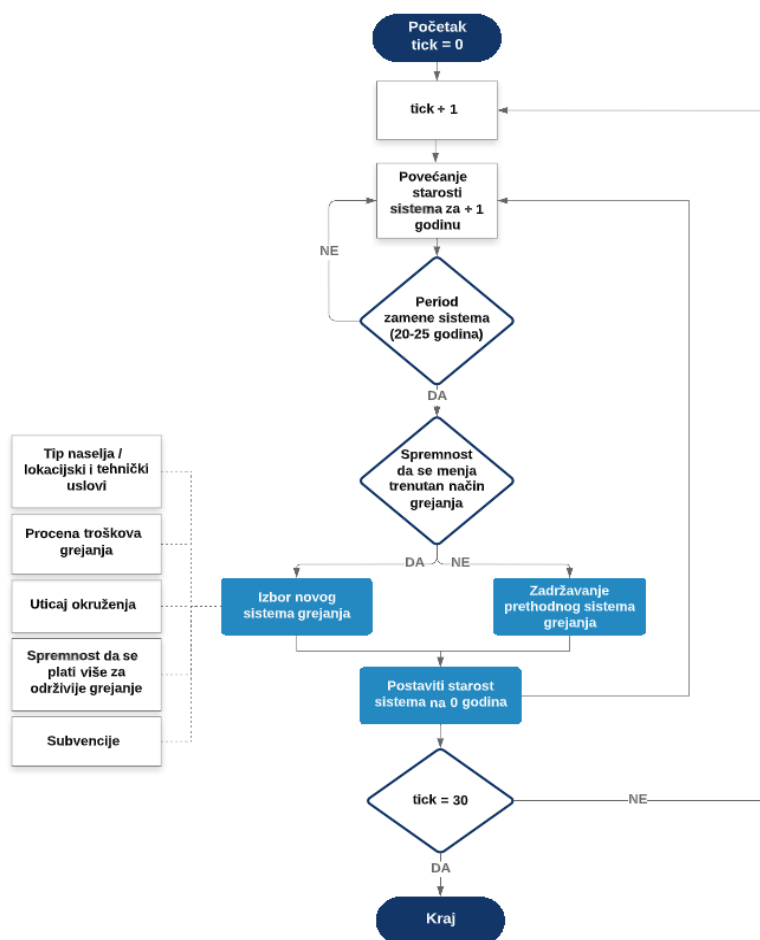
gde su:

- D - parametar donošenja odluke (€);
- P_F - cena energenta (EUR/kWh);
- C - potrošnja energije tokom grejne sezone (kWh);
- P_{HS} - cena sistema grejanja (€);
- WTP - spremnost da se plati više održivije grejanje.

S obzirom da ABM model simulira ponašanje krajnjih korisnika (domaćinstava) u domenu donošenja odluka o načinu grejanja narednih 30 godina, uvođenje tzv. socijalne dinamike u simulaciju dozvoljava opisivanje mehanizama koji utiču na promene stavova i ponašanja kroz vreme usled interakcija domaćinstava sa okruženjem [25]. Uvođenjem tzv. socijalnog umrežavanja (engl. *social networking*) [26], predloženi ABM model dobija dodatnu dimenziju i samu simulaciju čini bližu realnom svetu. Kako podaci o umreženosti agenata (u ovom slučaju domaćinstava) ne postoje, a i sama teorija i praksa

modeliranja društvenih fenomena na nivou velikih populacija ne pruža dovoljno informacija i metodološki okvir, umrežavanja se najčešće prave kao nasumična (slučajna). Metoda umrežavanja poznata i kao tzv. „kreiranje malih svetova“ [27 – 28] definisana je u ovom modelu na taj način da se domaćinstva nasumično povezuju sa 4 do 8 domaćinstava iz uzorka. U ABM modelu je predviđeno da će domaćinstva, ako se odluče za zamenu postojećeg sistema, u periodu pred njegovu zamenu, korigovati svoj WTP kroz interakciju sa drugim domaćinstvima [19]. Predloženi modeli ažuriranja spremnosti da se plati više za održivije grejanje, odnosno parametra WTP, imaju za cilj da oslikaju trendove iz realnog života koji ukazuju da se globalno povećava ekološka svest i svest o potrebi efikasnijeg korišćenja energije u društvima tokom vremena [28].

Kada su u pitanju ulazni podaci za sisteme grejanja (cena sistema, efikasnost sistema, cena energenta, emisijski faktori), njihove vrednosti su formirane na osnovu istraživanja tržišta koje je sprovedeno za potrebe prikupljanja podataka [19]. Sam ABM simulacioni model uključuje sisteme grejanja koji su najzastupljeniji na tržištu i koji su trenutno zastupljeni u više od 0,5% domaćinstava sa individualnim grejanjem u uzorku ankete. Pretpostavka je da su ovi sistemi grejanja, ili sistemi koji su njima sličnih karakteristika, najverovatnija opcija prilikom kupovine novog sistema grejanja.



Slika 3. Dijagram toka u ABM modelu [19]

Dijagram toka simulacije po kome ABM model izvršava zadati programski kod prikazan je na Slici 3. Inicijalni pokretač za kupovinu novog sistema grejanja u domaćinstvu je dotrajaloš sistema (kraj životnog veka proizvoda). U modelu je predviđeno da će domaćinstva menjati sistem grejanja nasumično nakon 20 - 25 godina starosti sistema. Na početku svake grejne sezone („tick“ – interval vremena), domaćinstvo kome je istekao životni vek trenutnog sistema grejanja posmatra svoje okruženje i tržište, i na osnovu vlastitih potreba, lokacijskih uslova, stavova i finansijskih mogućnosti kupuje novi sistem grejanja. U konkretnom slučaju, rezultati modela energetske tranzicije grejanja domaćinstava u Srbiji formirani su na osnovu 30 simulacija u NetLogo-u za svaki od razmatranih slučajeva i scenarija. Svaka simulacija je ograničena na 30 vremenskih intervala, odnosno grejnih sezona, što predstavlja period od 2020. do 2050. godine.

B LEAP softverski alat

Obezbeđujući strukturu domaćinstava prema načinu grejanja, odnosno zastupljenim sistemima grejanja u tim domaćinstvima pomoću predloženog ABM-a, stižu se uslovi za koncipiranje modela energetske potrošnje u LEAP softverskom alatu. Suština primene LEAP-a je u integraciji ulaznih parametara za sektor domaćinstva u Srbiji koji se tiču zvanične potrošnje energije, demografskih trendova, kao i efekata primene dodatnih političkih instrumenata koji nisu obuhvaćeni simulacijama u ABM-u, a utiču na projekcije potrošnje energije u domaćinstvima.

Da bi se potrebna energija za grejanje u modelu kalibrisala prema potrošnji iz energetskog bilansa za 2020. godinu [29], finalna potrošnja energije za grejanje u domaćinstvima sa individualnim sistemima u Srbiji za 2020. godinu je dobijena na sledeći način:

$$E_{IH} = E_T \cdot S_H - E_{DH} \quad (2)$$

gde je:

- E_{IH} - godišnja potrošnja energije za grejanje u domaćinstvima sa individualnim sistemima grejanja (kten);
- E_T - finalna potrošnja energije u sektoru domaćinstva za 2020. godinu (3.488,1 kten) [30];
- S_H - udeo grejanja u finalnoj potrošnji energije u domaćinstvima (66,3%) [29];
- E_{DH} - toplotna energija za grejanje domaćinstava u sistemima daljinskog grejanja (436 kten) [31].

Iz izraza (2) sledi da je potrošnja energije za grejanje u domaćinstvima sa individualnim sistemima grejanja u Srbiji za baznu 2020. godinu:

$$E_{IH} = 1.876,6 \text{ kten}$$

Ulazni podaci za tip naselja i grejnu površinu prikazani su u Tabeli 2. Prosečna grejna površina za baznu godinu preuzeta je iz zvanične statistike [32]. Kao ulazni podaci uzete su prosečne površine stanova u gradskim i ruralnim naseljima. Struktura domaćinstava prema tipu naselja je preuzeta iz uzorka za anketiranje domaćinstava [19]. Kada je u pitanju stopa rasta grejne površine, na osnovu trenda rasta broja stanova od 1971. do 2011. godine [28], projektovan je godišnji rast grejne površine od 0,5% do 2050. godine.

Tabela 2. Ulazni podaci za tip naselja i grejnu površinu [19, 32]

Tip naselja	Domaćinstva prema tipu naselja (%)	Domaćinstva prema grejnoj površini (m ²)
Urbana	58%	68,6 m ²
Ruralna	42%	74,9 m ²

C Instrumenti energetske politike i analiza osetljivosti

Instrumenti za ubrzanje energetske tranzicije, kao i slučaj bez aktivne politike države (engl. *business as usual* – BAU), razmatrani su u okviru Referentnog scenarija (tj. Scenarija 1). Osnovne karakteristike Referentnog scenarija su:

- Karakteristike domaćinstava, karakteristike sistema za grejanja i stavovi domaćinstava preuzeti su iz istraživanja o načinu grejanja koje je sprovedeno 2020. godine kroz anketiranje domaćinstava [19].
- Prema trendu iz prethodnih godina, predviđeno je da će u urbanim sredinama 0,4% domaćinstava svake godine prelaziti sa individualnih sistema grejanja na daljinsko grejanje u okviru postojećih sistema grejanja (SDG) u Srbiji [33]. Usled depopulacionih trendova na nivou države, migracija u gradove [34 – 35], kao i činjenice da su postojeće mreže daljinskog grejanja u gusto naseljenim gradskim sredinama solidno razvijene, model ne uzima u razmatranje razvoj novih SDG u sredinama u kojima do sada nisu izgrađeni.
- Pretpostavljena stopa po kojoj će rasti cene energenata i sistema grejanja je 3% godišnje.

U predloženom Referentnom scenariju (Scenario 1) sprovedena je simulacija slučaja bez aktivnih instrumenata (BAU), kao i simulacija efekata instrumenata energetske politike usmerenih na ubrzanje energetske tranzicije. Takođe, kroz LEAP je analiziran dodatan instrument energetske politike – energetska rehabilitacija stambenih objekata. U Tabeli 3 dat je opis analiziranih instrumenata.

Tabela 3. Opis instrumenata energetske politike

Instrumenti	Opis
BAU	BAU simulira energetske tranzicije do 2050. godine prema trenutnim trendovima, bez spoljnog uticaja instrumenata.
Zabrana sagorevanja ogrevnog drveta i uglja	Ovaj instrument podrazumeva uvođenje zabrane kupovine sistema koji se baziraju na ogrevnom drvetu i uglju u svim urbanim sredinama od 2030. godine.
Subvencije za efikasnije sisteme grejanja	Ovaj instrument podrazumeva aktivaciju subvencije države od 50% za zamenu sistema baziranih na ogrevnom drvetu, uglju, kao i konvencionalnih sistema na el. energiju, za efikasnije sisteme
Povećanje energetske efikasnosti stambenih objekata	Ovaj instrument predviđa manju potrošnju energije za individualno grejanje u domaćinstvima kao posledicu ulaganja u energetske sanacije objekata od 1% stambenih objekata godišnje.
Kombinacija svih instrumenata	U ovom slučaju se razmatraju združeni efekti svih instrumenata.

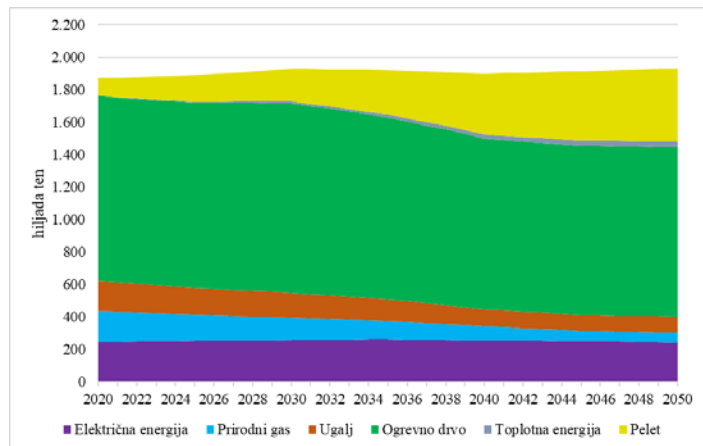
Da bi se ispitala osetljivost rezultata Referentnog scenarija i predloženih instrumenata na spoljne uticaje i tzv. „potrese“, sprovedena je analiza osetljivosti. Praktično, u samom modelu su menjani određeni ulazni parametri i pretpostavke za koje se smatra da bi mogli uticati na konačne projekcije strukture grejanja do 2050. godine. U Tabeli 4 dat je opis predloženih scenarija za analizu osetljivosti i reference iz literature kojima se potkrepljuju predložene promene ulaznih parametara.

Tabela 4. Analiza osetljivosti - scenariji

Scenarij #	Opis
Scenarij „CO ₂ takse“ (Scenarij 2)	Scenarij 2 predviđa povećanje cene električne energije za 6% svake godine usled uvođenja takse na proizvodnju električne energije iz fosilnih goriva [36].
Scenarij „Pad cena toplotnih pumpi“ (Scenarij 3)	Scenarij 3 predviđa da će toplotne pumpe postati konkurentnije na tržištu usled pada cene. Predviđa se godišnji pad cene od 2% što treba da dovede do veće priuštivosti ovih modernih sistema grejanja [37 – 38].

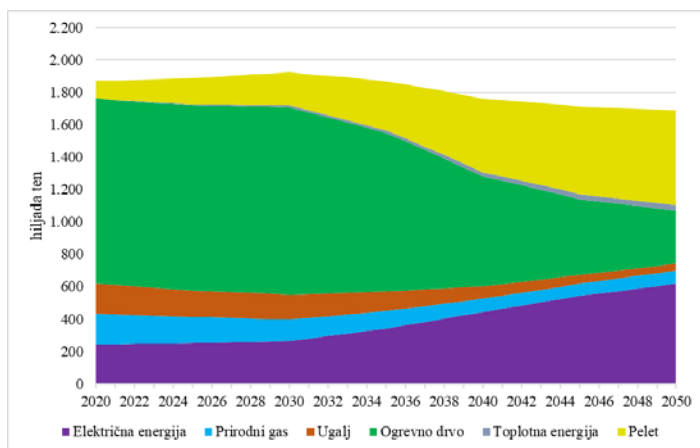
III REZULTATI

Predloženi pristup integracije obezbeđuje informacije korisnicima pre svega o finalnoj potrošnji energije za individualno grejanje domaćinstava do 2050. godine i potencijalnim energetske uštedama u slučaju primene konkretnih instrumenata za ubrzanje energetske tranzicije.



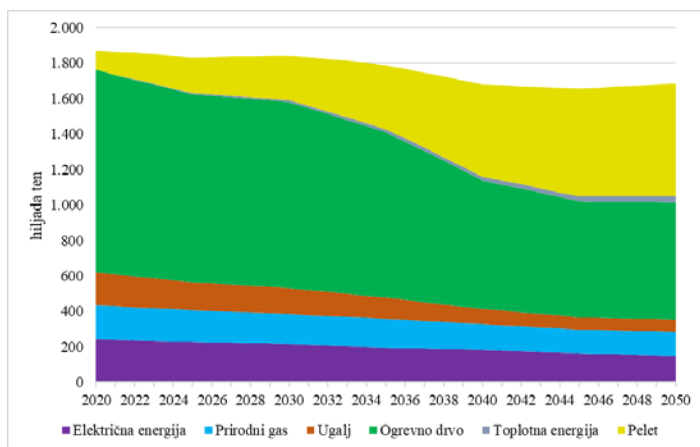
Slika 4. Finalna potrošnja za Referentni scenario – slučaj BAU [19]

Slika 4 prikazuje projekciju potrošnje energije za Referentni scenario (Scenarij 1), slučaj bez primene instrumenata (BAU). Čak i pored činjenice da u ovom slučaju nema primene instrumenata za ubrzanje energetske tranzicije, može se uočiti da dolazi do smanjenja potrošnje ogrevnog drveta, koje karakteriše primena u sistemima grejanja manje energetske efikasnosti. Sistemi grejanja koji koriste pelet beleže istovremeno najveći porast u potrošnji. Što se tiče ukupne potrošnje energije za individualno, grejanje u ovom slučaju dolazi do porasta potrošnje do 2050. godine, sa 1.876,6 kten na 1.931,9 kten, tj. porasta od oko 3%.



Slika 5. Finalna potrošnja za Referentni scenario – instrument zabrane sagorevanja u urbanim sredinama [19]

Na Slici 5 prikazana je projekcija potrošnje energije za Referentni scenario sa primenom instrumenta zabrane sistema na ogrevno drvo i ugalj u urbanim sredinama od 2030. godine. U ovom slučaju dolazi do pada u potrošnji energije za individualno grejanje do 2050. godine od blizu 10% u odnosu na 2020. godinu, pre svega zbog smanjenja udela neefikasnih sistema na čvrsta goriva. Ne računajući slučaj BAU (Slika 4), ovo je instrument koji bi rezultirao najmanjim padom potrošnje u odnosu na sve druge razmatrane instrumente. To se može tumačiti činjenicom da je zabrana dovela do napuštanja grejanja na ogrevno drvo i ugalj u urbanim sredinama, ali zbog odsustva subvencija za efikasnije sisteme grejanja, domaćinstva su najčešće prelazila na grejanje pomoću električne energije – električni kotlovi, grejalice i peći i nisu se u većem broju odazvala zameni sistema grejanja za efikasnije i modernije tehnologije.

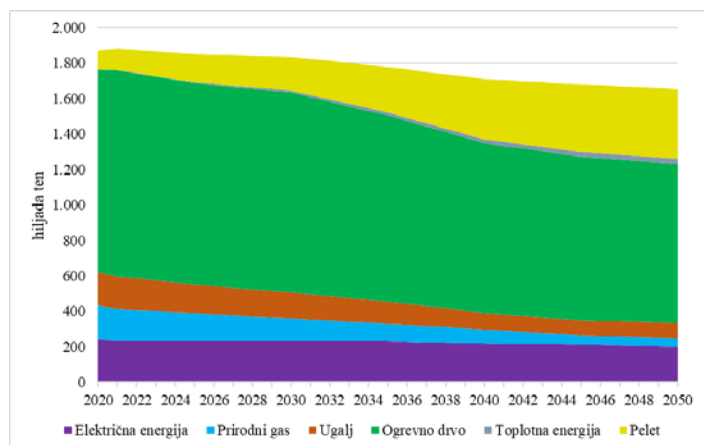


Slika 6. Finalna potrošnja za Referentni scenario – instrument subvencije za efikasnije sisteme grejanja [19]

Slika 6 prikazuje projekciju finalne potrošnje za Referentni scenario i slučaj primene instrumenta subvencije za efikasnije sisteme grejanja. U ovom slučaju, smanjenje potrošnje je nešto veće do 2050. godine – oko 10,2%. U odnosu na projekciju sa uvođenjem zabrane sistema grejanja na ogrevno drvo i ugalj u urbanim sredinama, u ovom slučaju je više porastao broj efikasnijih sistema na pelet i toplotnih pumpi, ali je ostao veći

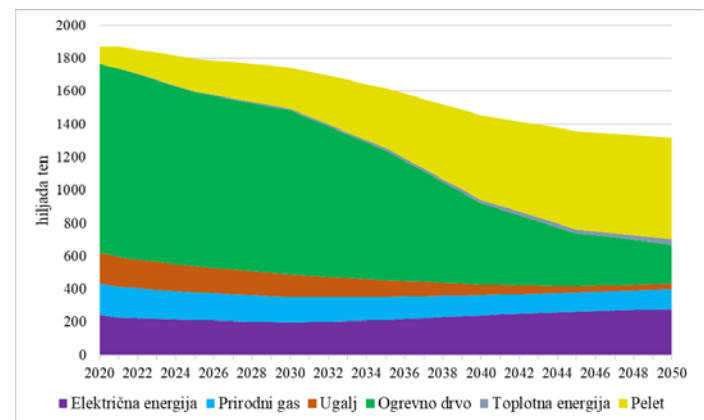
broj neefikasnih sistema na ogrevno drvo, jer deo domaćinstava u urbanim sredinama nije bio primoran da menja takve sisteme grejanja, kao u prethodnom slučaju.

Projekcije finalne potrošnje sa primenom instrumenta energetske rehabilitacije objekata prikazana je na Slici 7. Kao što se uočava, u ovom slučaju je moguće ostvariti uštede u potrošnji od blizu 12% u odnosu na 2020. godinu. Važno je istaći da je ovde ušteda u potrošnji ostvarena isključivo kao posledica manje potrošnje energije u domaćinstvima usled energetske rehabilitacije objekata, a da je struktura sistema grejanja u domaćinstvima ista kao u slučaju BAU prikazanom na Slici 4.



Slika 7. Finalna potrošnja za Referentni scenarij – instrument energetske rehabilitacije [19]

Slika 8 prikazuje finalnu potrošnju energije za individualno grejanje u domaćinstvima za Referentni scenarij i slučaj kombinacije svih instrumenata (zabrana sagorevanja ogrevnog drveta i uglja u urbanim sredinama + subvencije za efikasnije sisteme grejanja + povećanje energetske efikasnosti stambenih objekata). Ovde se uočava da združeni efekat svih instrumenata dovodi do najvećeg smanjenje potrošnje energije. U 2050. godini može se očekivati ušteda u potrošnji od oko 30% u odnosu na 2020. godinu.

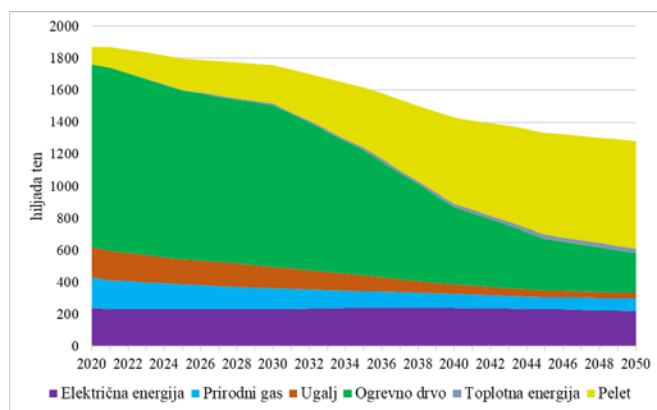


Slika 8. Finalna potrošnja za Referentni scenarij – kombinacija svih instrumenata

Efekti instrumenata za ubrzanje tranzicije u grejanju domaćinstava su podvrgnuti analizi osetljivosti na promene u

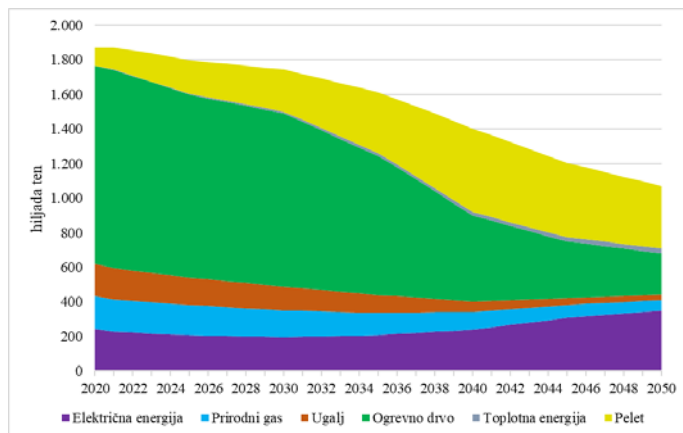
okruženju kroz dva predložena scenarija (Scenario 2 i 3). U nastavku rada prikazani su rezultati za te scenarije u slučaju kombinovane primene svih instrumenata za ubrzanje energetske tranzicije.

Slika 9 prikazuje projekciju finalne potrošnje energije za individualno grejanje u domaćinstvima za scenarij koji predviđa veće cene električne energije (Scenario 2). U odnosu na Referentni scenarij (Slika 8), u ovom slučaju bi došlo do manje potrošnje električne energije za oko 25%, ali bi bila nešto veća potrošnja peleta i ogrevnog drveta. Finalna potrošnja energije za grejanje pomoću individualnih sistema grejanja u ovom slučaju bila bi oko 2% manja u 2050. godini nego u Referentnom scenariju u istom periodu, dakle bez značajnih promena.



Slika 9. Finalna potrošnja za Scenario 2 – kombinacija svih instrumenata

Slika 9 prikazuje projekciju finalne potrošnje energije za individualno grejanje prema za scenarij koji predviđa konkurentniju cenu toplotnih pumpi za domaćinstva (Scenario 3). U ovom slučaju moglo bi se očekivati najveće smanjenje potrošnje energije što je prvenstveno posledica veće primene toplotnih pumpi, koja bi usledila sa pretpostavljenim padom cene ove tehnologije. Prema ovom scenariju, potrošnja energije za grejanje u domaćinstvima sa individualnim sistemima grejanja u 2050. godini bila bi manja za oko 20% u odnosu na isti period u Referentnom scenariju (kombinacija svih instrumenata – Slika 8).



Slika 10. Finalna potrošnja za Scenario 3 – kombinacija svih instrumenata [19]

Sumirajući efekte analiziranih instrumenata uočava da kombinovana primena instrumenata za ubrzanje energetske tranzicije svakako više doprinosi uštedama u potrošnji, nego analizirani instrumenti pojedinačno. Ako se govori o najoptimalnijem slučaju sa aspekta ušteda energije, onda je to svakako scenario koji predviđa smanjenje cena toplotnih pumpi na tržištu. Konkurentnija cena bi ovu tehnologiju grejanja učinila priuštivom za veći broj domaćinstava, posebno u slučaju primene instrumenta subvencije za podršku kupovine efikasnijih tehnologija.

IV ZAKLJUČAK

Energetski modeli za projekciju finalne potrošnje koji se baziraju na ekspertskim procenama, istorijskim i/ili uporednim trendovima kroz izabrani set scenarija teže da odgovore na pitanje „šta ako?“. Primena ovakvih pristupa može da ima određena ograničenja kod projekcija za sektore koji su heterogeni i gde promene zavise od mnoštva pojedinačnih odluka, što dovodi do većeg stepena neizvesnosti. U takvim situacijama, oslanjanje isključivo na ekspertsko procene, istorijske ili uporedne trendove tranzicije može zapostaviti efekte prepreka koje ometaju tranziciju i pokretača za ubrzanje tranzicije, odnosno kvantitativna ocena njihovog uticaja može biti uveličana ili umanjena.

Predloženim pristupom koji se bazira na integraciji istraživanja o grejanju, ABM simulacionog modela i energetskog modeliranja u LEAP-u obezbeđeni su realni podaci, stavovi, iskustva i percepcije potrošača koji su uključeni u modeliranje i simulaciju tranzicije do 2050. godine. Time je predloženi pristup oslobođen pretpostavki u delu gde su energetski modeli ovog tipa posebno osetljivi, a to je upravo kvantifikacija efekata političkih instrumenata na odluke krajnjih potrošača i procena buduće strukture individualnih sistema grejanja u domaćinstvima.

Kroz predloženi pristup obezbeđena je sredina za ocenu efikasnosti predloženih instrumenata za ubrzanje energetske tranzicije kroz proces simulacije ponašanja potrošača pre implementacije u praksi. Modeliranje pomoću ABM metodologije pružilo je fleksibilnost u kombinovanju širokog spektra varijabli i njihovu ocenu kroz različite uslove i scenarije. Takođe, simulacija interakcija domaćinstava međusobno tokom analiziranog perioda osigurala je efekat evolucije u ponašanju koji na kraju treba da rezultira većom spremnošću domaćinstava da ulože u održivije grejanje. Na kraju, projekcije finalne potrošnje u LEAP-u pružile su precizniju ocenu koliko razlika u strukturi održivijih sistema grejanja koja nastaje kao posledica primene različitih instrumenata ili promena na tržištu (porast cene električne energije, pad cene inovativnih tehnologija za grejanje) donosi uštede energije na nivou celog sektora domaćinstva.

Predloženi pristup omogućio kombinaciju „bottom up“ pristupa iz ABM simulacionog modela, i „top down“ (odozgo na dole) pristupa kroz LEAP što je obezbedilo uključivanje ekonomskih, ekoloških, društveno-političkih, tehničkih i socioloških činilaca koji su od uticaja na tok energetske tranzicije u individualnom grejanju. Kada su u pitanju ograničenja ovog pristupa treba konstatovati da ona pre svega proizilaze iz samog predmeta istraživanja. Naime, kompleksnost promena koje su predmet

istraživanja, kao i reakcija na promene, tj. donošenje odluke o načinu grejanja na nivou pojedinačnog domaćinstva, ne mogu se simulirati u svojoj kompleksnosti. U tom smislu, rezultate primene modeliranja i simulacije treba pre svega posmatrati kao moguće trendove u grejanju domaćinstava i moguće kolektivne obrasce ponašanja u okolnostima koje su simulirane.

Integrativni pristup je u radu primenjen za izradu projekcija finalne potrošnje energije u individualnim sistemima grejanja u Srbiji za različite scenarije energetske tranzicije i instrumente energetske politike. Sumirajući rezultate koji su proizašli iz primene integrativnog pristupa za podršku tranziciji u grejanju u Srbiji, može se uočiti da postoji značajan potencijal za postizanje uštede energije u grejanju ukoliko se zamene postojeći zastareli sistemi grejanja za održivije sisteme, pre svega toplotne pumpe, ali i ukoliko se investira u energetsku rehabilitaciju stambenih objekata. Iz izvršene analize instrumenata energetske politike može se izvući zaključak da svaki od uočenih problema i svaka od identifikovanih prepreka pružaju široku paletu mogućih odgovora. Grejanje u domaćinstvima je trenutno u takvom stanju da pruža veliki potencijal za unapređenje na različitim poljima, od zamene zastarelih tehnologija, preko primene mera energetske efikasnosti, do edukacije i podizanja svesti o održivom grejanju. Može se zaključiti da korišćenje predloženog pristupa u celini doprinosi istraživanju polja koje je ostajalo maglovito, neadekvatno istraženo ili potpuno zapostavljeno u procesu planiranja energetske tranzicije.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] IEA, International Energy Agency, World energy outlook, 2014. <http://www.iea.org/weo> [pristupljeno 01.03.2023]
- [2] IRENA, International Renewable Energy Agency, A Roadmap to 2050, 2018. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf [pristupljeno 01.03.2023]
- [3] Tang, L., Wang, X., Wang, Xi., Shao, C., Liu, S., Tian, S. Long-term electricity consumption forecasting based on expert prediction and fuzzy Bayesian theory, Energy, Vol. 167, pp. 1144-1154, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.073>
- [4] Cajot, S., Peter, M., Bahu, J.M., Guignet, F., Koch, A., Maréchal, F. Obstacles in energy planning at the urban scale, Sustainable Cities and Society, Vol. 30, pp. 223-236, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.003>
- [5] Latinović, A., Đorđević, M., Surudžić, D., Šiljkut, V. Povećanje učešća obnovljivih izvora energije u sistemima za daljinsko grejanje, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 2, pp. 61-67, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-2.61L>
- [6] Pavlović, B., Ivezić, D., Živković, M. Izazovi energetske tranzicije u sektoru individualnog grejanja, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 1, pp. 17-21, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.17P>
- [7] Jelavić, V., Delija-Ružić, V. Multisektorski pristup u tranziciji prema niskougljičnom razvoju i ciljevima Zelenog akcionog plana EU – iskustva Republike Hrvatske, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 23, No. 3, pp. 26-35, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.26J>
- [8] Dioha, M.O., Kumar, A. Exploring sustainable energy transitions in sub-Saharan Africa residential sector: The case of Nigeria, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 117, pp. 109510, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109510>
- [9] Tian, S., Lu, Y., Ge, X., Zheng, Y. An agent-based modeling approach combined with deep learning method in simulating household energy consumption, Journal of Building Engineering, Vol. 43, pp. 103210, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103210>
- [10] Kadian, R., Dahiya, R.P., Garg, H.P. Energy-related emissions and mitigation opportunities from the household sector in Delhi, Energy Policy, Vol. 35, No. 12, pp. 6195-6211, 2007.

- <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.07.014>
- [11] Wang, Z., Zhao, Z., Lin, B., Zhu, Y., Ouyang, Q. Residential heating energy consumption modeling through a bottom-up approach for China's Hot Summer–Cold Winter climatic region, *Energy and Buildings*, Vol. 109, pp. 65–74, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.057>
- [12] Csutora, M., Zsoka, A., Harangozo, G. The Grounded Survey – An integrative mixed method for scrutinizing household energy behavior, *Ecological Economics*, Vol. 182, pp. 106907, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106907>
- [13] Rue du Can, S., Khandekar, A., Abhyankar, N., Phadke, A., Zheng Khanna, N., Fridley, D., Zhou, N. Modeling India's energy future using a bottom-up approach, *Applied Energy*, Vol. 238, pp. 1108–1125, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.065>
- [14] Živković, M., Pereverza, K., Pasichnyi, O., Madžarević, A., Ivezić, D., Kordas, O. Exploring scenarios for more sustainable heating: The case of Niš, Serbia, *Energy*, Vol. 115, pp. 1758–1770, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.034>
- [15] Mirakyan, A., De Guio, R. Integrated energy planning in cities and territories: A review of methods and tools, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 22, pp. 289–297, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.033>
- [16] Sovacool, B.K., Martiskainen, M. Hot transformations: Governing rapid and deep household heating transitions in China, Denmark, Finland and the United Kingdom, *Energy Policy*, Vol. 139, pp. 111330, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111330>
- [17] Liu, W., Best, F., Crijns-Graus, W. Exploring the pathways towards a sustainable heating system – A case study of Utrecht in the Netherlands, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 280, No. 2, pp. 125036, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125036>
- [18] Rikalović, G., Vračević, B., Molnar, D. Energetska politika kao faktor održivog razvoja, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 3, pp. 66–72, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.66R>
- [19] Pavlović, B. *Modeliranje i simulacija energetske tranzicije u sektoru domaćinstva, doktorska disertacija*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2023.
- [20] Böhringer, C., Cantner, U., Costard, J., Kramkowski, L.V., Katzen, C., Pietsch, S. Innovation for the German energy transition - Insights from an expert survey, *Energy Policy*, Vol. 144, pp. 111611, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111611>
- [21] Kachirayil, F., Weinand, J.M., Scheller, F., McKenna, R. Reviewing local and integrated energy system models: insights into flexibility and robustness challenges, *Applied Energy*, Vol. 324, pp. 119666, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119666>
- [22] Wilensky, U. *NetLogo, Center for connected learning and computer-based modeling*, Northwestern University, Evanston, 1999. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> [pristupljeno 01.03.2023]
- [23] Parović, M. Razvoj energetske zajednice kao aktivna mera za podsticaj pravedne energetske tranzicije u Republici Srbiji, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 2, pp. 33–39, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-2.33P>
- [24] Rieder, W.G. Simulation and Modeling, in: Meyers R.A. (Ed.), *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, Academic Press, pp. 815–835, 2003. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00692-X>
- [25] Jackson, J.C., Rand, D., Lewis, K., Irwin, N.M., Kurt, G. Agent-based modeling: a guide for social psychologists, *Social Psychological & Personality Science*, Vol. 8, No. 4, pp. 381–395, 2017. <https://doi.org/10.1177/1948550617691100>
- [26] Alvarez-Galvez, J. Network models of minority opinion spreading: using agent-based modeling to study possible scenarios of social contagion, *Social Science Computer Review*, Vol. 34, No. 5, pp. 567–581, 2015. <https://doi.org/10.1177/0894439315605607>
- [27] Sopha, B.M., Klöckner, C.A., Hertwich, E.G. Adoption and diffusion of heating systems in Norway: Coupling agent-based modeling with empirical research, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Vol. 8, pp. 42–61, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2013.06.001>
- [28] Malik, C., Singhal, N. Consumer environmental attitude and willingness to purchase environmentally friendly products: an SEM approach, *Vision: The Journal of Business Perspective*, Vol. 21, No. 2, pp. 152–161, 2017. <https://doi.org/10.1177/0972262917700991>
- [29] Eurostat, Energy consumption in households, 2022. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households [pristupljeno 01.03.2023]
- [30] Eurostat, Energy statistics - quantities, annual data, Energy balances, 2022. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances> [pristupljeno 01.03.2023]
- [31] Republički zavod za statistiku, Energetski bilans 2020, 2022. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2022/Pdf/G20225681.pdf> [pristupljeno 01.03.2023]
- [32] Republički zavod za statistiku, Upporedni pregled broja stanova, 2022. <https://www.stat.gov.rs/sr-Latn/oblasti/popis/popis-2011/popisni-podaci-eksel-tabele> [pristupljeno 01.03.2023]
- [33] TOPS, Poslovno udruženje Toplana Srbije, Izveštaj o radu sistema daljinskog grejanja u Republici Srbiji za 2020, 2021. https://www.toplanesrbije.org.rs/uploads/ck_editor/files/Godisnji%20izvestaj%20pdf%202020%20final.pdf [pristupljeno 01.03.2023]
- [34] Republički zavod za statistiku, Regioni u Republici Srbiji, 2021. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2021/Pdf/G202126001.pdf> [pristupljeno 01.03.2023]
- [35] Jovanović, M., Bakić, V., Vučićević, B.S., Turanjanin, V.M. Analysis of different scenarios and sustainability measurement in the district heating sector in Serbia, *Thermal Science*, Vol. 23, No. 3B, pp. 2085–2096, 2019. <https://doi.org/10.2298/TSCI181009298J>
- [36] Wong, J.B., Zhang, Q. Impact of carbon tax on electricity prices and behaviour, *Finance Research Letters*, Vol. 44, pp. 102098, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102098>
- [37] Elia, A., Kamidelivand, M., Rogan, F., Gallachóir, B.Ó. Impacts of innovation on renewable energy technology cost reductions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 138, pp. 110488, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110488>
- [38] Mercure, J.F., Salas, P., Vercoulen, P., Semieniuk, G., Lam, A., Pollitt, H., Holden, P. B., Vakili, N., Chewpreecha, U., Edwards, N.R., Vinales, J. E. Reframing incentives for climate policy action, *Nature energy*, Vol. 6, pp. 1133–1143, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00934-2>

AUTOR/AUTHOR

Boban Pavlović – master inženjer zaštite životne sredine, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko – geološki fakultet, boban.pavlovic@rgf.bg.ac.rs
ORCID [0000-0002-4765-957X](https://orcid.org/0000-0002-4765-957X)

Uticaj novih energetske tehnologije na nivo energetske pravde

The Impact of New Energy Technologies on the Level of Energy Justice

Miroslav Parović

Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet Novi Sad

Rezime - Savremeni koncept energetske tranzicije podrazumeva praćenje matrice u kojoj su ključni elementi dekarbonizacija, digitalizacija, decentralizacija i demokratizacija energetskeg sektora. Pri tome, težnja je da se čitav proces sprovodi na pravičan način vodeći računa o izbalansiranosti energetske trileme. Imajući u vidu ovako postavljene zahteve, jasno je da se oni teško mogu dostići upotrebom samo konvencionalnih energetske tehnologije, bez obzira da li su bazirani na upotrebi fosilnih ili obnovljivih izvora energije. Zbog toga se ubrzano radi na razvoju novih energetske tehnologije koje bi trebalo da doprinesu lakšem dostizanju postavljenih ciljeva. Međutim, nemaju sve nove energetske tehnologije jednak uticaj na poboljšanje stepena energetske pravde u društvu, a neke od njih čak mogu izazvati i efekte suprotne od željenih. U radu se analiziraju mali modularni nuklearni reaktori (*small modular reactors*-SMRs) i veliki baterijski sistemi za skladištenje energije (*battery energy storage system* – BESS). Ove dve vrste tehnologije su izabrane jer su blizu masovne upotrebe u energetske sistemima. Takođe, primetan je i snažan uticaj različitih lobističkih grupa koje teže da nametnu ova rešenja kao obavezne elemente savremenih energetske sistema. Cilj istraživanja je sagledavanje uticaja koje bi ove dve tehnologije mogle imati na društvo, ali i na geopolitičku poziciju države u kojoj se implementiraju. Kao jedan od ključnih kriterijuma za analizu uzet je efekat primenjenih energetske rešenja na kompleksne oblike socijalnih i organizacionih tehnologije (npr. uticaj na razvoj obrazovne infrastrukture).

Ključne reči - pravedna energetska tranzicija, energetska trilema, savremene energetske tehnologije

Abstract - The modern concept of energy transition implies following a matrix in which the key elements are decarbonization, digitalization, decentralization and democratization of the energy sector. At the same time, the aspiration is to carry out the entire process in a fair way, taking care of the balance of the energy trilemma. Bearing in mind the requirements set in this way, it is clear that they can hardly be achieved using only conventional energy technologies, regardless of whether they are based on the use of fossil or renewable energy sources. This is the reason why new energy technologies are being developed quickly, which should make it easier to achieve the objectives. However, not all new energy technologies have the same impact on improving the level of energy justice in

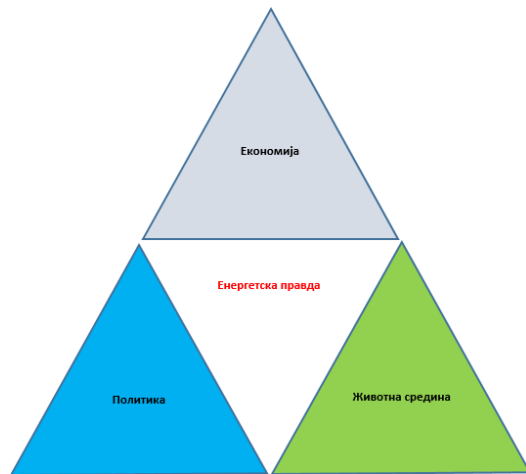
society; some of them may even cause the opposite of the desired effects. The paper analyzes small modular nuclear reactors (SMRs) and large battery systems for energy storage (BESS). These two types of technologies were selected due to their near mass application in energy systems. Also, the strong influence of various lobby groups that strive to impose these solutions as mandatory elements of modern energy systems is noticeable. The aim of the research is to assess the impact that these two technologies could have on society, but also on the geopolitical position of the country where they are implemented. One of the key criteria for the analysis was the effect of applied energy solutions on complex forms of social and organizational technologies (eg impact on the development of educational infrastructure).

Index Terms - Just energy transition, Energy trilemma, Modern energy technologies

I UVOD

Pojam energetske trileme je u upotrebu ušao preko definicije od strane *World Energy Council (WEC)*, a u okviru koje su tretirana pitanja energetske bezbednosti, socijalne jednakosti i ublažavanja uticaja na životnu sredinu. Višegodišnjim analizama utvrđeno je da države koje imaju nameru da budu najbolje u uravnotežavanju energetske trileme, moraju uspešno da balansiraju između adekvatnog iskorišćavanja postojećih energetske resursa, političke stabilnosti, društvenog bogatstva i korišćenja pristupačne ekološki prihvatljive energije [1]. Inače, sam pojam trileme se koristi za one situacije u kojima postoje tri različita cilja tako postavljena da u interakciji dva uvek teže rastu na račun trećeg. Koncept energetske pravde je uzet kao najpodesniji da se uz pomoć njega na optimalan način balansira energetska trilema nekog sistema [2], a što je prikazano na slici 1. Aktuelni trend za izučavanje energetske pravde sintetizuje četiri osnovna načela: distributivne pravde, pravde priznavanja, proceduralne pravda i restorativne pravde [3, 4]. Restorativna pravda je kao koncept prvo korišćena u krivičnom zakoniku. Kroz restorativni objekt, krivično delo se vidi kao povreda ljudi i međuljudskih odnosa, a ne kao povreda države i njenog uređenja. Na taj način, licu koje je nanelo povredu stvara se obaveza da sanira nastalu štetu, dok pravda podrazumeva uključivanje počinioaca, žrtve i zajednice u proces nalaženja rešenja koje treba da promoviše popravljivanje štete, pomirenje i sprečavanje ponovnog vršenja krivičnog dela. Iz ovakvog

određenja se vidi kako je koncept restorativne pravde upotrebljiv u energetici u kojoj postoji stalna potreba uravnotežavanja tri oprečna zahteva koji dolaze iz sfere politike, ekonomije i zaštite životne sredine.



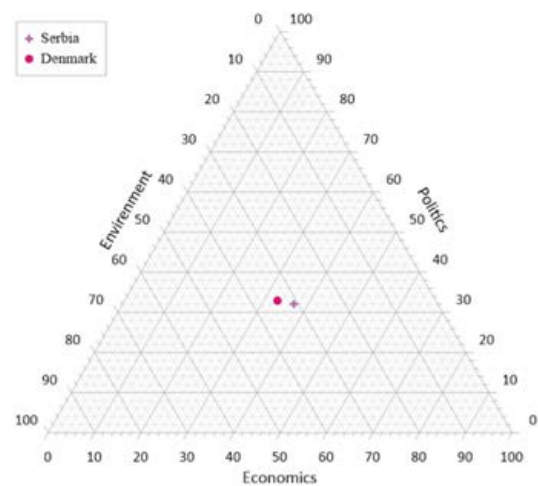
Slika 1. Šematski prikaz energetske trileme sa energetsom pravdom u središtu [2]

U okviru rada [5] izvršeno je kvantitativno merenje nivoa energetske pravde u Republici Srbiji upotrebom novorazvijene metrike za kvantifikaciju energetske pravde. Izvršena je i uporedna analiza sa parametrima Kraljevine Danske, koja je odabrana kao referentna država imajući u vidu da spada u red najrazvijenijih zemalja u svetu i da je proces energetske tranzicije ka ugljenično neutralnoj ekonomiji daleko odmakao, pa se i efekti jasno mogu videti. Na slikama 2 i 3 prikazani su ternarni dijagrami (trougao) koji prikazuje proporciju tri promenljive koje se zbrajaju u konstantu pomoću baricentričnih koordinata) na koje su nanešene izračunate (merene) vrednosti energetske pravde za dve analizirane države. Danska ima potpuno uravnoteženu energetska trilemu i balansna tačka se nalazi u centru, dok za Srbiju to nije slučaj. Uočljivo je izmeštanje tačke balansa iz geografskog centra ternarnog dijagrama (33,33,34) u tačku (37,32,31) [5]. Ovo je očekivano imajući u vidu da Danska ima snažne institucije koje sprovode energetska politiku koja podrazumeva uvođenje značajne količine OIE i savremenih energetska tehnologija. Sa druge strane, Srbija ima slabe institucije podložne korupciji, a sektor energetike se još uvek u dobroj meri koristi za kupovinu socijalnog mira.

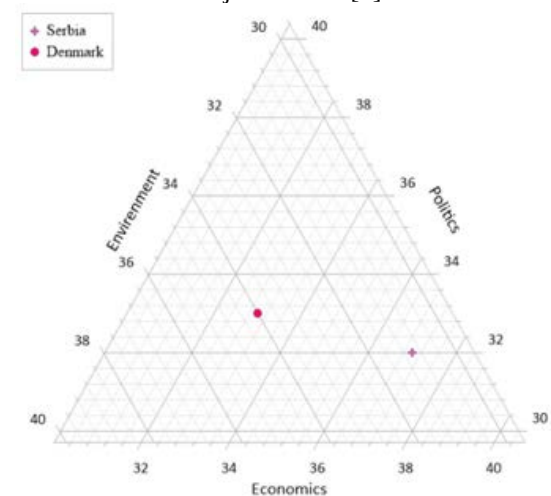
U istom radu [5] dati su parametri i formule na bazi kojih se vrše proračuni vrednosti energetske pravde. Uticajem na poboljšanje pojedinih parametara menja se i vrednost energetske pravde i na taj način se može postići bolji nivo izbalansiranosti energetske trileme.

Uvođenje savremenih energetska tehnologija u postojeći energetska sistem po pravilu ima za cilj unapređenje procesa energetske tranzicije koja je definisana kroz matricu dekarbonizacija, decentralizacija, digitalizacija i demokratizacija energetska sektora. Međutim, nema svako novo tehnološko rešenje jednak uticaj na pravednost procesa energetske tranzicije, a u pojedinim slučajevima ima upravo suprotan efekat, tj.

otvaraju se nove nepravde ili se produbljuju već postojeće. Kako je to prikazano u radu [6] svaki od ključnih dobitaka primenom savremenih energetska tehnologija dolazi sa skupom rizika. Ovi rizici se posebno tiču potencijala da principi energetske pravde, kao što su pristupačnost i održivost, naruše jednakost i poštovanje. Takođe, važan aspekt koji će se sagledavati je i taj na koji način primenjena tehnologija utiče na povećanje uključenosti zajednice u energetska sektor. Ovo je važan segment imajući u vidu napore evropske politike da stimulišu razvoj energetska inicijativa zajednice, uz preovlađujuću pretpostavku da će negovanje energije zajednice dovesti do povećanja energetske pravde u društvu [7].



Slika 2. Uporedna analiza izbalansiranosti energetske trileme Srbije i Danske [5]



Slika 3. Uporedna analiza izbalansiranosti energetske trileme Srbije i Danske (segment oko tačke balansa) [5]

Imajući u vidu kompleksnost proračuna u radu neće biti vršena kvantitativna, već samo kvalitativna analiza pretpostavljenog okvira u kojima bi se mogli kretati određeni parametri energetske pravde usled uvođenja u sistem malih modularnih nuklearnih elektrana (SMR) i baterijska sistema za čuvanje energije (BESS). Za potrebe rada biće korišćen model energetska sistema Republike Srbije.

II UTICAJ BATERIJSKIH SISTEMA ZA ČUVANJE ENERGIJE NA NIVO ENERGETSKE PRAVDE

1. Tehnoekonomski aspekti uključenja BESS u elektroenergetski sistem

Savremeni pristup sprovođenju energetske tranzicije prati matricu 4D – dekarbonizacija, decentralizacija, digitalizacija i demokratizacija. U tom smislu obnovljivi izvori energije, kao što su hidroenergija, fotonaponski paneli i vetroturbine, postali su najšire primenjena rešenja za rešavanje problema povezanih sa iscrpljivanjem fosilnih goriva, povećanjem potražnje za energijom i globalnim zagrevanjem [8]. Međutim, stohastička priroda ovog tipa energetske izvora u velikoj meri ograničava njihovu masovnu upotrebu u okviru elektroenergetskih sistema. Zbog toga se i dalje u značajnoj meri zadržava visok nivo centralizacije elektroenergetskih sistema imajući u vidu da se iz velikih proizvodnih kapaciteta zadovoljava bazna potrošnja.

Jedan od ključnih faktora koji će obezbediti da u budućnosti u energetske sistemu dominira dekarbonizovana i obnovljiva energija je integracija nekog od sistema skladištenja energije. Danas prisutne tehnologije skladištenja energije su:

- reverzibilne hidroelektrane,
- baterijski sistemi za skladištenje i,
- mehanički zamajci.

Osnova funkcionisanja ovih sistema je da ublažavaju nestalnu proizvodnju iz OIE tako što čuvaju izlaznu energiju za upotrebu kada je to potrebno [9].

Trenutno se najveća količina energije skladišti u vidu hidroenergije, međutim ovakvi sistemi su uglavnom veliki i postoje razna ograničenja za njihovu izgradnju. Takođe, izgradnja velikih reverzibilnih hidroelektrana održava visok nivo centralizacije što je suprotno zahtevima energetske tranzicije. Iz tog razloga se fokus stavlja na upotrebu baterijskih sistema za skladištenje energije. Ova rešenja mogu ići od malog kapaciteta namenjenog za upotrebu u domaćinstvima (npr. uz foto naponske panele) pa sve do velikih postrojenja koja se priključuju na prenosnu mrežu. Stoga u poslednje vreme, BESS velikih kapaciteta beleže sve veći prodor u električnu mrežu [10]. Ovakvi sistemi mogu biti integrisani na različitim tačkama mreže pa tako BESS može biti postavljen na nivou prenosa radi ublažavanja zagušenja tj. preopterećenja vodova, na nivou distribucije da bi se poboljšala pouzdanost, i iza brojila (BTM-behind-the-meter) da bi obezbedilo smanjenje opterećenja [9]. Fleksibilnost u primeni skladišta na mestu potražnje ili na nivou mreže obezbeđuje pogodnost i brz odgovor u usklađivanju ponude i potražnje električne energije. Na ovaj način poboljšani rad sistema smanjuje vršnu potražnju i dovodi do smanjenja energetske opterećenja potrošača. U slučajevima kada ekstremni vremenski događaji mogu uticati na pouzdanost energetske infrastrukture, skladište može da održava električnu uslugu, podrži kritična opterećenja i poveća otpornost mreže [9]. Na ovaj način se obezbeđuje neprekidnost u napajanju kritičnih delova sistema (npr. bolnice) i u perspektivi se omogućava isključivanje dizel agregata.

Optimalno dimenzionisanje BESS-a je od suštinskog značaja za proširenje oblasti upotrebe i pouzdanosti. Na taj način se može zadovoljiti potražnja spoljašnjeg opterećenja, ali i smanjiti

ukupni troškovi energije i neto sadašnji troškovi (NPC - *net present cost*, koristi se u slučajevima kada zbir diskontovanih troškova premašuje onu diskontovanih koristi) uz ograničenje emisija štetnih gasova. Optimalno dimenzionisanje efikasnog BESS sistema je obiman posao koji uključuje analizu faktora kao što su starenje, ekonomičnost, optimalno punjenje i pražnjenje, emisija ugljenika, oscilacije snage, nagle promene opterećenja i prekidi prenosnih ili distributivnih sistema koje treba uzeti u obzir [11]. Stoga se među istraživačima povećava interesovanje za ovu oblast i razvoj široko primenjivog i pouzdanog BESS-a. Jedan od pravaca razvoja je unapređenje tradicionalnog baterijskog sistema sekundarnog napajanja (sistemi besprekidnog napajanja - UPS) što je opravdano s obzirom na nisku cenu, dug životni vek, pouzdanost i mali negativan uticaj na životnu sredinu.

U elektroenergetskom sistemu Republike Srbije trenutno nema značajnijih kapaciteta BESS. Javlja se sporadična upotreba u hibridnim sistemima sa fotonaponskim panelima. Ovakvi sistemi omogućavaju ostrvski režim rada pa je najveća upotreba u vikendicama ili na nekim drugim mestima u kojima nema pristupa električnoj mreži.

2. Uticaj BESS-a na parametre energetske pravde

Jedan od najvažnijih aspekata upotrebe BESS jeste povećanje nivoa decentralizacije elektroenergetskog sistema. Ovo je posledica mogućnosti primene tehnologije na različite naponske nivoe. Njihov pozitivan uticaj na naponske prilike u mreži, kao i na tokove snaga stavljaju BESS u epicentar nastojanja da se više OIE poput vetroturbina i solarnih panela može uključiti direktno u distributivnu mrežu. Ovo dovodi do mogućnosti značajnijeg povećanja broja onih koji se odlučuju za ulazak u status kupac-proizvođač (prozumer) što opet dalje gura sistem u pravcu decentralizacije i dekarbonizacije. Takođe, BESS pomažu u dostizanju koncepta dubinske elektrifikacije gde se kao osnovni cilj postavlja to da krajnji korisnici imaju dodir samo sa električnom energijom.

Drugi važan segment upotrebe BESS-a jeste mogućnost podizanja nivoa energije zajednice kroz realizaciju energetske zajednice namenjenih čuvanju energije. Jedna od definicija za lokalne energetske zajednice je da su to otvorene i demokratske organizacije u kojima svaki član ima prava na glas u odlučivanju, a svrha im je omogućavanje članovima da vrše proizvodnju i distribuciju (deljenje) električne energije unutar zajednice [12]. Modularnost i mogućnost skaliranja veličine projekta BESS-a šire bazu onih koji se mogu uključiti u realizaciju projekata ovog tipa. Primeri iz Sjedinjenih Američkih Država govore u prilog sve ozbiljnijem pristupu u nameri da se preko BESS-a osnaži energija lokalne zajednice. Jedan od slikovitih primera je plan PG&E Oakland Clean Energi Initiative (OCEI) da se zameni stara elektrana na fosilno gorivo rešenjima za čistu energiju, skladištenje energije i nadogradnju električnog sistema [9]. Drugi primer je Komisija za javna komunalna preduzeća Kalifornije (CPUC-California Public Utilities Commission) koja je pokrenula program podsticaja za samo-generisanje (SGIP- Self-Generation Incentive Program) koji nudi popuste za skladištenje energije za domove, stanove i kritične objekte. CPUC je odobrio finansiranje od milijardu dolara do 2024. godine za SGIP, pri čemu je deo prioriteta bio prema klijentima sa niskim primanjima

i medicinski ugroženim korisnicima [13].

Još jedan važan segment na energetske pravde na koji utiče BESS jeste mogućnost produžavanja životnog veka baterija koje se koriste u električnim automobilima [14]. Sve je veći broj ovakvih projekata koji u praksi pokazuju delotvornost čime se podstiče ciklična ekonomija koja je jedna od trenutno najvažnijih javno proklamovanih politika Evropske Unije.

Glavni nedostaci BESS su:

- Relativno visok nivo investicije što onemogućava one ljude sa nižim primanjima da pristupe ovoj tehnologiji. Dakle, postoji prisutna sistemska socio ekonomska barijera;
- Otisak CO₂ koji nije zanemarljiv jer svaki kWh instalisanih kapaciteta baterija prilikom proizvodnje generiše ekvivalent od 150 do 200 kilograma CO₂. Ovaj podatak se mora uzimati u obzir prilikom proračuna ukupnih efekata uvođenja BESS u energetske sistem;
- Nedostatak zakonskih rešenja i procedura koji bi detaljnije obradili oblast skladištenja energije.

III UTICAJ MALIH MODULARNIH NUKLEARNIH REAKTORA NA NIVO ENERGETSKE PRAVDE

1. Tehnoekonomski aspekti uključenja SMR u elektroenergetski sistem

Mali reaktori se mogu klasifikovati prema snazi ili veličini. Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) definiše male nuklearne reaktore kao one sa snagom do 300 MW-električnih (MWe) [15]. U početku razvoja tehnologije za iskorišćenje nuklearne energije za proizvodnju struje reaktori su bili male snage. Ovo je bilo uslovljeno tehničkim mogućnostima, a ne namerom, tako da su vremenom primat preuzeli veliki reaktori. Nuklearna energija je opadala na važnosti tokom poslednjih četvrt veka, pri čemu se njen udeo u globalnoj proizvodnji električne energije smanjio sa 17,5 odsto u 1996. godini na oko 10 odsto u 2019. godini [16]. Razlog za ovakav tretman nuklearne energije je u velikim potrebnim početnim investicijama za izgradnju postrojenja, dugom čekanju na realizaciju projekata uz česta prekoračenja budžeta i rokova izgradnje, te u dostupnosti drugih tehnologija koja zahtevaju manje početne investicije i daju bolje perspektive isplativosti. Prednost korišćenja SMR je prepoznata kao sredstvo za revitalizaciju industrije nuklearne energije zbog poboljšanja koja nude u bezbednosti, konstrukciji, radu i ekonomiji. Povećana sigurnost reaktora male snage je zbog njihove upotrebe manje količine goriva i njihove sposobnosti da se prilagode pasivnim sigurnosnim sistemima, kao što je prirodna cirkulacija. Mali reaktori imaju tendenciju da budu jednostavniji i robusniji od većih, i kao takvi nude prednosti u pogledu proizvodnje i konstrukcije [17]. Jedna od osnovnih karakteristika SMR je da se oni grade kao prefabrikovana (tipska) rešenja koja se kao takva dovoze na mesto ugradnje i tu montiraju na unapred napravljenu infrastrukturu. Ovo znači da postoji nekoliko standardizovanih tipova SMR koji se kao takvi serijski proizvode u fabrikama, za razliku od velikih reaktora koji se sklapaju na licu mesta zbog čega gradnja traje duže uz česta povećanja inicijalne investicije i produžetke rokova za završetak radova. Druga važna

karakteristika je modularnost što omogućava izgradnju proizvodnih kapaciteta u skladu sa dostupnim izvorima finansiranja projekta.

Ono što se pak očekuje je da mali reaktori budu skuplji po jedinici proizvodnje zbog razloga koje ekonomisti nazivaju ekonomijom obima. Veći reaktori (ili druge elektrane u tom slučaju) su jeftiniji po jedinici instalisane snage, jer se njihovi kapitalni i operativni troškovi, koji predstavljaju materijalne i radne potrebe, ne uvećavaju linearno sa proizvodnim kapacitetom. Ovo se ogleda u opštem pravilu u industrijskom inženjeringu koji koristi zakon snage da poveže kapitalne troškove proizvodnih objekata sa različitim kapacitetima. U formuli i objašnjenju datom u okviru [18] bira se eksponent 0,6 radi povezivanja dva postrojenja veličine S1 i S2 i odnosa njihovih kapitalnih troškova K1 i K2:

$$K_1/K_2=(S_1/S_2)^{0,6} \quad (1)$$

Računica po formuli (1) podrazumeva da bi, pod svim ostalim jednakim uslovima, SMR snage 200 MW imao cenu izgradnje koja iznosi oko 40% cene izgradnje reaktora od 1000 MW, dok bi proizvodio samo 20% električne energije. Dakle, SMR od 200 MW ima otprilike duplo veću cenu po MW kapaciteta. Slično tome, rad SMR-a će takođe biti skuplji po MW kapaciteta u poređenju sa velikim reaktorom zbog ekonomije obima. Oba ova faktora će rezultirati većim troškovima po jedinici proizvedene električne energije [16]. Međutim u radu [19] ukazano je da male jedinice imaju finansijske prednosti, uprkos široko prihvaćenoj premisi „veće je bolje“ i ekonomiji obima. SMR, budući da je jeftiniji od velikog reaktora, smanjuje finansijski rizik ulaganja velike količine novca, posebno na tržištu gde se cena proizvodnje energije iz drugih izvora može smanjiti. Takođe, u radu [20] ukazano je na to da su mali reaktori privlačni kada su finansijski resursi ograničeni ili kada je samofinansiranje poželjnije, i da imaju koristi od „ekonomije višestrukosti“ kada se grade uzastopno.

Po svojoj konstrukciji SMR su predviđeni da mogu da pokrivaju baznu potrošnju električne energije uz mogućnost prilagođenja opterećenju. Njihova modularnost omogućava bolju geografsku raspodeljenost izvora imajući u vidu da oni mogu biti postavljani i na mesta gde inače drugi tip elektrane ne može. Na taj način se proizvodnja može približiti centru potrošnje što blagotvorno deluje na naponske prilike u mreži. Ujedno, mali modularni reaktori mogu se postavljati i na mesta koja imaju specifičnu potrebu za napajanjem (npr. udaljeni rudnici). Jedini SMR koji su u operativnoj eksploataciji su dva plutajuća reaktora Akademik Lomonosov 1 i 2 (svaki po 35 MW) u Rusiji [21]. Namena im je napajanje polja za eksploataciju zemnog gasa koja se nalaze daleko od električne mreže.

Nakon nuklearne katastrofe u Černobilju, donet je Zakon o zabrani izgradnje nuklearnih elektrana u SFRJ, koji je kasnije zamenjen u suštini istim zakonima SRJ i Republike Srbije [22]. Ovaj zakon je u praktičnom smislu onemogućio školovanje i razvoj kadrova sposobnih za rad u sektoru nuklearne energetike što je danas jedan od važnijih prepreka za uvođenje ovog vida energije. Uprkos postojećem moratorijumu, Narodna skupština Republike Srbije je u decembru 2015. godine usvojila Strategiju razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa

projekcijom do 2030. godine [23], u okviru koje se konstatuje da bi za intenzivnije smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte bilo neophodno uvođenje nuklearnih postrojenja u srpski energetski sektor do 2050. godine, ali u strategiji taj scenario nije usvojen kao preporučen. Tokom 2019. godine Narodna skupština je usvojila tekst Zakona o radijacionoj i nuklearnoj sigurnosti i bezbednosti [24], koji daje mogućnost Vladi Republike Srbije da izda saglasnost za gradnju određenih vrsta nuklearnih postrojenja. Tokom 2021. godine od strane predsednika Republike Srbije nekoliko puta se moglo čuti kako postoje planovi da se gradi nuklearna elektrana [25] ili da se država uključi u projekat NE Pakš u Mađarskoj [26]. Takođe, nekoliko visokih državnih funkcionera, uključivši i samog predsednika Republike zagovarali su u javnosti tezu da bi za Srbiju rešenje za proizvodnju električne energije u budućnosti bila izgradnja malih modularnih nuklearnih reaktora [27].

2. Uticaj SMR na parametre energetske pravde

SMR tehnologija omogućava proizvodnju ekološki prihvatljive električne energije koja je novim odlukama EU stavljena u rang tzv. zelenih izvora. Na taj način se planira da nuklearna energija uz zemni gas bude nosilac tranzicionog perioda od fosilnih goriva ka OIE. Modularnost se ističe kao ključna prednost ove tehnologije jer se na taj način izbegava zamka izgradnje velikih nuklearnih reaktora kod kojih se vrlo često dešava prekoračenje kako u vremenu potrebnom za izgradnju, tako i u pogledu cene postrojenja. Uz pomoć SMR omogućava se da brže počne rad određenih kapaciteta, a da se potom iz prihoda finansira nastavak projekta. Još jedna od prednosti ove tehnologije je što ne zahteva tako striktno lokacijske uslove kao klasične nuklearne elektrane, te se shodno tome moduli mogu postavljati recimo na mestima gde su ranije bila postrojenja na ugalj. Na ovaj način se omogućava postepeno gašenje proizvodnje u ovom tipu elektrana i zamena ekološki prihvatljivijom tehnologijom. Pri tome se deo postojeće infrastrukture zadržava u pogonu što povećava isplativost projekta. Takođe, deo postojećeg stručnog kadra iz termoelektrana na ugalj bi uz određenu prekvalifikaciju mogao biti prebačen na rad u nova postrojenja čime se omogućava pravičnost u energetskej tranziciji. Ovo je posebno interesantna mogućnost za one države koje imaju značajan udeo uglja u ukupnoj potrošnji primarne energije, a u koje spada i Republika Srbija.

Određeni nedostaci SMR tehnologije su inherentni samoj nuklearnoj tehnici i svode se na protivljenje društva za upotrebu ovog vida energije usled straha od akcidenata. Imajući u vidu da SMR još uvek nije ušao u fazu eksploatacije može se očekivati da će prvi projekti te vrste nailaziti na otpor sve dok se u praksi ne pokaže tačnost onoga što navode lobisti ove tehnologije. Drugi potencijalni problem koji se može imati sa SMR tehnologijom je upadanje u tehnološku zavisnost. Naime, od samog početka upotrebe nuklearne energije za proizvodnju struje postojala je težnja da postoji visok stepen međunarodne saradnje. Ovo je proklamovano kroz ideju „atomi za mir“ na bazi koje je započeto stvaranje različitih međunarodnih institucija koje se bave pitanjem civilne upotrebe atomske energije [28]. Shodno ovome, konvencionalna nuklearna tehnologija se nužno razvila kao internacionalna. Ovo se danas najbolje oslikava kroz činjenicu da čak ni u trenucima najvećih trvenja između SAD i Rusije ne prestaje saradnja u oblasti nuklearne energetike imajući

u vidu da se dobar deo goriva za američke nuklearne elektrane proizvodi u Rusiji. Takođe, proces obrade i neutralizacije nuklearnog otpada su najefikasniji kada se odvijaju u što većem obimu, što je opet jedino moguće kroz međunarodnu saradnju u ovoj oblasti. Sa druge strane, na primeru malih modularnih nuklearnih reaktora je uočljivo kako je to tehnologija koja ne podrazumeva kompleksnu prateću socijalnu infrastrukturu. Tako recimo, prilikom izgradnje i kasnijeg rada postrojenja, nema potreba za velikim brojem radnika i stručnjaka iz različitih oblasti, imajući u vidu da je najveći deo SMR tipski pravljen i kao takav se isporučuje naručiocima. Ovakav koncept pojačava potencijalne oblike tehnološke zavisnosti i značajno obeshrabruje kompleksne oblike socijalnih i organizacionih tehnologija. Pogotovo obrazovnu infrastrukturu, jer se u tipskim postrojenjima i ne mogu imati nikakve lokalne intervencije što umanjuje potrebu za angažovanjem lokalnih stručnjaka i sve se svodi na stalni angažman proizvođača opreme i sa njime povezanim firmama. Dakle, SMR u značajnoj meri ukida ideju internacionalizma u sektoru nuklearne energetike i otvara mogućnost neokolonijalne dominacije onih koji isporučuju tehnologiju i zavisnost onih koji je kupuju.

Ono što stoji kao velika nepoznanica za SMR je mogućnost reciklaže ili čak ponovne upotrebe modula. Ova tehnologija tek treba da prođe test ciklične ekonomije kako bi se sagledale sve mogućnosti. Izvesno je da SMR u svom radu daje značajno manje nuklearnog otpada u odnosu na konvencionalne nuklearke, ali se ne isključuje mogućnost kontaminacije delova postrojenja što bi u značajnoj meri onemogućavalo dalju upotrebu, a i poskupljivalo demontažu na kraju životnog veka.

IV ZAKLJUČAK

Trenutni imperativ koji se postavlja pred donosiocje odluka u sektoru energetike jeste da se favorizuju takva rešenja koja čitav sistem vode u pravcu ugljenično neutralne ekonomije. Ovo je otvorilo svojevrsnu globalnu trku u razvoju novih energetskih tehnologija.

U radu su analizirani baterijski sistemi za skladištenje energije i mali modularni nuklearni reaktori kao dve tehnologije od kojih se očekuje najveća penetracija u energetske sisteme širom sveta. Analiza je vršena kroz sočivo energetske pravde, a sa ciljem sagledavanja uticaja koje primene ovih tehnologija mogu imati na pravednost u procesu energetske tranzicije.

BESS tehnologija pokazuje značajne rezultate u pogledu decentralizacije energetskog sistema i mogućnosti da se formiraju energetske zajednice za skladištenje energije ili za hibridna postrojenja (solarni paneli plus baterijski sistemi). Takođe, značajna prednost ove tehnologije je u mogućnosti upotrebe korišćenih baterija iz električnih automobila čime se produžava njihov upotrební vek i tako daje doprinos cikličnoj ekonomiji. Svi ovi parametri značajno utiču na poboljšanje energetske pravde.

SMR tehnologija omogućava modularnost u gradnji postrojenja čime se izbegava finansijska zavisnost u koju se može ući u slučaju izgradnje velikih nuklearnih elektrana. Takođe, lokacijski uslovi za postavljanje SMR nisu toliko striktni što omogućava da se ovakva postrojenja postavljaju bliže centrima potrošnje. Kao jedna od njihovih namena navodi se i mogućnost postavljanja u

već postojećim termoelektranama na ugalj umesto blokova koji se isključuju usled striktnih ekoloških zahteva. Na ovaj način se omogućava zadržavanje određenog broja radnih mesta, kao i delova postojeće infrastrukture što doprinosi pravednosti energetske tranzicije.

Imajući u vidu da su investicije u BESS značajno manje nego u SMR, kao i da ne postoje nikakve zakonske prepreke za njihovu upotrebu može se očekivati da će ova tehnologija vrlo brzo zauzeti značajno mesto u energetskim sistemima. SMR je još uvek u fazi licenciranja i tek krajem ove decenije se očekuju prva komercijalna postrojenja priključena na mrežu. Republika Srbija bi shodno tome trebalo da se pripremi za prihvatanje značajnijih kapaciteta BESS u svoju elektromrežu, a istovremeno treba otvoriti javnu debatu o statusu nuklearne energije, jer dosadašnja praksa lobističkog pokretanja te teme daje kontraefekte i samo udaljava društvo od ozbiljnog razmatranja ove veoma važne teme.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Parović, M. Uticaj pandemije virusa COVID-19 na pravednost energetske tranzicije država u razvoju, in Proc. 36. međunarodno savetovanje Energetika, Zlatibor, Srbija, pp. 438-445, 22-25. jun 2021.
- [2] Heffron, R.J., McCauley, D., Sovacool, B.K. Resolving society's energy trilemma through the energy justice metric, *Energy Policy*, Vol 87, pp 168-176, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.033>
- [3] Sovacool, B., Burke, M., Baker, L., Kotikalapudi, C., Wlokas, H. New frontiers and conceptual frameworks for energy justice, *Energy Policy*. Vol. 105, pp. 677-91, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.005>
- [4] Heffron, R., McCauley, D. The concept of energy justice across the disciplines, *Energy Policy*, Vol. 105, pp. 658-67, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.018>
- [5] Parović, M., Kljajić, M. Improvement of metric for quantification and assessment of the energy justice, *Thermal Science*, Vol. 26, No. 3A, pp. 2225-2237, 2022. <https://doi.org/10.2298/TSCI210527262P>
- [6] Sovacool, B., Lipson, M., Chard, R. Temporality, vulnerability, and energy justice in household low carbon innovations, *Energy Policy*, Vol. 128, pp. 495-504, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.010>
- [7] Bommel, N., Höffken, J. Energy justice within, between and beyond European community energy initiatives: A review, *Energy Research & Social Science*, Vol. 79, 102157. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102157>
- [8] Yang, Y., Bremner, S., Menictas, C., Kay, M. Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 91, pp. 109-125, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.047>
- [9] Tarekne, B., O'Neil, R., Twitchell, J. Energy Storage as an Equity Asset, *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, Vol. 8, pp. 149-155, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40518-021-00184-6>
- [10] Utility-scale battery storage capacity continued its upward trend in 2018. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=44696> [pristupljeno 26.03.2023]
- [11] Hannan, M.A., Wali, S.B., Ker, P.J., Abd Rahman, M.S., Mansor, M., Ramachandaramurthy, V.K., Muttuqi, K.M., Mahlia, T.M.I., Dong, Z.Y. Battery energy-storage system: A review of technologies, optimization objectives, constraints, approaches, and outstanding issues, *Journal of Energy Storage*, Vol. 42, 103023, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103023>
- [12] Parović, M. Razvoj energetskih zajednica kao aktivna mera za podsticaj pravedne energetske tranzicije u Republici Srbiji, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 2, 2022. <https://doi.org/10.46793-eee22-2-33p/>
- [13] Self-Generation Incentive Program (SGIP). <https://www.cpuc.ca.gov/industries-and-topics/electrical-energy/demand-side-management/self-generation-incentive-program> [pristupljeno 26.03.2023]
- Skladištenje energije: novi život starih baterija iz električnih automobila, <https://balkangreenenergynews.com/rs/skladištenje-energije-novi-zivot-starih-baterija/> [pristupljeno 26.03.2023]
- [14] International Atomic Energy Agency IAEA, *Advances in small modular reactor technology developments*, Vienna International Centre, Vienna, 2018. https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book_2018.pdf [pristupljeno 26.03.2023]
- [15] Ramana, M.V. Small Modular and Advanced Nuclear Reactors: A Reality Check, *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 42090-42099, 2021, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3064948>
- [16] Hussein, E.M.A. Emerging small modular nuclear power reactors: A critical review, *Physics Open*, Vol. 5, 100038, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.physo.2020.100038>
- [17] National Research Council, *Nuclear Wastes: Technologies for separations and transmutation*, National Academy Press, Washington, DC, 1996.
- [18] Gollier, C., Prout, D., Thais, F., Walgenwitz, G. Choice of nuclear power investments under price uncertainty: valuing modularity, *Energy Economics*, Vol. 27, No. 4, pp. 667-685, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2005.04.003>
- [19] Locatelli, G., Bingham, C., Mancini, M. Small modular reactors: a comprehensive overview of their economics and strategic aspects, *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 73, pp. 75-85, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.01.010>
- [20] Mignacca, B., Locatelli, G., Sainati, T. Deeds not words: Barriers and remedies for Small Modular nuclear Reactors, *Energy*, Vol. 206, 118137, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118137>
- [21] Zakon o zabrani izgradnje nuklearnih elektrana u Saveznoj Republici Jugoslaviji, *Sl. glasnik RS*, 12/1995-28, RS 85/2005-30. <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/slsrj/skupstina/zakon/1995/12/4/reg> [pristupljeno 28.03.2023]
- [22] Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. Godine sa projekcijama do 2030. Godine, *Sl. glasnik RS*, 101/2015-36. <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/ostalo/2015/101/1/reg> [pristupljeno 28.03.2023]
- [23] Zakon o radijacionoj i nuklearnoj sigurnosti i bezbednosti, *Sl. glasnik RS*, br. 95/2018 i 10/2019. <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-radijacionoj-i-nuklearnoj-sigurnosti-i-bezbednosti.html> [pristupljeno 28.03.2023]
- [24] Vučić: Srbija razmatra izgradnju nuklearke, <https://balkangreenenergynews.com/rs/vucic-srbija-razmatra-izgradnju-nuklearke/> [pristupljeno 28.03.2023]
- [25] Vučić: Srbija želi da učestvuje u gradnji nuklearne elektrane u Mađarskoj, <https://balkangreenenergynews.com/rs/vucic-srbija-zeli-da-ucestvuje-u-gradnji-nuklearne-elektrane-u-madarskoj/> [pristupljeno 28.03.2023]
- Vučić: Srbija će možda i sama graditi modularne nuklearke, <https://www.slobodnaevropa.org/a/vucic-nuklearke-gas-struja-putin/31556558.html>
- [26] Krige, J. Atoms for peace. scientific internationalism, and scientific intelligence, *Osiris*, Vol. 21, No. 1, pp 161-181, 2006. <https://doi.org/10.1086/507140>

dr Miroslav Parović - doktor tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment, miroslav.parovic@gmail.com, ORCID [0000-0002-9891-4876](https://orcid.org/0000-0002-9891-4876)

Sprega simulacionog planerskog alata sa alatom za proračun tokova snaga: Studija slučaja Republike Srbije

Coupling of the Simulation Planning and Power Flow Calculation Tools: Case Study of the Republic of Serbia

Nikola Rajaković*, Bojan Ivanović**, Ilija Batas Bjelić***, Tomislav Rajić*

*Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija

**ODS Elektrodistribucija Srbije, Beograd Srbija

***Institut Tehničkih Nauka SANU, Beograd, Srbija

Rezime - Planiranje nacionalnog energetskog sistema preko sagledavanja alternativnih investicionih odluka kroz godišnje simulacije (korišćenjem alata EnergyPlan) zbog svoje (kombinatorne) složenosti ostavlja malo prostora za eksplicitnost u pogledu uticaja mreže na planerske odluke i zato postoji potreba da se sagledaju i tokovi snaga u mreži. Investicione odluke koje se donose ostaju sa dozom nedorečenosti u tehničkom pogledu, koja se ovom spregom može otkloniti. Alat CASE se koristi za brojne sistemske proračune tokova snaga, struja kratkog spoja, rednih kvarova, stabilnosti na male poremećaje i tranzijentne stabilnosti. U programu su implementirani i proračuni koji se baziraju na proračunu tokova snaga: redukcija mreže, sigurnost (N-1 i N-X), NTC i OTDF/PTDF. Sprega programa CASE i EnergyPlan je ostvarena preko izlaznog tekstualnog fajla EnergyPlan-a koji po satima hronološki u toku cele godine, sadrži razdvojenu ukupnu proizvodnju elektrana po tipu, ukupan konzum sistema podeljen na nekoliko podtipova, izvoz i uvoz iz regulacione oblasti. CASE učitava izlazni fajl EnergyPlan-a i ukupnu proizvodnju po tipovima elektrana CASE raspodeljuje na svaku pojedinačnu elektranu u sistemu prema unapred definisanim koeficijentima raspodele, dok ukupan konzum raspodeljuje proporcionalno postojećim opterećenjima po čvorovima mreže. Tako se za svaki sat u toku godine definiše model sistema za proračun tokova snaga. Rezultati proračuna za svaki sat se čuvaju u operativnoj memoriji CASE programa i mogu se sortirati po najopterećenijem elementu sistema, najvećoj razmeni posmatrane regulacione oblasti, gubicima u regulacionoj oblasti, proizvodnji po određenom tipu elektrane, konzumu, itd. Na ovaj način je omogućeno da se efikasno analizira rad sistema po različitim kriterijumima. Cilj ovog rada je pre svega realizacija sprege dva softverska alata, koja do sada nije bila ostvarena, kao i prikaz nekih od najznačajnijih rezultata izabranih među brojnim opcijama sortiranja stanja. Rezultat rada je integracija softverskih alata koja služi na dobrobit planerskih aktivnosti u smislu njihove tehničke izvodljivosti, odnosno da preciznije ispita da li je neki perspektivni scenario realan sa aspekta tokova snaga u prenosnoj mreži.

Ključne reči - elektroenergetski sistem, planiranje, obnovljivi izvori energije, softverski alat

Abstract - Planning of the national energy system by looking at alternative investment decisions through annual simulations (using the EnergyPlan tool) due to its (combinatorial) complexity leaves little room for explicitness regarding the network's impact on planning decisions and therefore there is a need to look at the power flows in the network. The investment decisions that are made remain with a degree of vagueness in the technical aspect, which can be removed with this connection. The CASE tool is used for numerous system calculations of power flows, short-circuit currents, series faults, stability to small disturbances and transient stability. Calculations based on the calculation of power flows are also implemented in the program: network reduction, security (N-1 and N-X), NTC and OTDF/PTDF. The coupling of the CASE program and EnergyPlan was achieved through the output text file of EnergyPlan, which contains the total production of power plants by type, the total consumption of the system divided into several subtypes, export and import from the regulatory area. CASE loads the output file of EnergyPlan and distributes the total production by power plant types to each individual power plant in the system according to predefined distribution coefficients, while the total consumption is distributed proportionally to the existing loads by network nodes. Thus, a system model for power flow calculation is defined for each hour of the year. Calculation results for each hour are stored in the working memory of the CASE program and can be sorted by the most loaded element of the system, the largest exchange of the observed control area, losses in the control area, production by a certain type of power plant, consumption, etc. In this way, it is possible to efficiently analyse the operation of the system according to different criteria. First of all, the goal of this work is to couple the two software tools, which has not been realized until now, as well as the presentation of some of the most significant results selected from among the numerous options of state sorting. The result of the work is the integration of software tools that serve the benefit of planning activities in terms of their technical feasibility, that is, to examine more precisely whether a prospective scenario is realistic from the aspect of power flows in transmission grid.

Index terms - Power system, Planning, Renewable energy sources, Software tool

I UVOD

EnergyPlan je softverski alat koji služi za modelovanje i analizu elektroenergetskih sistema. Ovaj alat simulira veličine od interesa kod nacionalnih energetske sistema na satnom nivou za potrebe izračunavanja bilansa energije, emisija gasova i troškova na godišnjem nivou [1]. Ovim analizama obuhvaćene su proizvodnja i potrošnja energije u sektorima električne energije, toplotne energije i saobraćaja, kao i emisije ugljen dioksida i aktualizovani godišnji troškovi sa investicionim i eksploatacionim karakteristikama.

Planiranje nacionalnog energetske sistema preko sagledavanja alternativnih investicionih odluka kroz godišnje simulacije (korišćenjem alata EnergyPlan) zbog svoje (kombinatorne) složenosti ostavlja malo prostora za eksplicitnost u pogledu uticaja mreže na planerske odluke i zato postoji potreba da se sagledaju i tokovi snaga u mreži [2-4]. Alat CASE se koristi za brojne sistemske proračune poput tokova snaga, struja kratkog spoja, rednih kvarova, stabilnosti na male poremećaje i tranzijentne stabilnosti. U programu su implementirani i proračuni koji se baziraju na proračunu tokova snaga: redukcija mreže, sigurnost (N-1 i N-X), NTC i OTDF/PTDF. Sprega programa CASE i EnergyPlan je ostvarena preko izlaznog tekstualnog fajla EnergyPlan-a koji po satima hronološki u toku cele godine, sadrži razdvojenu ukupnu proizvodnju elektrana po tipu, ukupan konzum sistema podeljen na nekoliko podtipova, izvoz i uvoz iz regulacione oblasti.

Cilj rada je da se pokaže kakve su performanse sistema pri velikoj penetraciji obnovljivih izvora energije [5-7]. Pretpostavljeno je da je instalirano 2000 MW koji se dobijaju od energije vetra i 2500 MW od energije sunca. U pitanju je pretpostavljeno perspektivno stanje za 2030. godinu. Softver EnergyPlan računa godišnju proizvodnju svakog tipa elektrane posebno. Kako bi se što realnije modelovao elektroenergetski sistem Srbije i proračunale razmene energije sa susednim zemljama, uneti su delovi 400 kV i 220 kV prenosnih mreža svih susednih država i Slovenije sa velikim priključenim elektranama poput HE Potile De Fier, NE Kozluduj, HE Piva, TE Pljevlja, NE Pakš, TE Gacko, HE Trebinje, HE Višegrad, NE Krško i TE Podlog. U Crnoj Gori je u TS Lastva modelovan jednosmerni kabl prema Italiji kao potrošnja od 1000 MW priključena na 400 kV sabirnice ove TS. Simulacioni model je napravljen u CASE softveru. U radu su prikazani rezultati nekoliko scenarija i analizirani su gubici i opterećenja grana, odnosno transformatora u mreži elektroenergetskog sistema Srbije. Ovakav pristup bi imao velike prednosti i pruža mnogobrojne pogodnosti u planiranju elektroenergetskog sistema, prvenstveno zbog efikasnosti i brzine proračuna [8, 9].

II SPREGA SOFTVERSKIH ALATA

Sprega programa CASE i EnergyPlan je ostvarena preko izlaznog tekstualnog fajla EnergyPlan-a. Izlazni fajl sadrži informacije na satnom nivou o: ukupnoj proizvodnji elektrana po tipu, ukupom konzumu sistema podeljen na nekoliko podtipova, izvozu i uvozu iz regulacione oblasti.

EnergyPlan simulira ponašanje nacionalnih energetske sistema na satnom nivou. Vrš se izračunavanje bilansa energije, emisija gasova staklene bašte i troškova na godišnjem nivou. Ovim

analizama obuhvaćene su proizvodnja i potrošnja energije u sektorima električne energije, toplotne energije i saobraćaja, kao i emisije ugljen dioksida i aktualizovani godišnji troškovi sa investicionim i eksploatacionim karakteristikama. Kako obnovljiva energija postaje sve izraženija u energetskim sistemima, fleksibilnost kompletnog elektroenergetskog sistema je već postala ozbiljna tema. Jedna od najpristupačnijih metoda stvaranja fleksibilnosti je integracija elektroenergetskog, toplotnog i transportnog sektora koristeći tehnologije kao što su kombinovana postrojenja za toplotnu i električnu energiju, toplotne pumpe, skladištenje energije i električna vozila. Glavna svrha ovog softvera je pomoć u kreiranju nacionalnih strategija energetske planiranja na osnovu tehničkih i ekonomskih analiza koje su posledica različitih nacionalnih energetske sistema i investicija [1].

EnergyPlan je napravljen kao *input/output* model. Kao ulazne veličine planirane su potrošnje energije u svim sektorima od interesa, obnovljivi izvori energije, kapaciteti elektrana, troškovi i planirani uvoz i izvoz električne energije, višak proizvedene energije, tipovi dostupnih energenata, specifični troškovi energenata i opreme, itd. Izlazni podaci su bilans snage i godišnja proizvodnja energije, potrošnja goriva, uvoz i izvoz električne energije i ukupni troškovi uključujući prihode od prodaje električne energije [1].

CASE softver je realizovan za potrebe široke lepeze proračuna potrebnih u elektroenergetskom sistemu. Na jednostavan način se mogu formirati mreže i vršiti analize. Za ovaj rad iskorišćena je njegova mogućnost uvoza modela prenosnog sistema Srbije iz tzv. UCTE formata u kom su sve elektrane modelovane na visokom naponu. Na Slici 1 je dat izgled softvera CASE na čijoj interaktivnoj jednodopolnoj šemi je prikazan deo 400 kV prenosnog sistema u istočnoj Srbiji.

Veličine koje se pojavljuju prilikom definisanja jednačina za snage u čvorovima su aktivna snaga (P), reaktivna snaga (Q), napon (U) i fazni stav napona (Θ), odnosno razlika u odnosu na fazni stav referentnog (balansnog čvora). Ukoliko bi sve veličine bile nepoznate, moralo bi postojati 4 N jednačina. Međutim, u sistemu postoji 2 N jednačina, gde N predstavlja broj čvorova. Da bi sistem bio rešiv, potrebno je da u svakom čvoru budu unapred poznate dve veličine. U Tabeli 4 prikazan je pregled koje veličine su poznate u odgovarajućim čvorovima [2-4].

Tabela 1. Poznate veličine u zavisnosti od tipa čvora

Tip čvora	P	Q	U	Θ
generatorski	x		x	
potrošački	x	x		
balansni			x	x

Generatorski čvorovi se još nazivaju i (P , U) čvorovi. Kod njih se aktivna snaga injektiranja održava na zadatoj vrednosti. Potrošački čvorovi se nazivaju i (P , Q) čvorovi. To su čvorovi u kojima su injektiranja aktivne i reaktivne snage zadate veličine. Pošto je prema konvenciji pozitivno injektiranje sa smerom u mrežu, to su onda ove snage negativne, ako su u pitanju čisto potrošački čvorovi. Balansni čvor je čvor sa zadatim modulom napona (U) i konstantnim faznim stavom (Θ). Ako bi u ovom

čvoru bila definisana i unapred poznata aktivna snaga injektiranja (P), onda bi problem bio predefinisani, jer bi taj parametar bio poznat u svim čvorovima [2-4].

Konačno, kada se odrede snage u svim čvorovima, mogu se vrlo jednostavno izračunati gubici u sistemu. Razlika snaga generisanja i potrošnje u svakom čvoru definiše snagu injektiranja u tom čvoru. Gubici se izračunavaju tako što se algebarski sabere sve snage injektiranja za čvorove sistema

$$P^{gub} = \sum (P_G - P_P) \quad (1)$$

$$Q^{gub} = \sum (Q_G - Q_P) \quad (2)$$

gde su:

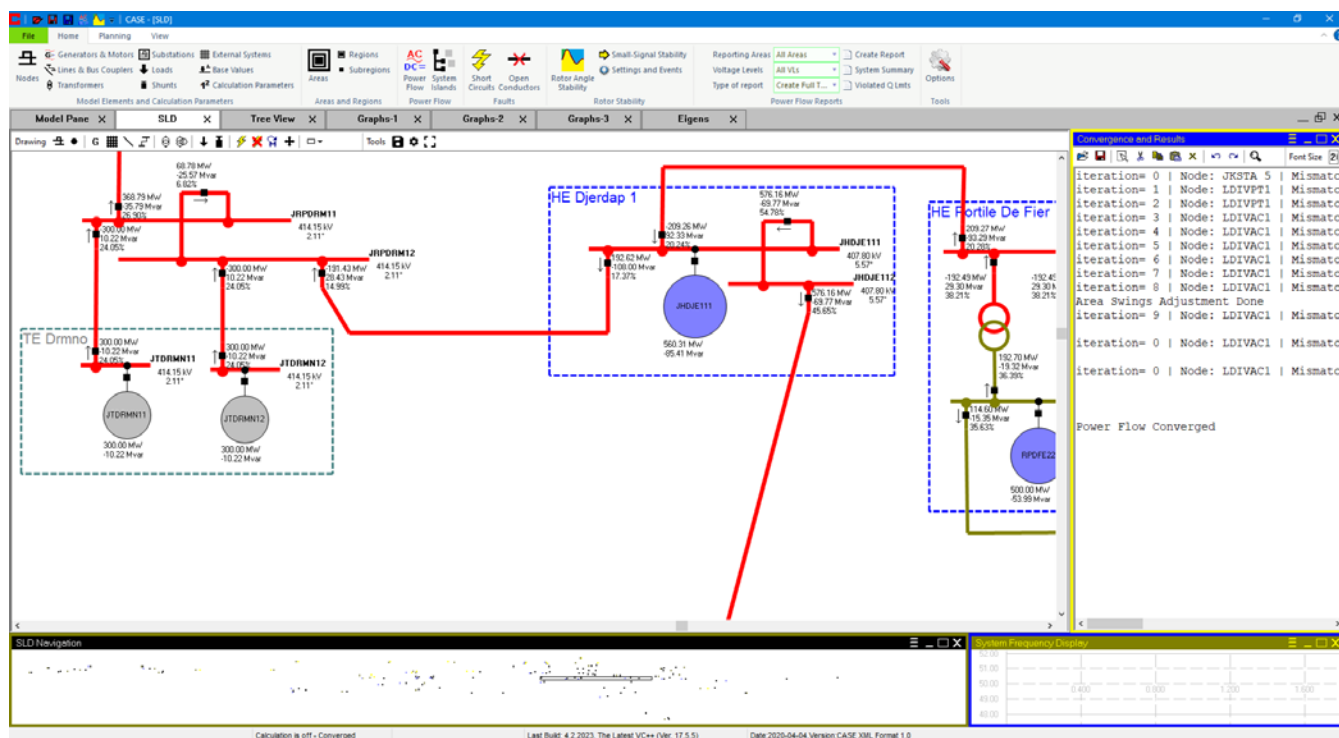
P^{gub} i Q^{gub} – gubici aktivne i reaktivne snage u sistemu

P_P i Q_P – snage potrošnje u pojedinim čvorovima i

P_G i Q_G – snage generisanja u pojedinim čvorovima.

Proračun osim osnovne *Newton-Raphson* petlje ima još dve spoljašnje petlje:

1. Za dovođenje generatora u okvire reaktivnih ograničenja. To je pretvaranje PV u PQ čvor kada se naruše reaktivna ograničenja i vraćanje iz PV u PQ kada se za to steknu uslovi, tzv. algoritam sa pogledom unazad (*backward looking*).
2. Za podešavanje regulacione snage oblasti na zadatu vrednost. Za to je zadužen balansni generator oblasti. U našem slučaju, to je HE "Đerdap 1". To je i u stvarnosti tako, pošto se preko 90% sekundarne regulacije u Srbiji obavlja sa HE "Đerdap 1".



Slika 1. Izgled softvera CASE

Program EnergyPlan daje podatke o proizvodnji i potrošnji električne energije za celokupan elektroenergetski sistem Srbije, ali ne daje mogućnost da se proračunaju tokovi snaga po granama. Za to je zadužen program CASE. Za svaki sat, na osnovu rezultata iz programa CASE, dobijaju se informacije o tome da li ima preopterećenih grana ili transformatora. Pomoću EnergyPlan programa, dobijaju se snage koje proizvode svi izvori energije kako bi se zadovoljila potrošnja. Prioritet se daje obnovljivim izvorima energije, a sve što je potrebno za ostatak potrošnje, proizvodi se iz termoelektrana, jer one proizvode najviše CO_2 gasa. Izlaz iz softvera je zbirna snaga za svaku posebno vrstu elektrane. Međutim, softver ne daje pojedinačne snage po elektranama. Uvaženo je da se sva proizvedena snaga deli na sve elektrane istog tipa, prema instalisanoj snazi srazmerno. Kasnije se proračuni tokova snaga vrše u softveru CASE.

III MODELOVANJE SISTEMA SRBIJE

Cilj rada je da se pokaže kakve su performanse sistema pri velikoj penetraciji obnovljivih izvora energije. Pretpostavljeno je da je instalirano 2000 MW koji se dobijaju od energije vetra i 2500 MW od energije sunca. U Tabeli 2, prikazane su instalisane snage iz različitih izvora energije. U pitanju je pretpostavljeno perspektivno stanje za 2030. godinu. Softver EnergyPlan računa godišnju proizvodnju svakog tipa elektrane posebno.

Usvojeno je da prosečna cena električne energije iznosi 40 EUR/MWh. Za sistemsku balansnu referentnu mašinu izabran je bugarski Kozloduj. Kako bi se što realnije prikazao elektroenergetski sistem i kako bi se proračunale razmene energije sa susednim zemljama, u CASE softveru su formirani ekvivalentni modeli zemljama sa kojima se graniči Srbija i Slovenije.

Tabela 2. Instalirane snage iz različitih izvora energije u elektroenergetskom sistemu Srbije u 2030. godini

Tip elektrane	Instalirana snaga [MW]	Godišnja proizvodnja [TWh/god]
Termoelektrana	3500	16,93
Hidroelektrane	2240	11,68
Vetroelektrane	2000	4,68
Solarne elektrane	2500	3,86
Geotermalna i nuklearna	5	0,03

U Mađarskoj je izvršeno modelovanje do NE Pakš i ubačene su njihove 400 kV veze prema Hrvatskoj, Rumuniji i Srbiji: Pečuj-Ernestinovo (dvostruki), Heviz-Žerjavinec (dvostruki), Šandofalva-Arad i Šandofalva-Subotica. U Sloveniji su modelovani NE Krško i TE Podlog. Hrvatska nema velike elektrane tako da je ubačena samo njena 400 kV mreža do Zagreba i prema Krškom. U BiH su modelovane TE Ugljevik, TE Gacko, HE Trebinje i HE Višegrad. To su elektrane koje imaju najveći uticaj na elektroenergetski sistem Srbije. U Crnoj Gori unete su TE Pljevlja i HE Piva i potrošnja oba pola podmorskog kabla u TS Lastva od 1000 MW. Zbog ovog kabla TS Lastva je ujedno i TS sa najvećom potrošnjom u regionu. U Bugarskoj se zatvara 400 kV prsten do NE Kozloduj koja je sistemska swing mašina. Postoji i 400 kV veza u Sloveniji između TS Divača i TS Redipuglia u Italiji preko koje ide veliki izvoz od oko 500 MW. TS Divača je karakteristična po tome što poseduje dva phase-shift transformatora 400/400 kV, snage 2x600 MVA, za upravljanje tokovima aktivne snage u tom delu mreže.

U elektroenergetskom sistemu Srbije modelovane su tri solarne elektrane. Dve velike solarne elektrane su priključene na 400 kV sabirnice u TS 400/110 kV Vranje i TS 400/110 kV Kragujevac, a jedna mala je priključena u TS 110/35 kV Belo Polje. Faktori učešća dve velike solarne elektrane su 0,475, a male 0,05.

IV REZULTATI

Prvi korak jeste učitavanje satnih vrednosti za brzinu vetra u različitim oblastima i regionima. Time se dobijaju ulazni parametri za proračun očekivane snage svih vetroelektrana na satnom nivou. Takođe, potrebno je uneti i satnu sunčevu iradijaciju za svaku solarnu elektranu. Postoji mogućnost i da se učitaju satne vrednosti za potrošački konzum. Izlazni tekstualni fajl softvera EnergyPlan obezbeđuje potrebne informacije po satima hronološki u toku cele godine. Izveštaj sadrži razdvojenu ukupnu proizvodnju elektrana po tipu, ukupan konzum sistema podeljen na nekoliko podtipova, izvoz i uvoz iz regualcione oblasti. Izlazni fajl EnergyPlan-a je ulaz za softver CASE.

CASE učitava izlazni fajl EnergyPlan-a i ukupnu proizvodnju po tipovima elektrana raspodeljuje na svaku pojedinačnu elektranu u sistemu prema unapred definisanim koeficijentima raspodele, dok ukupan konzum raspodeljuje proporcionalno postojećim opterećenjima po čvorovima mreže. Tako se za svaki sat u toku godine definiše model sistema za proračun tokova snaga.

Pretpostavlja se da je godina prestupna i sadrži 366 dana, odnosno 8784 sata. Softver CASE nudi pregledni prikaz rezultata po satima. Rezultati za prva 24 sata, prikazani su na slici 2. U poslednjoj koloni prikazana je razlika svih proizvodnih kapaciteta i svih potrošača za dati sat. Uvoz je na straniprodukcije a izvoz na strani konzuma. Svih 8784 scenarija konvergiraju. Najveći izvozi su u sledećim satima:

1. Sat br. 3179. Izvoz 4442 MW. U ovom satu je proizvodnja iz VE i SE u Srbiji: VE-1991 MW, SE-2308 MW;
2. Sat br. 3251. Izvoz 4355 MW. U ovom satu je proizvodnja iz VE i SE u Srbiji: VE-1749 MW, SE-2395 MW;
3. Sat br. 4547. Izvoz 4211 MW. U ovom satu je proizvodnja iz VE i SE u Srbiji: VE-2000 MW, SE-2175 MW;
4. Sat br. 4979. Izvoz 4094 MW. U ovom satu je proizvodnja iz VE i SE u Srbiji: VE-1749 MW, SE-2220 MW;
5. Sat br. 5003. Izvoz 4058 MW. U ovom satu je proizvodnja iz VE i SE u Srbiji: VE-2000 MW, SE-1997 MW;

Softver CASE ima mogućnost da sortira rezultate po unapred definisanim kriterijumima. U nastavku će biti prikazani rezultati za sate kada se javljaju najveća opterećenja po granama ikada se javljaju najveći gubici po oblastima. Najveća preopterećenja se javljaju u satu broj 5309. Program CASE pokazuje rezultate za ukupnu aktivnu i reaktivnu snagu po oblastima/državama. Rezultati su prikazani na slici 3.

U pomenutom satu, najveći naponi se javljaju u čvorovima:

JSUBO311	V[kV]=421,08	V_upper[kV]=420,00
V_lower[kV]=380,00		
JSOMB31	V[kV]=422,38	V_upper[kV]=420,00
V_lower[kV]=380,00		
JSMIT212	V[kV]=421,79	V_upper[kV]=420,00
V_lower[kV]=380,00		
JSMIT211	V[kV]=421,79	V_upper[kV]=420,00
V_lower[kV]=380,00		

Preopterećene grane su:

JWALIB51	JPANC251	1	Imax[A]=585,00	I12[A]=1697,94
I_L12[%]=290,25	I21[A]=1696,08	I_L21[%]=289,93		
JVRSA15	JVRSA25	1	Imax[A]=720,00	I12[A]=1288,20
I_L12[%]=178,92	I21[A]=1288,13	I_L21[%]=178,91		
JCVSTR5	JVRSA25	1	Imax[A]=720,00	I12[A]=755,25
I_L12[%]=104,90	I21[A]=755,65	I_L21[%]=104,95		
JPANC251	JCVSTR5	1	Imax[A]=720,00	I12[A]=730,47
I_L12[%]=101,45	I21[A]=735,07	I_L21[%]=102,09		
JALIBU5	JWKOSA51	1	Imax[A]=585,00	I12[A]=734,66
I_L12[%]=125,58	I21[A]=735,97	I_L21[%]=125,81		
JVRSA15	JWKOSA51	1	Imax[A]=720,00	I12[A]=1327,51
I_L12[%]=184,38	I21[A]=1327,82	I_L21[%]=184,42		

Ni u jednom satu nema preopterećenih transformatora.

Najveći gubici u elektroenergetskom sistemu u Republici Srbiji se javljaju u 2007. satu. Izlaz iz programa CASE za pomenuti sat je prikazan na slici 4.

U pomenutom satu, nema napona u čvorovima koji su veći od dozvoljenih. Preopterećene grane su:

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Hour	Demand [MW]	Cooling Demand [MW]	HPP-RoR [MW]	WPP [MW]	SPP [MW]	TPP-Coal [MW]	TPP-Gas [MW]	RHPP-Load [MW]	RHPP-Gen [MW]	Import [MW]	Export [MW]	CEEP [MW]	HPP+WPP+SPP+TPPCoal+TPPGas+RHPPGen+Import- (Demand+Cool.Demand+RHPPLoad+Export+CEEP)
1	5263	0	1415	0	0	3497	0	0	0	554	0	0	203
2	5179	0	1415	72	0	3497	0	0	0	399	0	0	204
3	4811	0	1415	291	0	3316	0	0	0	0	0	0	211
4	4459	0	1415	348	0	2910	0	0	0	0	0	0	214
5	4348	0	1415	164	0	2988	0	0	0	0	0	0	219
6	4207	0	1415	79	0	2934	0	0	0	0	0	0	221
7	4089	0	1415	72	0	2826	0	0	0	0	0	0	224
8	4047	0	1415	15	4	2835	0	0	0	0	0	0	222
9	4280	0	1415	15	239	2802	0	0	0	0	0	0	191
10	4608	0	1415	0	262	3103	0	0	0	0	0	0	172
11	4791	0	1415	18	456	3051	0	0	0	0	0	0	149
12	4977	0	1415	115	681	2892	0	0	0	0	0	0	126
13	5009	0	1415	348	608	2750	0	0	0	0	0	0	112
14	4987	0	1415	427	820	2424	0	0	0	0	0	0	99
15	4973	0	1415	427	348	2888	0	0	0	0	0	0	105
16	5047	0	1415	277	121	3358	0	0	0	0	0	0	124
17	5246	0	1415	291	0	3497	0	0	0	186	0	0	143
18	5387	0	1415	218	0	3497	0	0	0	411	0	0	154
19	5380	0	1415	486	0	3497	0	0	0	147	0	0	165
20	5345	0	1415	427	0	3497	0	0	0	179	0	0	173
21	5306	0	1415	291	0	3497	0	0	0	287	0	0	184
22	5245	0	1415	107	0	3497	0	0	0	419	0	0	193
23	5215	0	1415	72	0	3497	0	0	0	433	0	0	202
24	4980	0	1415	0	0	3497	0	0	0	280	0	0	212

Slika 2. Prikaz rezultata proračuna izvršenih u softveru CASE za prva 24 časa

S Y S T E M S U M M A R Y

AREA	ACTIVE POWER [MW]						REACTIVE POWER [MVar]				
	GENERATION	LOAD	LOSSES	DESEXP	EXPORT	TRANZIT	GENERATION	LOAD	LOSSES	EXPORT	TRANZIT
RS	4742.4	2324.0	222.372	2196.0	2196.0	157.6	8.6	398.9	-320.36	-69.9	73.5
RO	820.0	640.0	42.757	ndf	137.2	314.6	-108.3	239.1	146.716	-494.1	282.8
HU	1001.3	671.5	5.197	ndf	324.6	93.1	-200.0	379.7	-568.927	-10.8	6.7
BG	-924.2	180.7	7.575	slack	-1112.5	0.0	3.3	43.4	-376.184	336.1	0.0
MK	0.0	270.0	5.392	ndf	-275.4	48.9	0.0	74.0	-66.972	-7.0	20.7
HR	0.0	466.2	9.200	ndf	-475.4	381.8	0.0	174.0	-446.405	272.4	13.7
SI	888.0	595.2	6.806	ndf	286.0	380.0	-92.6	178.6	-173.758	-97.5	40.5
BA	818.4	418.4	3.027	ndf	397.0	96.0	102.2	112.0	-198.986	189.2	24.8
ME	460.3	1280.0	39.752	ndf	-859.5	0.0	113.0	70.0	309.905	-266.9	0.0
XX	0.0	617.5	0.779	ndf	-618.3	68.0	0.0	-121.7	-26.995	148.7	34.9
SUM	7806.1	7463.5	342.857	2196.0	-0.2		-173.8	1548.0	-1721.963	0.1	

Slika 3. Rezultati za aktivnu i reaktivnu snagu po oblastima/državama za sat 5309

S Y S T E M S U M M A R Y

AREA	ACTIVE POWER [MW]						REACTIVE POWER [MVar]				
	GENERATION	LOAD	LOSSES	DESEXP	EXPORT	TRANZIT	GENERATION	LOAD	LOSSES	EXPORT	TRANZIT
RS	7283.2	6957.0	325.766	0.0	0.4	1183.3	1325.3	1100.3	567.61	-342.6	110.9
RO	820.0	640.0	25.720	ndf	154.3	227.5	-62.9	239.1	-83.982	-218.0	103.3
HU	1001.3	671.5	5.818	ndf	324.0	166.7	-111.5	379.7	-557.193	66.0	76.9
BG	1255.7	180.7	12.933	slack	1062.1	0.0	-239.4	43.4	-312.401	29.6	0.0
MK	0.0	270.0	5.200	ndf	-275.2	0.0	0.0	74.0	-68.203	-5.8	0.0
HR	0.0	466.2	9.169	ndf	-475.4	381.7	0.0	174.0	-444.802	270.8	13.5
SI	888.0	595.2	6.813	ndf	286.0	380.0	-84.5	178.6	-173.711	-89.3	40.0
BA	818.4	418.4	3.616	ndf	396.4	107.2	197.4	112.0	-190.781	276.2	45.9
ME	460.3	1280.0	34.803	ndf	-854.5	94.9	156.3	70.0	220.884	-134.6	21.5
XX	0.0	617.5	0.806	ndf	-618.3	68.0	0.0	-121.7	-25.992	147.7	34.9
SUM	12526.9	12096.5	430.644	0.0	-0.2		1180.8	2249.4	-1068.570	-0.1	

Slika 4. Rezultati za aktivnu i reaktivnu snagu po oblastima/državama za sat 2007

JWALIB51 JPANC251 1 I_{max}[A]=585,00 I₂[A]=1601,24
 I_{L12}[%]=273,72 I₂₁[A]=1599,48 I_{L21}[%]=273,42
 JPANC251 JPANC152 2 I_{max}[A]=585,00 I₂[A]=710,10
 I_{L12}[%]=121,38 I₂₁[A]=709,80 I_{L21}[%]=121,33
 JPANC251 JPANC45 1 I_{max}[A]=720,00 I₂[A]=772,00
 I_{L12}[%]=107,22 I₂₁[A]=771,83 I_{L21}[%]=107,20
 JBGD3 51 JBGD165 1 I_{max}[A]=720,00 I₂[A]=724,84
 I_{L12}[%]=100,67 I₂₁[A]=724,79 I_{L21}[%]=100,67
 JBGD3 52 JPANC152 1 I_{max}[A]=585,00 I₂[A]=705,38
 I_{L12}[%]=120,58 I₂₁[A]=707,07 I_{L21}[%]=120,87
 JBGD335 JPANC151 1 I_{max}[A]=585,00 I₂[A]=639,92
 I_{L12}[%]=109,39 I₂₁[A]=640,88 I_{L21}[%]=109,55
 JVRSA15 JVRSA25 1 I_{max}[A]=720,00 I₂[A]=1268,88
 I_{L12}[%]=176,23 I₂₁[A]=1268,80 I_{L21}[%]=176,22
 JRHBBA21 JBBAST21 1 I_{max}[A]=1233,00 I₂[A]=1738,35
 I_{L12}[%]=140,99 I₂₁[A]=1737,99 I_{L21}[%]=140,96
 JRHBBA22 JBBAST22 2 I_{max}[A]=1233,00 I₂[A]=1736,10
 I_{L12}[%]=140,80 I₂₁[A]=1735,75 I_{L21}[%]=140,77
 JALIBU5 JWKOSA51 1 I_{max}[A]=585,00 I₂[A]=705,26
 I_{L12}[%]=120,56 I₂₁[A]=706,72 I_{L21}[%]=120,81
 JVRSA15 JWKOSA51 1 I_{max}[A]=720,00 I₂[A]=1369,57
 I_{L12}[%]=190,22 I₂₁[A]=1369,81 I_{L21}[%]=190,25

Ni u jednom satu nema preoprerećenih transformatora.

Rezultati pokazuju da se na jednostavan način može doći do zaključka kakav je bilans snaga na satnom nivou. Prilikom velike proizvodnje iz obnovljivih izvora energije, dobija se velika izvezena energija. Takođe, može se i proceniti kada će biti mala proizvodnja iz obnovljivih izvora energije kako bi se na vreme planirao uvoz električne energije. Proračuni su pokazali da prilikom priključenja velikih snaga obnovljivih izvora energije, na godišnjem nivou bi se imala velika izvezena električna energija. Prioritet bi bio da se zadovolji potrošnja i to se pokazuje kao uspešno obavljen zadatak. Nekoliko čvorova bi imalo veće vrednosti napona od dozvoljenih i nekoliko grana bi imalo preopterećenja. To je posledica velike proizvodnje iz obnovljivih izvora energije što se svakako može korigovati isključenjem tih elektrana ili redukovanom proizvodnjom.

Vreme proračuna svih 8784 scenarija sa formiranjem izveštaja u operativnoj memoriji na desktop računaru je manje od 9 minuta. Karakteristike računara su: procesor Intel i5-10400 2.9 GHz, RAM 8 GB, operativni system MS Windows 10 Pro.

V ZAKLJUČAK

U radu je prikazana sprega programa CASE i EnergyPlan. Sprega programa CASE i EnergyPlan je ostvarena preko izlaznog tekstualnog fajla EnergyPlan-a koji po satima hronološki u toku cele godine, sadrži razdvojenu ukupnu proizvodnju elektrana po tipu, ukupan konzum sistema podeljen na nekoliko podtipova, izvoz i uvoz iz regulacione oblasti. CASE učitava izlazni fajl EnergyPlan-a i ukupnu proizvodnju po tipovima elektrana raspodeljuje na svaku pojedinačnu elektranu u sistemu prema unapred definisanim koeficijentima raspodele, dok ukupan konzum raspodeljuje proporcionalno postojećim opterećenjima po čvorovima mreže. Tako se za svaki sat u toku godine definiše model sistema za proračun tokova snaga.

Proračuni su pokazali da prilikom priključenja velikih snaga obnovljivih izvora energije, na godišnjem nivou bi se imala

velika izvezena električna energija. Prioritet bi bio da se zadovolji potrošnja i to se pokazuje kao uspešno obavljen zadatak. Nekoliko čvorova bi imalo veće vrednosti napona, i nekoliko grana bi imalo preopterećenja. To je posledica velike proizvodnje iz obnovljivih izvora energije, što se svakako može korigovati isključenjem tih elektrana ili redukovanom proizvodnjom. Analiza pokazuje da je opisani pristup veoma produktivan, jer kombinuje dva pouzdana softverska paketa i da se može doći do korisnih zaključaka sa aspekta planiranja elektroenergetskog sistema. Pored toga, po prvi put se u našoj literaturi razmatraju karakteristični očekivani planerski scenariji u elektroenergetskom sistemu sa velikim učešćem obnovljivih izvora energije. U narednim radovima, potrebno je analizirati radna stanja sa još većim učešćem obnovljivih i pokušati ustanoviti koja su to radna stanja od interesa za analizu na tako dugačkim planerskim horizontima.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Lund, H., Thellufsen, J. Z. EnergyPLAN - Advanced energy systems analysis computer model (Version 15.1), Zenodo, 2020. <https://zenodo.org/records/4017214> [pristupljeno 23.04.2023]
- [2] Rajaković, N. *Analiza elektroenergetskih sistema I*, Akademski misao, Beograd, 2002.
- [3] Rajaković, N. *Analiza elektroenergetskih sistema II*, Akademski misao, Beograd, 2002.
- [4] Bibić, K., Stamenić, I., Rajić, T. Analiza uticaja ispada proizvodnih jedinica u TENT A i B na gubitke u prenosnom sistemu Srbije, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 4, pp. 75-79, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-4.75B>
- [5] Aleksić, V., Batas Bjelić, I. Da li nam treba više ambicije za tranziciju na obnovljive izvore u Srbiji? Temelji upravljanja i planiranja energije, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 3, pp. 1-9, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.01A>
- [6] Rajaković, N. Da li je pravo vreme za izgradnju velike solarne elektrane u Srbiji?, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 2, pp. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-2.01R>
- [7] Janković, S., Ivanović, B. Implementacija i razvoj pravila za priključenje generatorskih jedinica koje su preko invertora povezane na mrežu u Nemačkoj, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 4, pp. 59-63, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-4.59J>
- [8] Mandić-Lukić, J., Milovanović, Đ., Stipić, M., Raković, R., Petrović-Bećirović, S. Energetska tranzicija - inteligentna, pravedna i ekološki prihvatljiva, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 2, pp. 68-74, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-2.68ML>
- [9] Ristić, V., Žikić, M., Vujanović, D., Trkulja, I., Mijušković, O. Definisanje optimalnog proizvodnog miksa u dekarbonizovanom energetskom sistemu, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 1, pp. 22-27, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.22R>

AUTORI/AUTHORS

dr Nikola Rajaković, redovni profesor u penziji, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija, rajakovic@etf.rs, ORCID [0009-0004-2268-4631](https://orcid.org/0009-0004-2268-4631)

Bojan Ivanović, ODS Elektrodistribucija Srbije, bojan.b.ivanovic@ods.rs, ORCID [0009-0008-4743-8559](https://orcid.org/0009-0008-4743-8559)

dr Ilija Batas Bjelić, naučni saradnik, Institut tehničkih nauka SANU, ilija.batas-bjelic@itm.sanu.ac.rs, ORCID [0000-0002-4747-7186](https://orcid.org/0000-0002-4747-7186)

dr Tomislav Rajić, docent, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija, rajic@etf.rs, ORCID [0000-0003-4796-4117](https://orcid.org/0000-0003-4796-4117)

Planiranje energetske budućnosti grada: SWOT analiza - Studija slučaja grada Kragujevca

Planning the Energy Future of the City: SWOT Analysis - Case Study of the City of Kragujevac

Jelena Nikolić, Dušan Gordić, Vladimir Vukašinović, Mladen Josijević, Dubravka Živković

Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu

Rezime - Smanjenje emisije ugljen-dioksida i postizanje klimatske neutralnosti jedan je od glavnih izazova današnjice. S tim u vezi, prelazak sa fosilnih goriva na obnovljive izvore energije predstavlja cilj energetske planiranja u različitim zemljama širom sveta. Kao odgovor na globalnu težnju, ali i na pariski sporazum, Republika Srbija je predstavila nacrt dokumenta „Integrirani nacionalni energetski i klimatski plan, za period od 2021. do 2030. godine, uključujući perspektivu do 2050“. Međutim, kada je reč o dugoročnom energetskom planiranju na državnom nivou, važno je osvrnuti se na gradove, jer se u njima, na globalnom nivou, koristi više od 75% primarne energije. Postizanje klimatski neutralnih gradova zahteva vreme, kao i opsežnu analizu energetske potencijala. Cilj ovog rada je sprovođenje SWOT analize planiranja budućeg energetske sistema, na primeru grada Kragujevca. Rad prikazuje sve prednosti i snage na putu smanjenje ugljeničnog otiska, ali i sve nedostatke i pretnje sa kojima se zainteresovane strane mogu suočiti. Sprovedena SWOT analiza je urađena u skladu sa svim dostupnim podacima i, kao takva, rezultira prikazivanjem sadašnjih energetske potreba i uvidom u moguće buduće pravce energetske razvoja Grada Kragujevca, uz osvrt na nacionalnu i lokalnu energetski politiku.

Ključne reči - Energetsko planiranje, klimatski neutralni gradovi, SWOT analiza, obnovljivi izvori energije

Abstract - Reducing carbon dioxide emissions and achieving climate neutrality is one of the main challenges nowadays. In this regard, the transition from fossil fuels to renewable energy sources is the goal of energy planning in various countries worldwide. The Republic of Serbia announced a draft Integrated National Energy and Climate Plan of the Republic of Serbia for the period 2030 with the projections up to 2050, in response to both the global aspiration and the Paris Agreement. Yet, since cities utilize more than 75% of primary energy globally, they should be considered when it comes to long-term energy planning at the national level. Achieving climate-neutral cities requires time and extensive analysis of energy potential. This paper aims to implement a SWOT analysis of planning the future energy system, with a case study of the city of Kragujevac. The paper outlines all the benefits and factors that can help stakeholders on the road to a climate-neutral city and any potential drawbacks. The utilized SWOT analysis was done in

accordance with all available data and it results in the presentation of current energy needs and an insight into possible future directions of energy development of the City of Kragujevac concerning national and local energy policy.

Index Terms - Energy planning, Climate neutral cities, SWOT analysis, Renewable energy sources

I UVOD

Sve vidljivije posledice klimatskih promena zahtevaju ubranu reakciju po pitanju smanjenja emisija gasova sa efektom staklene bašte. Kako većina svetske populacije naseljava urbane sredine, uz projekciju da će ovaj udeo do 2050. godine dostići 68%, i kako je 60% [1] ukupne svetske emisije skoncentrisano u gradovima, oni predstavljaju glavni izazov kada je reč o klimatskoj naturalizaciji. Shodno tome, energetska tranzicija na nivou lokalnih samouprava je od izuzetne važnosti. Gradovi, koji kreiranjem strategija podržavaju proces energetske promena, pokazuju da on zahteva vreme, značajna finansijska ulaganja i da podrazumeva detaljnu analizu potencijala teritorijalno specifičnih OIE, kao i promovisanje OIE kroz odgovarajuće strategije [2]. Zato održivo planiranje budućih gradskih energetske sistema, treba da uključuje procenu dostupnih tehnologija, ali i društvenih i ekonomskih aspekata sredine. Važno je napomenuti da energetska tranzicija treba da bude sprovedena tako da se zasniva na pravednom i inteligentnom pristupu, poštujući ekološke norme [3]. Postizanje klimatske neutralnosti u gradovima je kompleksan i jedinstven proces, koji je uslovljen klimatskim faktorima i karakteristikama svakog grada. Energetska tranzicija, iako neophodna, drugačija je u svakom regionu i zahteva specifičan pristup [3]. Neuspešna realizacija je uzrokovana odabirom i primenom neadekvatnih tehnologija, kao i usled nedostatka odgovarajućih sistema [4]. Takođe, dekarbonizacija podrazumeva povezivanje svih energetske sektora, koje zahteva ekspertizu i detaljnu analizu energetske potreba i različitog učešća obnovljivih izvora energije (OIE) u energetskom miksu [5]. Stoga je neophodno mapiranje teritorijalno specifičnih energetske potencijala, sa ciljem povećanja implementacije OIE na nivou grada [6], kao i određivanje specifičnih energetske sistema, koji se zasnivaju na rangiranju tehničkih aspekata [7]. Takođe, izazovi korišćenja OIE, poput sistema upravljanja, optimizacije, operacionih i sistemskih karakteristika energetske sistema, moraju biti

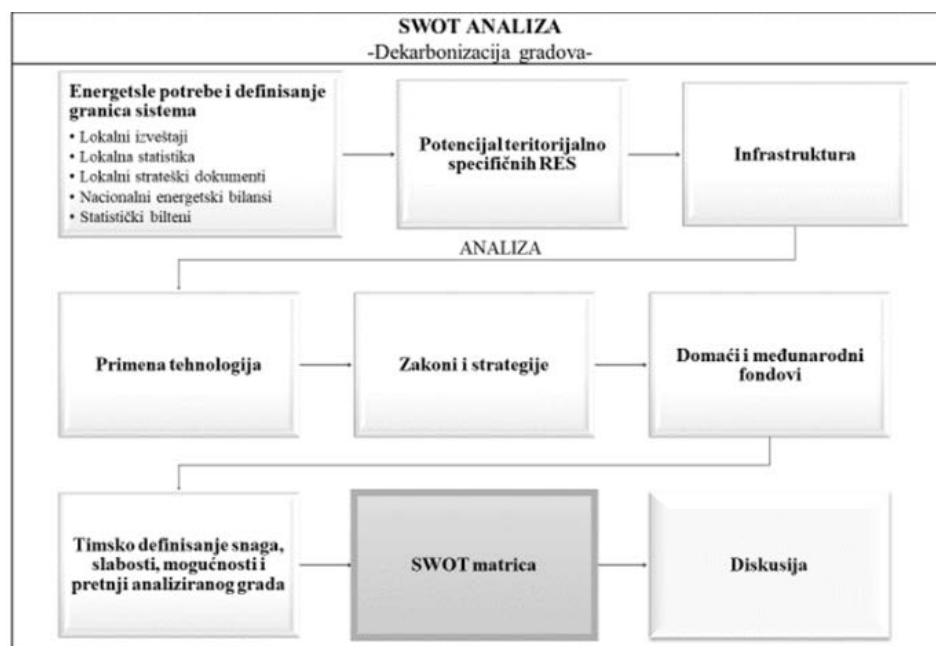
pažljivo analizirani pre instalacije OIE u značajnim razmerama [8]. Na primeru grada Masdar u Ujedinjenim Arapskim Emiratima, novog, održivog i klimatski neutralnog grada, pokazano je da je niskouglenična emisija moguća samo uz uključivanje svih zainteresovanih strana u proces detaljnog energetskeg planiranja [9]. Sa druge strane, u radu u kome je ispitivana mogućnost ostvarenja klimatske neutralnosti u gradovima, zbog toga što poseduju značajan potencijal za smanjenje upotrebe energije u sektorima transporta i zgradarstva [10], kao glavni razlog neuspešne realizacije navodi se nezastupljenost integralnog pristupa svih zainteresovanih strana od akademije, eksperata i donosioca odluka na gradskom nivou. Pored toga, samo jasne nacionalne i međunarodne regulative za unapređenje energetske održivosti gradova mogu omogućiti razvoj gradova ka ovom cilju [11]. To potvrđuje i primer regulativa u Republici Srbiji na lokalnim nivoima koje ne podstiču uključivanje OIE u sisteme grejanja, jer su nepotpune i nejasno definisane [12].

Na osnovu svega navedenog, zaključuje se da realizaciji klimatske neutralnosti u gradu treba da prethodi integralni pristup, kojim će se sagledati svi zakonodavni okviri, energetske potrebe, mogućnosti i potencijali, kao i infrastruktura. Stoga je predmet ovog rada analiza energetske budućnosti grada Kragujevca na putu ka klimatskoj neutralnosti, uzimajući u obzir sve prednosti, slabosti, prilike i pretnje, kroz analizu trenutne situacije, budućih težnji i postojećih regulativa. Ovakav pristup

zasniva se na utvrđivanju unutrašnjih nedostataka koji mogu sprečiti razvoj, kao i spoljašnjih pretnji koje mogu ugroziti ostvarivanje cilja. Do sada je energetskeg planiranje uglavnom obuhvatalo nacionalne, ili regionalne nivoe, dok gradske sredine, sa svojim specifičnostima, još uvek nisu dovoljno analizirane [13]. Rezultati ovog rada mogu doprineti proširivanju „kataloga znanja“ u oblasti klimatske naturalizacije u gradovima, jer su, zbog različitosti, rezultati svih studija slučaja na nivoima lokalnih samouprava od važnosti.

II METODOLOGIJA

Analiza energetske budućnosti grada Kragujevca, sprovedena u ovom radu, zasniva se na upotrebi jednostavnog alata - SWOT analize (eng. *Strength, Weaknesses, Opportunities, Treats*), kojom se pokazuje da li grad ima potencijala da nadvlada unutrašnje slabosti i spoljašnje pretnje, ali i da iskoristi svoje prednosti i mogućnosti koje mu se na tom putu otvaraju. Dobro sprovedena SWOT analiza pruža uvid u moguće izazove budućnosti i, kao takva, može da posluži kao predmet budućih diskusija na nivoima donošenja odluka. Zbog svega navedenog, upotreba SWOT analize je široko rasprostranjena u polju energetskeg sektora i korišćena je u radovima koji se zasnivaju na analizi energetskeg sistema [14–17], održivog razvoja [18], razvoja i mogućnosti korišćenja određenih OIE [19–21], alternativnih goriva [22] i skladištenja energija [23], kao i energetskeg politika i strategija [24,25].



Slika 1. Potrebni koraci za sprovođenje SWOT analize na nivou lokalnih samouprava

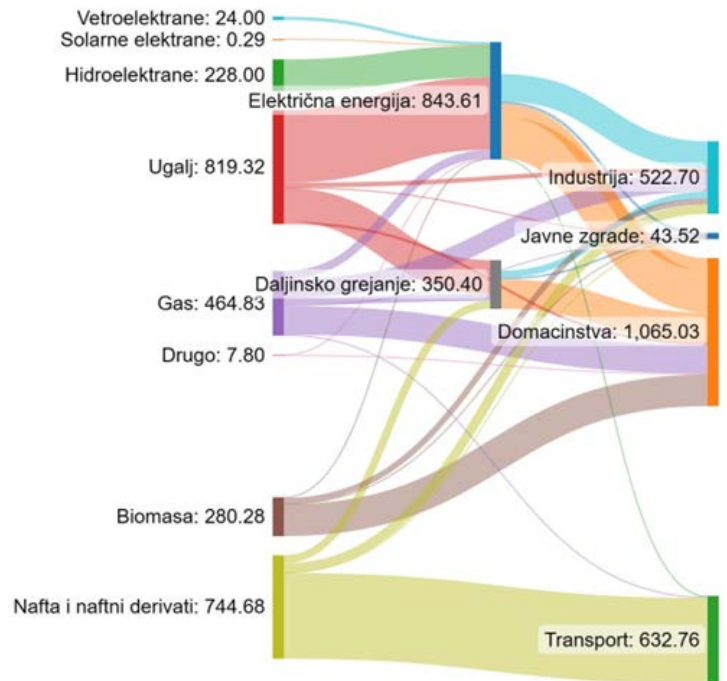
Radi sprovođenja relevantne SWOT analize, neophodno je pravilno identifikovati sve potrebne elemente. Kako bi se to ostvarilo potrebno je, najpre, prikupiti i analizirati podatke o trenutnim energetskeg potrebama. Iz ovog razloga je važno utvrditi granice lokalne samouprave. Thellufsen i saradnici [26] napominju da je, zbog pravedne raspodele energetskeg potrošnje, kao i OIE, važno da se grad ne posmatra kao izolovana celina u

državi, već da se energetske potrebe definišu na osnovu ujednačene raspodele državnih energetskeg potreba, u zavisnosti od populacije. Ovo je posebno važno u sektoru industrije i transporta. Dakle, definisanje energetskeg potreba podrazumeva pažljivu analizu nacionalnih i lokalnih dokumenata, kao i nacionalnih energetskeg bilanci. Pored toga, potrebno je utvrditi energetskeg potencijale svih teritorijalno specifičnih OIE,

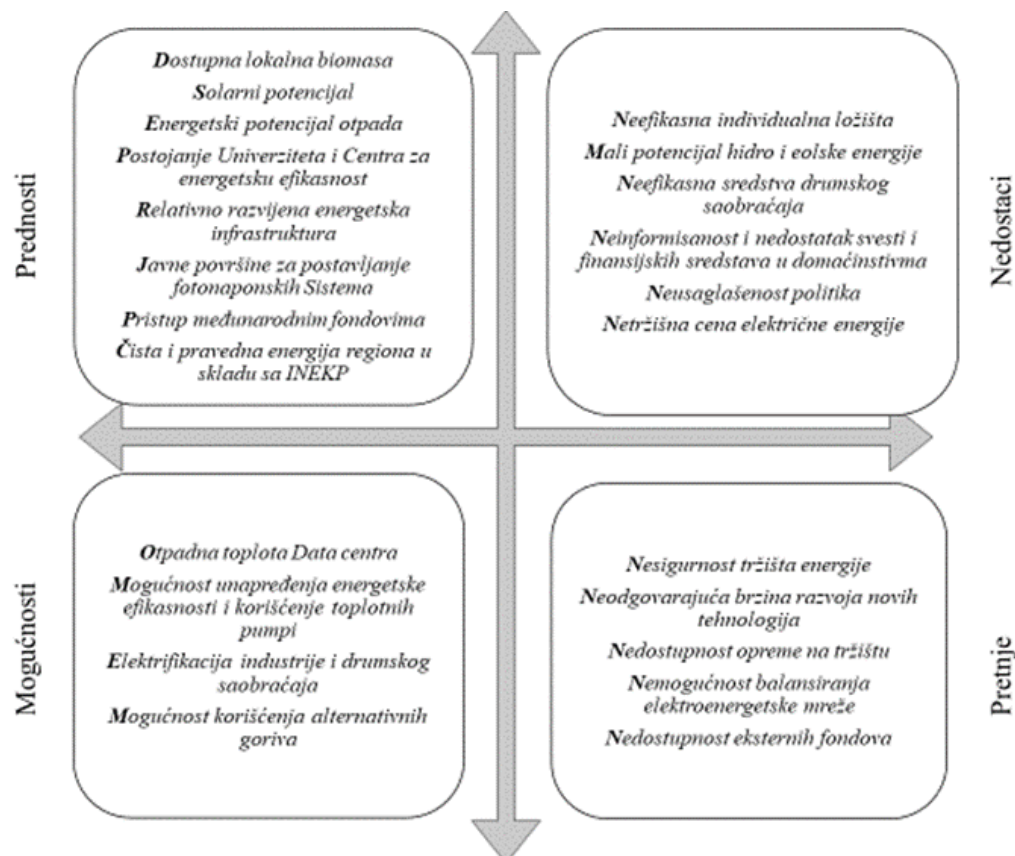
moгуćnost korišćenja postojećih tehnologija i tehnologija u razvoju i analizirati postojeću infrastrukturu. Nakon prikupljanja svih potrebnih informacija i sagledavanja postojećeg stanja, uz osvrt na zacrtane strateške ciljeve, participativnim pristupom i diskusijom među članovima tima SWOT analiza može biti definisana (Slika 1.).

III REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu analize dostupnih dokumenata, kreiran je dijagram energetske tokova u gradu Kragujevcu (Slika 2.). Napominje se da se podaci prikazani u dijagramu odnose na 2021. godinu, poslednju godinu za koju se mogu pronaći relevantni statistički podaci, kao i energetske bilanci utrošene energije na nivou Republike Srbije. Potrošnja energije u individualnim ložištima definisana je na osnovu usmenih saopštenja zaposlenih u Javnom preduzeću „Srbijagas“ [27], podataka o daljinskom grejanju u Kragujevcu [28], kao i na osnovu statističkih podataka određenim prema [29]. Podaci o potrošnji energije u javnim zgradama usvojeni su na osnovu podataka prikazanih u Programu energetske efikasnosti grada Kragujevca [30]. Kako je podatke o potrošnji energije u industriji i transportu teško staviti unutar geografskih granica grada, isti su definisani na osnovu podataka prikazanih u Biltenu o konačnim podacima o energetskom bilansu Republike Srbije za 2021. godinu [31] i udela stanovništva Grada u odnosu na ukupan broj stanovnika u Zemlji. Pošto je elektroenergetski sistem Republike Srbije većinski centralizovan, primenom istog principa određeni su izvori električne energije koja se koristi u Gradu.



Slika 2. Dijagram energetske tokova grada Kragujevca za 2021. godinu [GWh]



Slika 3. SWOT faktori energetske sistema grada Kragujevca

3.1. SWOT ANALIZA

Na osnovu diskusije o prednostima, nedostacima, mogućnostima i pretnjama za budući energetska sistem grada Kragujevca, koji se zasniva na upotrebi OIE, kreirana je SWOT matrica prikazana na Slici 3.

Prednosti

- Dostupna lokalna biomasa

Procenjuje se da potencijal biomase u Republici Srbiji čini oko 60% ukupnog potencijala OIE. Na nivou grada Kragujevca, postoji značajan potencijal biomase, koji je prikazan u Tabeli 1. Važno je napomenuti da se, u energetska planiranju, biomasa može smatrati OIE, isključivo ukoliko je način njenog korišćenja u skladu sa konceptom održivog upravljanja resursima.

Tabela 1. Energetski potencijal biomase grada Kragujevca [33]

Vrsta biomase	MWh
Ostaci uzgoja žitarica	81.912
Ostaci rezidbe plantažno uzgajanog voća	24.814
Potencijal biogasa dobijenog iz stajnjaka	110.267
Šumska biomasa	96.455

- Solarni potencijal

Grad Kragujevac poseduje značajan solarni potencijal, sa prosečnom količinom solarne energije pri optimalnom uglu prijelnika od 1.544 kWh/m². Ovaj potencijal može da se koristi za rad solarnih kolektora, ili fotonaponskih sistema. Zbog temperaturnih oscilacija u toku godine, upotreba solarnih kolektora se ne preporučuje za zagrevanje objekata, već za pripremu sanitarne tople vode.

- Energetski potencijal otpada

Prosečna godišnja količina deponovanog otpada na teritoriji Kragujevca iznosi oko 128.687,39 t, od čega je 0,88% biorazgradivog i 36,61 % komunalnog otpada. Sprovedene analize su pokazale da se na deponiji generiše 574 m³/h deponijskog gasa, na osnovu čega se predlaže instaliranje kogeneracionog postrojenja snage 600 kW [33].

- Postojanje Univerziteta i Centra za energetska efikasnost

Zaposleni na Univerzitetu u Kragujevcu mogu da pruže pomoć i ekspertske analize u oblasti OIE, kroz multidisciplinarni pristup. Takođe, u okviru Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu osnovan je Centar za Energetska efikasnost, sa ciljem savetovanja i promocije upravljanja energijom i primene OIE, kao i izradu projekata za unapređenje energetska efikasnosti, kako u sektoru industrije, tako i u sektoru zgradarstva.

- Relativno razvijena energetska infrastruktura

Grad ima razvijen sistem daljinskog grejanja sa 6 kotlarnica, ukupne snage od oko 430 MW, i preko 22.000 priključaka, na

toplovodnoj mreži dužine 89 km. Toplovodna mreža pokriva gradska naselja i zasniva se na sistemima centralizovane i decentralizovane proizvodnje [28].

Pored toplovodne mreže, Kragujevac je dobro pokriven gasovodom, sa više od 290 km distributivne mreže.

Grad je preko dva dalekovoda, iz pravca TE „Nikola Tesla“ (Obrenovac) i Niša, HE „Đerdap, 400 kV, povezan sa elektroenergetskim sistemom Srbije [33].

- Javne površine za postavljanje fotonaponskih sistema

Procenjena površina javnih krovova u Kragujevcu iznosi 45.600 m², sa godišnjim energetska potencijalom od 670,5 MWh [30]. Napominje se da se javne površine mogu koristiti kao mesta zajedničkih građanskih ulaganja u OIE, čime bi se podstakla pravedna energetska tranzicija i aktivno uključivanje građana u energetska sektor.

- Pristup međunarodnim fondovima

Razvoj i uspostavljanje sistema OIE i niskougljeničnih sistema u gradovima predstavljaju važan cilj EU. S tim u vezi, sredstva za realizaciju projekata dekarbonizacije u gradovima, pored gradskog budžeta i budžeta Republike Srbije, mogu biti finansirana sredstvima Evropske Unije [34], kreditnih linija Evropske Banke za obnovu i razvoj [35], Nemačke saradnje [36] i slično.

- Čista i pravedna energija regiona u skladu sa Integriranim Nacionalnim Klimatskim i Energetskim planom Republike Srbije

Nacrt novog strateškog dokumenta Republike Srbije-Integriranog Nacionalnog energetska i klimatskog plana Republike Srbije za period od 2030. godine, sa projekcijama do 2050. godine (INEKP), jasno predviđa unapređenje energetska efikasnosti, povećano učešće OIE i smanjenje upotrebe fosilnih goriva. Shodno tome, dekarbonizacija Kragujevca je u skladu sa strategijom zemlje i zbog toga predstavlja neizbežan proces u koji treba usmeriti znanje, iskustvo i resurse.

Nedostaci

- Neefikasna individualna ložišta

U Republici Srbiji, više od 75% domaćinstava ima individualna ložišta, sa značajnim udelom neefikasnih i dotrajalih grejnih tela na čvrsta goriva [37]. Ovakva situacija u Gradu dovodi do zagađenja vazduha, koji je posebno izražen u toku grejne sezone, ali i do neodržive upotrebe biomase.

- Potencijal hidro i eolske energije

Za razliku od solarnog potencijala, hidro energija i energija vetra imaju vrlo skroman potencijal. Naime, vetrovi koji prevladavaju u Gradu imaju nedovoljne vrednosti srednjih brzina (1,5-2,9 m/s), dok su reke, iako ih ima dosta, siromašne vodama [33].

- Neefikasna sredstva drumskog saobraćaja

Prosečna starost vozila u voznom parku grada Kragujevca je oko 15 godina, pri čemu se kao pogonsko gorivo najčešće koristi benzin, zatim dizel i TNG [30].

- Neinformisanost i nedostatak svesti i finansijskih sredstava u domaćinstvima

Rezultati sprovedene ankete u Republici Srbiji pokazuju da 58% domaćinstava nema dovoljno novca za prelazak na efikasnije sisteme grejanja, dok gotovo 26% ispitanog stanovništva nije zainteresovano za prelazak na efikasnije sisteme grejanja [38]. Ovi podaci jasno upućuju na nedostatak, svesti i finansijskih sredstava, informacija o mogućim subvencijama, ali i finansijske podrške države,.

- Neusaglašenost politika

Na nivou grada Kragujevca je u decembru 2022. godine usvojen Program energetske efikasnosti grada Kragujevca za period 2023-2025 [30], kao strateški dokument kojim se „stvaraju preduslovi za izvršenje zakonskih obaveza grada Kragujevca u oblasti energetike, energetske efikasnosti i korišćenja OIE“. Međutim, iako Dokument sistematično prikazuje potrošnju energenata u javnom sektoru, moguće buduće uštede, kao i karakteristike samog grada, uviđa se da među predloženim merama, planirane za budući period, ne postoji praktično ni jedna koja se odnosi na instalaciju OIE. Postavlja se pitanje da li ovakvo energetske planiranje zadovoljava stremljenja Republike Srbije u procesu dekarbonizacije i da li se na taj način smanjuje mogućnost ostvarivanja ovog cilja?

- Netržišna cena električne energije

Cena električne energije, za sektor domaćinstva, u Republici Srbiji je 2022. godine bila više nego tri puta niža u odnosu na prosečnu cenu u Evropskoj regiji [39]. Iako je se stvarna (puna komercijalna) cena električne energije u Srbiji daleko veća [40], ovakav sistem naplate dovodi u pitanje isplativost ulaganja u OIE, kao i nezainteresovanost među građanima, jer je period otplate često duži od očekivanog.

Mogućnosti

- Otpadna toplota Data centra

U Kragujevcu je 2020. godine otvoren Data centar. Hlađenje Data centra rezultira značajnim količinama otpadne toplote, koja se može koristiti u modernizovanom sistemu daljinskog grejanja uz primenu toplotnih pumpi, čime se postiže značajno smanjenje upotrebe energenata, ali i emisije gasova sa efektom staklene bašte.

- Mogućnost unapređenja energetske efikasnosti i korišćenje toplotnih pumpi

Grad Kragujevac je industrijski grad, koji poseduje potencijal za smanjenje utroška energije i emisije gasova sa efektom staklene bašte kroz unapređenje energetske efikasnosti u industrijskim proizvodnim procesima. Mogući načini za promovisanje energetske efikasnosti su upotreba otpadne toplote, integracija proizvodnih procesa i upotreba toplotnih pumpi, kao što je prikazano u [41]. Međutim, napominje se da je svako preduzeće jedinstvena celina i da se maksimalne energetske uštede mogu ostvariti kroz sprovođenje detaljnih energetskih pregleda i integraciju predloženih mera.

- Elektrifikacija industrije i drumskog saobraćaja

Elektrifikacija industrije i drumskog saobraćaja predstavlja važan deo dekarbonizacije u gradovima. Samo se na ovaj način, uz kreiranje pametnih energetskih mreža, može iskoristiti potencijal varijabilnih OIE, na najefikasniji način.

- Mogućnost korišćenja alternativnih goriva

Povećanjem kapaciteta OIE otvara se mogućnost za primenu zelenog vodonika. Zeleni vodonik se može smatrati načinom skladištenja OIE, jer se viškovi proizvedene energije mogu koristiti u procesima elektrolize. Korišćenje vodonika je u skladu sa INEKP.

Pretnje

- Nesigurnost tržišta energije

Porast u potražnji energije može da rezultira nestabilnošću tržišta. Prethodna dešavanja i rat u Ukrajini pokazali su da je nestašica gasa moguća i da se mogu očekivati velike varijacije u cenama, kao i dostupnosti, što može da rezultira osetim posledicama po privredu. Iako prelazak na OIE obezbeđuje energetske nezavisnost zemlje, put energetske tranzicije nije kratak i oslanja se na upotrebu fosilnih goriva.

- Neodgovarajuće brzina razvoja novih tehnologija

Razvoj novih i usavršavanje postojećih tehnologija predstavljaju važan aspekt dekarbonizacije. Samo nova, ekonomski prihvatljivija rešenja, mogu da rezultiraju rešavanjem problema globalnog zagrevanja i balansiranja elektroenergetске mreže.

- Nedostupnost opreme na tržištu

Energetska tranzicija je proces koji se prepoznaje i koji zaživljava u svim krajevima sveta. Stoga može doći do trenutne nedostupnosti potrebne opreme na tržištu, usled velike tražnje, kao što se dogodilo tokom 2022. godine, kada se na solarne panele u Srbiji čekalo i po nekoliko meseci.

- Nemogućnost balansiranja elektroenergetске mreže

Povećana integracija varijabilnih OIE sa sobom nosi potrebu za novim kapacitetima skladištenja, kako bi se izbegao problem balansiranja mreže. Nemogućnost balansiranja elektroenergetске mreže se u javnosti često ističe kao najveća prepreka prelasku na sisteme koji se zasnivaju na upotrebi OIE.

- Nedostatak eksternih fondova

Iako sada dostupni, ukidanje, ili redukcija eksternih fondova u budućnosti može da rezultira nedovoljnom realizacijom gradskih projekata u oblasti unapređenja energetske efikasnosti i OIE i na taj način usporiti proces dekarbonizacije.

VIII ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata dobijenih u radu, zaključuje se da grad Kragujevac poseduje prednosti, kao i potencijal, koji mu mogu omogućiti uspešno sprovođenje energetske tranzicije i ostvarivanje ciljeva propisanih Integracionim klimatskim i energetskim planom Republike Srbije. Međutim, na umu treba imati sve navedene sistemske nedostatke, kao i eksterne pretnje, koje mogu ugroziti put ka dekarbonizaciji energetskog sistema. Stoga je važno da se:

- promovišu koncepti energetske strategije i projekata, uz što veće uključivanje svih zainteresovanih strana;
- građani redovno informišu o značaju ostvarivanja energetske uštede i mogućnostima korišćenja teritorijalno specifičnih RES;
- građani upoznaju sa dostupnim fondovima, sa ciljem unapređenja energetske performansi domaćinstava;
- unaprede sistemi daljinskog grejanja, jer oni pružaju mogućnost povećane integracije OIE;
- unaprede mogućnosti za upotrebu otpadne toplote, prvenstveno DATA centra u gradu;
- koriste dostupni međunarodni fondovi i mogućnosti za međunarodnu saradnju sa ciljem razmene znanja i iskustava;

Energetska tranzicija nije moguća bez unapređenja i jačanje ljudskih kapaciteta u oblasti energetike i međusektorske povezanosti na svim gradskim nivoima. Prihvatanje energetske tranzicije i odgovoran odnos prema upotrebi energije moguće je ostvariti samo ukoliko građani budu aktivni učesnici u informisanju, promovisanju i odlučivanju u energetske projektima.

Na kraju, napominje se da analiza predstavljena u ovom radu može da koristi za pokretanje daljih diskusija prilikom planiranja budućih koraka u donošenju strateških dokumenata, kao i pri realizaciji budućih energetske projekata.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Generating power. United Nations 2023. <https://www.un.org/en/climatechange/climate-solutions/cities-pollution> [pistupljeno 23.03.2023]
- [2] Ulpiani, G., Vetter, N., Shtjefni, D., Kakoulaki, G., Taylor, N. Let's hear it from the cities: on the role of renewable energy in reaching climate neutrality in urban Europe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 183, pp. 113444, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113444>
- [3] Mandić-Lukić, J., Milovanović, Đ., Stipić, M., Raković, R., Petrović-Bećirović, S. Energetska tranzicija – inteligentna, pravedna i ekološki prihvatljiva, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 2, pp. 68-74, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-2.68ML>
- [4] Ullah, K.R., Prodanovic, V., Pignatta, G., Deletic, A., Santamouris, M. Technological advancements towards the net-zero energy communities: a review on 23 case studies around the globe, *Solar Energy*, Vol. 224, pp. 1107-1126, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.06.056>
- [5] Alberg Østergaard, P., Mathiesen, B.V., Möller, B., Lund, H. A renewable energy scenario for Aalborg Municipality based on low-temperature geothermal heat, wind power and biomass, *Energy*, Vol. 35, No. 12, pp. 4892-901, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.041>
- [6] Novosel, T., Pukšec, T., Krajačić, G., Duić, N. Role of district heating in systems with a high share of renewables: case study for the city of Osijek, *Energy Procedia*, Vol. 95, pp. 337-43, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.019>
- [7] Menapace, A., Thellufsen, J.Z., Pernigotto, G., Roberti, F., Gasparella, A., Righetti, M., Barattieri, M., Lund, H. The design of 100 % renewable smart urban energy systems: the case of Bozen-Bolzano, *Energy*, Vol. 207, pp. 118198, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118198>
- [8] Hoang, A.T., Pham, V.V., Nguyen, X.P. Integrating renewable sources into energy system for smart city as a sagacious strategy towards clean and sustainable process, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 305, pp. 127161, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127161>
- [9] Griffiths, S., Sovacool, B.K. Rethinking the future low-carbon city: Carbon neutrality, green design, and sustainability tensions in the making of Masdar City, *Energy Research & Social Science*, Vol. 62, pp. 101368, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101368>
- [10] Gomez Echeverri, L. Investing for rapid decarbonization in cities. *Current opinion in environmental sustainability*, Vol. 30, pp. 42-51, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.010>
- [11] Mauree, D., Naboni, E., Coccolo, S., Perera, A.T.D., Nik, V.M., Scartezini, J.-L. A review of assessment methods for the urban environment and its energy sustainability to guarantee climate adaptation of future cities, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 112, pp. 733-746, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.005>
- [12] Latinović, A., Đorđević, M., Surudić, D., Šiljkut, V. Povećanje učešća obnovljivih izvora energije u sistemima za daljinsko grejanje. *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 2, pp. 61-67, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-2.61L>
- [13] Hansen, K., Breyer, C., Lund, H. Status and perspectives on 100% renewable energy systems, *Energy*, Vol. 175, pp. 471-480, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.092>
- [14] Igliński, B., Piechota, G., Iglińska, A., Cichosz, M., Buczkowski, R. The study on the SWOT analysis of renewable energy sector on the example of the Pomorskie Voivodeship (Poland), *Clean Techn Environ Policy*, Vol. 18, pp. 45-61, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-0989-7>
- [15] Madurai Elavarasan, R., Afridhis, S., Vijayaraghavan, R.R., Subramaniam, U., Nurunnabi, M. SWOT analysis: a framework for comprehensive evaluation of drivers and barriers for renewable energy development in significant countries, *Energy Reports*, Vol. 6, pp. 1838-1864, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.07.007>
- [16] Maihemuti, S., Wang, W., Wu, J., Wang, H. New energy power system operation security evaluation based on the SWOT analysis, *Scientific Reports*, Vol. 12, pp. 12680, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16444-4>
- [17] Markovska, N., Taseska, V., Pop-Jordanov, J. SWOT analyses of the national energy sector for sustainable energy development, *Energy*, Vol. 34, pp. 752-756, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.02.006>
- [18] Pereira, L., Pinto, M., Costa, R.L.D., Dias, Á., Gonçalves, R. The new SWOT for a sustainable world, *Journal of open innovation: technology, market and complexity*, Vol. 7, No. 1, pp. 18, 2021. <https://doi.org/10.3390/joitmc7010018>
- [19] Igliński, B., Iglińska, A., Koziński, G., Skrzatek, M., Buczkowski, R. Wind energy in Poland – History, current state, surveys, *Renewable Energy Sources Act, SWOT analysis*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 64, pp. 19-33, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.081>
- [20] Lei, Y., Lu, X., Shi, M., Wang, L., Lv, H., Chen, S., Hu, C., Yu, Q., da Silveira S.D.H. SWOT analysis for the development of photovoltaic solar power in Africa in comparison with China, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 77, pp. 122127, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.04.005>
- [21] Tasnim, S.S., Rahman, Md.M., Hasan, M.M., Shammie, M., Tareq, S.M. Current challenges and future perspectives of solar-PV cell waste in Bangladesh, *Heliyon*, Vol. 8, pp. e08970, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08970>
- [22] Khan, M.I., Al-Ghamdi, S.G. Hydrogen economy for sustainable development in GCC countries: a SWOT analysis considering current situation, challenges, and prospects, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 48, No. 28, pp. 10315-10344, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.12.033>
- [23] Olabi, A.G., Wilberforce, T., Sayed, E.T., Abo-Khalil, A.G., Maghrabie, H.M., Elsaid, K., Abdelkareem, M.A. Battery energy storage systems and SWOT (strengths, weakness, opportunities, and threats) analysis of batteries in power transmission, *Energy*, Vol. 254, pp. 123987, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123987>
- [24] Jing, W., Tao, M. Research on clean energy development strategy of China Three Gorges Corporation based on SWOT framework, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 47, pp. 101335, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101335>
- [25] Mukeshimana, M.C., Zhao, Z.-Y., Nshimiyimana, J.P. Evaluating strategies for renewable energy development in Rwanda: An integrated SWOT – ISM analysis, *Renewable Energy*, Vol. 176, pp. 402-414, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.104>
- [26] Thellufsen, J.Z., Lund, H., Sorknæs, P., Østergaard, P.A., Chang, M., Drysdale, D., Nielsen, S., Djørup, S.R., Sperling, K. Smart energy cities in a 100% renewable energy context, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 129, pp. 109922, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109922>

- [27] Srbijagas 2023. <https://www.srbijagas.com/> [pistupljeno 30.03.2023]
- [28] Energetika d.o.o 2023. <http://www.energetika-kragujevac.com/tehnickisistem.php> [pistupljeno 30.03.2023]
- [29] Pavlović, B., Ivezić, D., Živković, M. State and perspective of individual household heating in Serbia: a survey-based study, *Energy and Buildings*, Vol. 247, pp. 111128, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111128>
- [30] "Sl. list grada Kragujevca", br. 39a/2022. Program energetske efikasnosti grada Kragujevca za period 2023-2025. sa planom energetske efikasnosti za 2023. god, Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica, 2022. http://www.eupropisi.com/dokumenti/KG_039A_2022_001.pdf [pistupljeno 30.03.2023]
- [31] Bilten - Energetski bilansi, 2021. Republički zavod za statistiku, Beograd, 2023. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2023/PdfE/G20235693.pdf> [pistupljeno 30.03.2023]
- [32] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije, "Sl. glasnik RS", br. 40/2021 i 35/2023. <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-korisčenju-obnovljivih-izvora-energije.html> [pistupljeno 30.03.2023]
- [33] "Sl. list grada Kragujevca", br. 11/2018. Program energetske efikasnosti grada Kragujevca za period 2018-2020 godine, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac, 2018. http://www.eupropisi.com/dokumenti/efikasnostKG11_18.pdf [pistupljeno 30.03.2023]
- [34] Funding opportunities, European Structural and Investment Funds. European Commission 2023. https://commission.europa.eu/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/funding-cities_en [pistupljeno 30.03.2023]
- [35] Project finance, European Bank for Reconstruction and Development 2023. <https://www.ebrd.com/work-with-us/project-finance.html> [pistupljeno 30.03.2023]
- [36] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH 2023. <https://nemackasaradnja.rs/giz/> [pistupljeno 30.03.2023]
- [37] Pavlović, B., Ivezić, D., Živković, M. Transition pathways of household heating in Serbia: analysis based on an agent-based model, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 163, pp. 112506, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112506>
- [38] Pavlović, B., Ivezić, D., Živković, M. Challenges of energy transition in the individual heating sector, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 1, pp. 17-21, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.17P>
- [39] Electricity price statistics. Eurostat 2023. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics [pistupljeno 30.03.2023]
- [40] Batas Bjelić, I., Molnar, D. Puna cena električne energije proizvedene iz lignita u Srbiji. *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 4, pp. 38-44, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-4.38B>
- [41] Živković, D., Končalović, D., Vukašinović, V., Josijević, M., Gordić, D. Integracija toplotnih pumpi u postojeći energetski sistem u malim i srednjim preduzećima. *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 3, pp. 32-38, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-3.32Z>

AUTORI/AUTHORS

Jelena Nikolić – master inženjer mašinstva, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, jelena.nikolic@fink.rs, ORCID [0000-0001-6781-8059](https://orcid.org/0000-0001-6781-8059)

Dušan Gordić – redovni profesor, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, gordic@kg.ac.rs, ORCID [0000-0002-1058-5810](https://orcid.org/0000-0002-1058-5810)

Vladimir Vukašinović – vanredni profesor, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, vladimir.vukasinovic@kg.ac.rs, ORCID [0000-0001-6489-2632](https://orcid.org/0000-0001-6489-2632)

Mladen Josijević - docent, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, mladenjosijevic@gmail.com, ORCID [0000-0001-9619-0897](https://orcid.org/0000-0001-9619-0897)

Dubravka Živković - docent, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, dubravka@uni.kg.ac.rs, ORCID [0000-0002-0266-456X](https://orcid.org/0000-0002-0266-456X)

Analiza energetske efikasnosti i indikatori održivosti naftne industrije u Srbiji

Analysis of Energy Efficiency and Sustainability Indicators of the Petroleum Industry in Serbia

Andrija Avramović

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Rezime - U radu su analizirani tekući energetske trendovi i dostignut nivo održivosti naftne industrije u Srbiji. Razmotreni su uticaji ovog sektora na životnu sredinu, prvenstveno kroz emisiju gasova staklene bašte. Korišćeni su poslednji javno dostupni podaci o bilansu energije i emisijama štetnih materija u ovom sektoru iz objavljenih izveštaja kompanije NIS a.d. Novi Sad za 2021. godinu, kao ključnog predstavnika naftno-gasne industrije u Srbiji.

Proračunati energetske indikatori potvrđuju visok nivo energetske potrošnje naftno-gasnog sektora u Srbiji. U pogledu energetske bezbednosti, sektor je većinski oslonjen na uvozne sirovine. Najveća energetska potrošnja sektora je u domenima geoloških istraživanja, proizvodnje i prerade nafte i gasa, dok je domen transporta i prometa naftnih derivata manje zastupljen. Prostorna distribucija potrošnje energije unutar sektora je neravnomerna. Ovakvi trendovi su prisutni i u uporedivim energetske sektorima u regionu Centralne i Jugoistočne Evrope.

Emisije gasova staklene bašte od aktivnosti naftne industrije u Srbiji za 2021. godinu procenjuju se na nivou 2,7% ukupnih domaćih emisija (prema dostupnom trendu iz 2019. godine). Najveći deo ostvarenih emisija su one usled prerade nafte i gasa, a posle njih emisije tokom procesa istraživanja i proizvodnje nafte i gasa. Proračunati indikatori održivosti potvrđuju određene uticaje tehnoloških procesa sektora na emisiju štetnih gasova staklene bašte, od kojih su najveći deo bile upravo direktne emisije.

Uočeni trendovi i tendencije na smanjenju potrošnje energije i zagađenja životne sredine ostaju prioritetni za naftno-gasni sektor u Srbiji. Očekivano je da tekući projekti daju merljive benefite povećanja energetske efikasnosti i održivosti sektora u narednom periodu. Njihova implementacija je neupitna i ne bi je trebalo odlagati.

Ključne reči - održivi razvoj, energetska efikasnost, indikatori, naftna industrija

Abstract – Current energy trends and the achieved level of sustainability of the petroleum industry in Serbia were analysed in this paper. Certain impacts of this sector on the environment were also considered, primarily through the emission of greenhouse gases. The latest publicly available data on the energy balance and emissions in this sector from the published

reports of the NIS company for the year 2021, as a key representative of the oil and gas industry in Serbia, were used for the analysis.

Based on the calculated energy indicators, a high level of energy consumption was confirmed in Serbian petroleum sector. In terms of energy security, this industry sector is mostly dependent on imported raw materials. The highest energy consumption within the sector is in the domains of exploration, production and processing, while the domains of trade and transport are less represented. The spatial distribution of energy consumption within the sector is uneven. Such trends are also present in comparable energy sectors in the region of Central and Southeastern Europe.

Emissions of greenhouse gases from the activities of the petroleum industry in Serbia for 2021 are estimated at the level of 2.7% of total domestic emissions (according to the available 2019 trend). The largest part is emissions due to processing, followed by exploration and production. Sustainability indicators confirm a certain negative impact of this sector on the emission of greenhouse gases, the largest part of which was direct emissions.

Observed trends and tendencies to reduce total energy consumption and neutralize environmental pollution remain key for the entire petroleum sector in Serbia. It is expected that the current projects will provide measurable benefits of increasing energy efficiency and sustainability of the sector in the coming period. Their implementation is beyond question and should not be delayed.

Index Terms - Sustainable development, Energy efficiency, Indicators, Petroleum industry

I UVOD

Energetika u Srbiji već duže od dve decenije prolazi kroz svojevrsne tranzicione tokove nacionalnih energetske politika u različitim svojim domenima, u težnji da, sa više ili manje uspeha, obezbedi napredak na tri važna polja tzv. „energetske trileme“ - dostupnosti energije, energetske sigurnosti i ekološkoj održivosti. Prema poslednjim podacima o održivosti energetike Srbije (eng. *Energy Trilemma Index*) Svetskog saveta za energiju (WEC), uočljiva je relativno stabilna

pozicija zemlje sa blagim napretkom u skorašnjem periodu (na 47. mestu u svetu u 2022. godini) [1]. Proučavanjem gorepomenutih energetske aspekta, njihovih tekućih trendova i mogućih projekcija, ne mogu se doneti jednoznačni zaključci o sveukupnom stanju i održivosti domaće energetike, što je uslovljeno kompleksnošću i različitim izazovima koji se pred nju postavljaju danas, naročito ako se uzimaju u obzir konvencionalni energetske sektori.

Slična sagledavanja se mogu naći i u analizama više domaćih autora, koji naročito ističu međusobnu koliziju trendova u npr. energetske sigurnosti i ekološkoj održivosti Srbije [2], nivou energetske intenziteta po glavi stanovnika zemlje [3], odnosno stepenu oslobađanja ugljen-dioksida po jedinici ostvarene energije i drugim povezanim izazovima [4]. Posebno su značajne različite projekcije budućeg stanja domaće energetike u svetlu globalnih trendova smanjenja upotrebe fosilnih goriva i uvođenja obnovljivih izvora energije [5] i njihovog međusobnog odnosa u ukupnom energetske miksu zemlje u budućnosti [6].

Pored sektora proizvodnje električne energije, najdominantniju ulogu u energetske sektoru Srbije, uprkos sve zastupljenijim pomenutim trendovima energetske tranzicije i razvoja obnovljivih izvora energije, i dalje zauzima industrija nafte i gasa, kako sa aspekta proizvodnje i utroška primarne, tako i sekundarne energije. Negativni uticaji na klimu i ekologiju, zajedno sa sve većom potražnjom za energijom samog naftno-gasnog sektora predstavljaju ključne izazove sa kojima se ovaj sektor industrije suočava danas. Iz tog razloga, pojmovi održivost i energetska efikasnost se uveliko pominju kada se razmatraju tekuće tendencije u naftnoj industriji (proizvodnja ugljovodonika, prerada nafte, transport i promet derivata).

Izuzetno je važno obezbediti održivi razvoj industrije nafte i gasa i njenu energetske efikasnost kao ključnog pokretača energetske sistema i šireg ekonomskog razvoja. Uzimajući to u obzir, puna implementacija deklariranih ciljeva održivog razvoja, koji su postavljeni u različitim međunarodnim sporazumima (Pariska deklaracija, Agenda 2030, EU Green Deal i dr.), u praksi naftno-gasnog sektora može imati ključni uticaj na povećanje održivosti globalne privrede, ali i voditi ka ostvarivanju ključnih ekoloških, klimatskih i socijalnih ciljeva [7]. Postizanje ovakvih ciljeva održivog razvoja i dostizanje zavidnog nivoa energetske efikasnosti naftne industrije je posebno važno za zemlje u tranziciji, kakva je Srbija, usled značajnog uticaja na ukupni bilans energije i životnu sredinu.

Stoga je cilj ovog rada sagledavanje tekućih energetske trendova i dostignutog nivoa održivosti naftne industrije u Srbiji kroz analizu energetske indikatora i indikatora održivog razvoja na primeru kompanije NIS a.d. Novi Sad (u daljem tekstu – NIS), kao ključnog predstavnika naftno-gasne industrije u Srbiji. U radu su razmotreni i određeni uticaji ovog sektora na životnu sredinu, prvenstveno kroz emisiju gasova staklene bašte.

II MATERIJAL I METODE

Za analizu su korišćeni poslednji javno dostupni podaci o bilansu energije i emisijama štetnih materija u naftno-gasnom sektoru Srbije, preuzeti iz Godišnjeg izveštaja o održivom razvoju kompanije NIS a.d. Novi Sad za 2021. godinu [8], koji je urađen u skladu sa svetskim standardima Global Reporting Initiative –

GRI [9] i revidiran od strane nezavisnog revizora. Radi sagledavanja celokupne slike delatnosti naftnog sektora, korišćeni su i podaci iz Godišnjeg izveštaja o poslovanju kompanije NIS a.d. u istom periodu [10]¹. Uzimajući u obzir da NIS jedini obavlja delatnosti istraživanja, proizvodnje i prerade nafte i gasa u Srbiji, kao i da zauzima značajan tržišni udeo transporta i prometa naftnih derivata, objavljeni podaci NIS-a, korišćeni za analizu u ovom radu, direktno oslikavaju stanje celokupnog domaće naftno-gasnog sektora sa aspekta energetske efikasnosti i održivosti.

Na osnovu pomenutih izveštaja o poslovanju i održivom razvoju NIS-a, sistematizovani su ključni finansijski, organizacioni i prirodni pokazatelji poslovanja koji utiču na razmatrane domene energetike i održivosti, a od značaja su za predmetnu analizu. Korišćeni te pokazatelje urađena je analiza celokupnog naftno-gasnog sektora u Srbiji u dva ključna aspekta: (1) energetske bilans i energetska efikasnost i (2) nivo održivog razvoja.

Za svaki aspekt posebno su proračunati reprezentativni indikatori, na osnovu obima i kvaliteta dostupnih podataka. Kao ključni energetske indikatori odabrani su: ukupna godišnja energetska potrošnja, potrošnja energije po neto finansijske dobiti, potrošnja energije po zaposlenom i potrošnja energije po ukupnom prometu roba i usluga (u ovom slučaju ukupan obim prometa nafte i naftnih derivata). Proračunati indikatori održivog razvoja obuhvatili su sledeće: ukupna emisija štetnih gasova staklene bašte u CO₂ ekvivalentu za godinu, odnos direktnih i indirektnih emisija štetnih gasova CO₂ ekvivalenta, emisija CO₂ ekvivalenta prema ukupnom prometu roba i usluga, emisija CO₂ ekvivalenta prema neto dobiti, emisija CO₂ ekvivalenta prema ukupnoj količini utrošene energije. Svi navedeni energetske indikatori i indikatori održivosti su proračunati na osnovu standardnih metodologija [11] i na osnovu javno dostupnih podataka koji su relevantni za razmatrani period.

Na osnovu sagledavanja aktivnosti kompanije NIS u ključnim domenima naftno-gasne industrije i izračunatih energetske i indikatora održivosti, izvedeni su zaključci o tekućem stanju energetske efikasnosti i nivoa održivosti celokupnog naftno-gasnog sektora u Srbiji. Dobijeni zaključci poslužili su za pronalaženje mogućnosti za dalja unapređenja.

III NAFTNI SEKTOR SRBIJE U 2021. GODINI

Uprkos prisutnoj pandemiji Covid-19 u 2021. godini, NIS a.d., kao ključni predstavnik naftnog sektora u Srbiji, je ostvario značajne finansijske i operativne pokazatelje na tržištu Srbije i regiona u delatnostima istraživanja, proizvodnje, prerade i prometa nafte, gasa i njihovih derivata. Ovo potvrđuju najvažniji pokazatelji poslovanja iz objavljenih godišnjih izveštaja kompanije, deo kojih je prikazan u Tabeli 1.

¹ Poslednji dostupni Izveštaj o održivom razvoju kompanije NIS, koji je korišćen u ovom radu, odnosi na 2021. godinu, koja je u određenoj meri nosila specifičnosti u energetske potrošnji usled prisutne pandemije virusa Covid-19, ali generalno daje zadovoljavajuće realnu sliku poslovanja Kompanije sa energetske stanovišta, usled neprekidnih operativnih procesa kako u istraživanju u proizvodnji, tako i u preradi i prometu nafte, gasa i naftnih derivata.

Tabela 1. Ključni finansijski, organizacioni i operativni pokazatelji poslovanja NIS-a u 2021. godini, prema [8] i [10]

Pokazatelj	J.m.	Vrednost ²
Finansijski pokazatelji		
Dobit pre plaćanja poreza (EBIDTA)	mlrd. RSD	53,2
	mil. EUR	452,8
Neto dobit	mlrd. RSD	21
	mil. EUR	178,7
Kapitalna ulaganja	mlrd. RSD	20,2
	mil. EUR	171,9
Organizacioni pokazatelji		
Broj zaposlenih	-	10873
Operativni pokazatelji		
Proizvodnja nafte i gasa	hilj. ten ³	1194
Obim prerade nafte, naftnih derivata i poluproizvoda	hilj. t	3945
Obim prometa nafte, naftnih derivata i poluproizvoda	hilj. t	4031

Radi sagledavanja energetske najzahtevnijih domena naftnog sektora (istraživanje i proizvodnja nafte i gasa, prerada nafte i naftnih derivata i njihov promet) analizirani su detaljni operativni pokazatelji NIS-a u 2021. godini, prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2. Operativni pokazatelji poslovanja kompanije NIS u 2021. godini u domenima istraživanja i proizvodnje, prerade i prometa nafte, gasa i njihovih derivata, prema [8] i [10]

Operativni pokazatelj	J.m.	Vrednost
Istraživanje i proizvodnja nafte i gasa		
Proizvodnja nafte i gasa	hilj. ten	1194
proizvodnja domaće nafte	hilj. ten	817
proizvodnja domaće gasa	hilj. ten	335
proizvodnja nafte i gasa u inostranim projektima	hilj. ten	41
Uvozna nafta	hilj. ten	2792
Ukupna proizvodnja i uvoz nafte i gasa	hilj. ten	3985
Prerada nafte i naftnih derivata		
Ukupan obim prerade nafte i naftnih derivata	hilj. t	3945
domaće nafte	hilj. t	817
uvozne nafte	hilj. t	2792
poluproizvodi	hilj. t	336
Uvoz naftnih derivata	hilj. t	86
Promet nafte i naftnih derivata		
Ukupan obim prometa nafte i naftnih derivata	hilj. t	4031
Srbija - veleprodaja	hilj. t	1344
inoaktive - veleprodaja	hilj. t	335
Srbija - maloprodaja	hilj. t	795
inoaktive - maloprodaja	hilj. t	200
izvoz, tranzit i BJ ⁴	hilj. t	1357

² Sva eventualna odstupanja u zbirnim vrednostima ili procentualnim odnosima u tabelama prikazanim u ovom radu su usled zaokruživanja.

³ ten – tona ekvivalentne nafte

⁴ BJ obuhvataju prodaju kanala bitumen, bunker i aviogoriva.

Na osnovu prikazanih podataka jasno se vidi da značajnu ulogu u poslovanju kompanije NIS, a time praktično i celokupnog domaće naftnog sektora, u razmatranom periodu zauzima uvozna nafta, posebno kada je u pitanju domen prerade (više od 2/3 sirovinske baze za preradu je uvozna nafta), dok značajno manji udeo čini domaća proizvedena nafta (oko 1/3 sirovinske baze). Ova karakteristika domaće naftnog sektora postaje sve više važna u tekućim geopolitičkim uslovima i makro-ekonomskim kretanjima na evropskom i svetskom tržištu, kada se povećava rizik od remećenja tradicionalno uspostavljenih lanaca snabdevanja i nabavke sirovina.

Uprkos tome, količine domaće proizvedene nafte i gasa, iako zauzimaju manji deo ukupnih resursa za kasniju preradu kako je prethodno navedeno, ipak garantuju barem minimalni nivo operativnog rada naftnog sektora u Srbiji uz korišćenje samo domaćih sirovina. To povećava njegovu održivost kada je u pitanju energetska bezbednost u različitim situacijama na tržištu i energetskim krizama uopšte. Ova odlika domaće naftnog sektora nije česta u zemljama regiona Zapadnog Balkana (Crna Gora, BiH, Severna Makedonija, Albanija), već je više stvar pozitivnog izuzetka u slučaju Srbije.

U pogledu prometa naftnih derivata, veći deo naftnih derivata se plasira na tržište Republike Srbije (bilo u veleprodaji ili maloprodaji) ali se i značajan deo izveze, prvenstveno u zemlje regiona, što govori o kombinovanoj orijentaciji domaće naftnog sektora kada je reč o prometu naftnih derivata i drugih finalnih proizvoda. Ovo ukazuje da su osnovni pravci tržišta naftnih derivata koji su proizvedeni u srpskom naftnom sektoru u najvećoj meri stabilni, uzimajući u obzir tekuće uslove domaće energetske tržišta ali i potrebe na tržištima regiona.

IV ENERGETSKI BILANS NAFTNOG SEKTORA U SRBIJI

Na osnovu objavljenih podataka [8], NIS a.d., a time i najveći deo domaće naftnog sektora, je u 2021. ukupno utrošio 510 235 GJ svih vrsta energije (Tabela 3). Ova količina potrošene energije ukazuje da naftna industrija u Srbiji predstavlja značajnog energetske potrošača, koja je u 2021. godini dostigla udeo od oko 0,1% ukupne energetske potrošnje Srbije [12].

Ako se uzme u obzir prostorna raspodela osnovnih delatnosti domaće naftnog sektora (geološka istraživanja i proizvodnja nafte i gasa su uglavnom u Vojvodini; prerada nafte i naftnih derivata je skoncentrisana u Pančevu; transport, distribucija i promet nafte i derivata - širom Srbije) vidi se neravnomeran prostorni raspored potrošnje energije u ovom sektoru. Na osnovu podataka u

Tabela 33 [8], može se zaključiti da se najviše energije potroši upravo u regionima gde su skoncentrisani energetske zahtevni procesi prerade i proizvodnje nafte i gasa (Vojvodina, Pančevo), dok se manje energije troši u delatnostima transporta i prometa širom zemlje (mada ne tako male količine, uzimajući u obzir dominaciju drumskog i železničkog vida transporta) i u drugim komercijalnim delatnostima. Ovo daje dodatnu specifičnost energetske potrošnje u srpskom naftnom sektoru, koja je uostalom i karakteristična za velike industrijske sisteme u celom regionu.

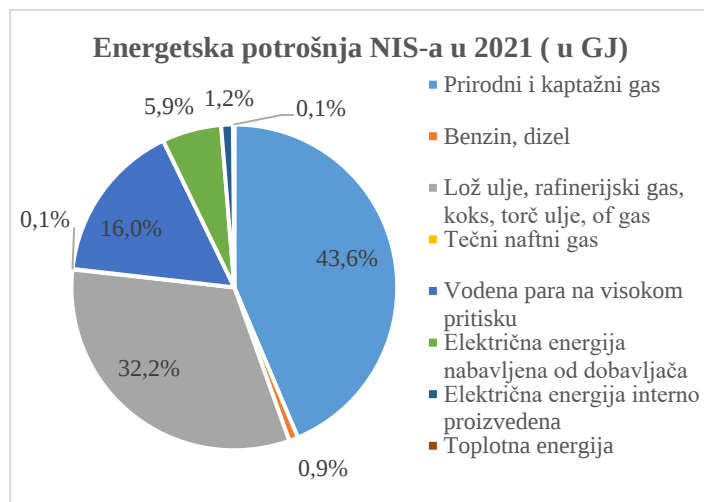
Od ukupne količine potrošene energije u NIS-u u 2021. godini, najviše je iskorišćeno prirodnog, kaptažnog gasa i naftnih derivata za energetske, procesne i transportne potrebe (preko 70%), što govori da osnovne delatnosti (istraživanje, proizvodnja i prerada) i njihovi tehnološki procesi su glavni potrošači energije, što je i očekivani trend u naftno-gasnom sektoru generalno (bilo tzv. „upstream“ ili „downstream“ segment).

Značajnu ulogu u energetske potrošnji NIS-a ima i potrošnja vodene pare kao veoma važnog procesnog energenta u tehnološkim procesima prerade nafte i naftnih derivata. Iz navedenog se vidi da ostale vrste energije učestvuju u manjoj meri u ukupnoj energetske potrošnji NIS-a u 2021. godini. Na slici 1, dat je grafički prikaz procentualne raspodele potrošnje energije po vrstama za NIS u 2021. godini.

Treba još jednom istaći, kao čestu odliku naftnih sektora država u kojima dominira nacionalna naftna kompanija, da postoji disproporcija između različitih segmenata poslovanja ovog sektora. Sa jedne strane, imamo energetske zahtevnije delatnosti, na prvom mestu proizvodnju i preradu nafte, gasa i derivata, dok sa druge strane u domenu prometa i distribucije naftnih derivata potrošnja energije je značajno manja. Nažalost, na osnovu dostupnih podataka iz objavljenih izveštaja NIS-a nije moguće izdvojiti pojedinačnu energetske potrošnju svakog od ovih domena u srpskom naftnom sektoru, ali se pretpostavlja da je taj trend prisutan.

Sigurno je da domen transporta i prometa nafte i derivata generalno troši na prvom mestu energiju uglavnom konvencionalnih pogonskih goriva (drumski i železnički transport derivata i robe), kao i električnu odnosno toplotnu energiju, ali samo na uobičajenom nivou uslužnih privrednih delatnosti, uz nešto veću potrošnju kada su u pitanju tehnološki procesi na skladištima nafte i naftnih derivata odnosno servisnim

stanicama. Sagledavanje proračunatih energetske indikatora potvrđuje visoku energetske potražnju poslovnih procesa NIS-a, odnosno celokupnog domaćeg naftnog sektora u 2021. godini (Tabela 4).



Slika 1. Udeo različitih vrsta energije u ukupnoj energetske potrošnji NIS-a u 2021. godini (prema [8], modifikovano)

Indikator potrošnje energije prema broju zaposlenih posebno naglašava ovu osobenost. Najveći deo ukupne potrošene energije u NIS-u se interno proizvede, što je značajna karakteristika tehnoloških procesa u kompaniji (većinski interna sirovinaska baza, zaokružen tehnološki proces i dr.). Ovo predstavlja i značajnu pozitivnu odliku domaćeg naftnog sektora sa aspekta održivosti, kada je u pitanju potrošnja energije.

Tabela 3. Pregled potrošnje energije po vrsti i izvorima u NIS a.d. Novi Sad za 2021. godinu [8]

Vrsta energije	J.m.	Utrošena količina energije (u j.m.)	Utrošena količina energije (u GJ)	Udeo vrste energije u ukupnoj potrošnji (%)
Prirodni i kaptažni gas	m ³	279 516 176	222 571	43,6%
Gorivo za sopstvenu potrošnju	t	352 922	169 060	33,1%
benzin, dizel	t	4 470	4 697	0,9%
lož ulje, rafinerijski gas, koks, torč ulje, of gas	t	348 452	164 363	32,2%
Tečni naftni gas	t	275	289	0,1%
Vodena para na visokom pritisku	t	1 059 436	81 678	16,0%
Električna energija	MWh	417221	35 875	7,0%
nabavljena od dobavljača	MWh	348 980	30 007	5,9%
interno proizvedena	MWh	68 241	5 868	1,2%
Toplotna energija	MWh	8 858	762	0,1%
Ukupno:	-	-	510 235	100,0%

Tabela 4. Proračunati energetske indikatori poslovanja kompanije NIS u 2021. godini, na osnovu objavljenih podataka [8] i [10]

Energetski indikator	J.m.	Vrednost
Ukupna godišnja energetska potrošnja	GJ / an.	510 235
Potrošnja energije u odnosu na neto finansijsku dobit kompanije	GJ / hilj. EUR	2,9
Potrošnja energije prema zaposlenom	GJ / pp	46,93
Potrošnja energije prema ukupnom prometu roba i usluga	GJ / hilj. t	126,6

V ODRŽIVOST NAFTNE INDUSTRIJE U SRBIJI

U ovom radu je u pogledu održivog razvoja sagledan uticaj poslovanja NIS-a na životnu sredinu, na prvom mestu uticaj emisija štetnih gasova staklene bašte, kao glavnih negativnih faktora. Podaci o emisijama drugih štetnih materija, otpada i ekološkim akcidentima nisu razmatrani, a mogu se sagledati u objavljenim izveštajima kompanije. Zbog već pomenute dominacije NIS-a u svim domenima naftnog sektora u Srbiji, analizirani pokazatelji i dobijeni rezultati u najvećoj meri karakterišu celokupni domaći naftno-gasni sektor.

Tabela 5. Emisije gasova staklene bašte NIS-a u 2021. godini [8]

Vrsta emisije	J.m.	Količina
Direktne emisije – proizvodnja, prerada i promet (Scope 1)	tCO ₂ ekv.	1 398 758
emisije Rafinerije nafte Pančevo, Pogona za pripremu nafte i gasa u Elemiru i Energane skladišta ND Novi Sad	tCO ₂ ekv.	1 085 065
ostalo (proizvodnja nafte i gasa, transport, promet, poslovni centri i dr.)	tCO ₂ ekv.	313 693
Indirektne emisije - električna i toplotna energija (Scope 2)	tCO ₂ ekv.	291 261
Ukupne emisije - direktne i indirektne (Scope 1 + Scope 2)	tCO ₂ ekv.	1 690 020

Na osnovu objavljenih podataka i proračunatih indikatora održivog razvoja, može se videti da ukupne emisije (direktne i indirektne emisije odnosno Scope 1 i Scope 2 emisije po međunarodnim standardima *Greenhouse Gas Protocol* [13]) gasova staklene bašte (eng. *Green House Gases, GHG*) kao rezultat poslovanja NIS-a, a samim tim i najvećeg dela domaćeg naftnog sektora, iznose 1,69 miliona tCO₂ ekvivalenta u 2021. godini (Tabela 5). Ostale indirektne emisije od upotrebe finalnih proizvoda (Scope 3) nisu računane u predmetnoj godini.

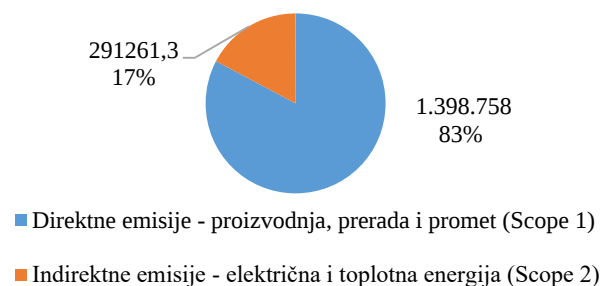
Od prikazane količine, najveći deo predstavljaju emisije štetnih gasova od prerade nafte i gasa u Rafineriji nafte Pančevo i Pogonu za pripremu nafte i gasa u Elemiru (preko 64%). Ostale direktne emisije štetnih gasova u proizvodnji, transportu, prometu i u komercijalnim aktivnostima su značajno manje (oko 19%), gde sigurno dominiraju one u proizvodnji nafte i gasa (uprkos primenjenim merama za njihovo smanjenje). Indirektne emisije štetnih gasova od iskorišćene odnosno pribavljene električne i toplotne energije (samo Scope 2) zauzimaju najmanji

deo ukupnih emisija, pošto je veliki deo električne i toplotne energije rezultat sopstvene proizvodnje unutar kompanije.

Tabela 6. Proračunati indikatori održivog razvoja poslovanja kompanije NIS u 2021. godini, na osnovu zvanično dostupnih podataka [8] i [10]

Indikator održivog razvoja	J.m.	Vrednost
Ukupna godišnja emisija GHG	tCO ₂ ekv./a	1 690 020
Udeo direktnih emisija GHG u ukupnim emisijama	%	82,8
Ukupna emisija GHG prema ukupnom prometu roba i usluga	tCO ₂ ekv / hilj. t	419
Ukupna emisija GHG prema neto dobiti	tCO ₂ ekv. / hilj. EUR	9,5
Ukupna emisija GHG prema ukupnoj količini utrošene energije	tCO ₂ ekv. / GJ	3,3

Emisije gasova staklene bašte u NIS-u u 2021. godini (u tCO₂ ekv.)



Slika 2. Odnos direktnih i indirektnih emisija gasova staklene bašte u naftno-gasnom sektoru Srbije u 2021. godini prema podacima NIS-a [8]

Proračunom indikatora održivog razvoja, može se potvrditi činjenica da u naftno-gasnoj industriji dominiraju direktne emisije gasova staklene bašte nad indirektnim, što je i slučaj sa NIS-om odnosno domaćim naftnim sektorom (preko 80% ukupnih emisija su direktne, Slika 2).

U odnosu na operativne pokazatelje, emisije štetnih gasova takođe nisu zanemarljive, uprkos prisutnim težnjama i projektima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu. Ako se analiziraju emitovane količine gasova staklene bašte kao rezultat poslovanja NIS-a u 2021. godini i uporede sa ukupnim ostvarenim emisijama ovih gasova u Republici Srbiji (poslednji dostupni podaci su za 2019. godinu), onda emisije NIS-a učestvuju sa oko 2,7% u ukupnim emisijama Republike Srbije [14], što nije zanemarljivi udeo.

VI ENERGETSKA EFIKASNOST NAFTNOG SEKTORA U SRBIJI

Kako je navedeno u Izveštaju o održivom razvoju NIS-a [8], značajan indikator potrošnje energije i poboljšanja energetske efikasnosti ukupnog poslovanja kompanije je tzv. Indeks energetske efikasnosti (eng. *Energy Intensity Index, EII*) kao

odnos stvarnog utroška energije i standardnog utroška energije. U referentnom periodu od 2012. do 2021. godine, ovaj pokazatelj je porastao za 33%, što je u najvećoj meri posledica energetske iskorisćenja kaptažnog gasa na naftnim i gasnim poljima za sopstvene potrebe ili kogeneraciju (dobijanje električne i toplotne energije).

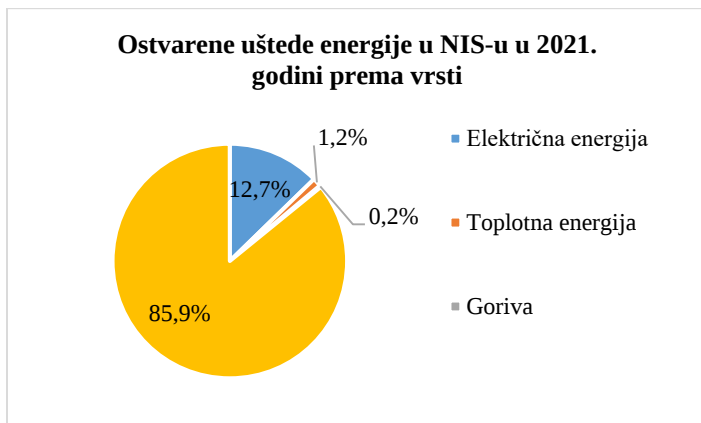
Iz zvaničnih podataka se može videti da je od ukupne potrošnje električne energije u kompaniji NIS u 2021. godini, 22% električne energije proizvedeno u kogeneracionim postrojenjima na naftnim poljima, a ako se uračuna proizvodnja u Rafineriji nafte Pančevo, onda sopstvena proizvodnja električne energije u odnosu na ukupnu potrošnju NIS-a dostiže čak 37%.

Isti izvori ukazuju da se u razmatranoj 2021. godini u domenima istraživanja proizvodnje i prerade nafte i gasa, kao energetske najdominantnijim u sektoru, pored redovnih, vršila i implementacija različitih dodatnih mera, projekata i aktivnosti na uštedi energije i optimizacije industrijskih procesa (Tabela 7).

Navedene dodatne mere i aktivnosti su doprinele sa preko 85% u dostizanju nivoa ukupnih energetske uštede u NIS-u, a samim tim i u najvećem delu domaćeg naftno-gasnog sektora (Slika 3).

Tabela 7. Pregled planiranih i ostvarenih energetske uštede NIS-a u 2021. godini [8]

Energent	Planirane uštede u 2021. (GJ)	Ostvarene uštede u 2021. (GJ)	Ostvareno-planirano (%)
Električna energija	66 490	64 149	96,5%
Toplotna energija	15 800	5 941	37,6%
Goriva	59 798	1 154	1,9%
Dodatne mere	0	433 050	-
Ukupno	142 088	504 294	354,9%



Slika 3. Ostvarene uštede energije u 2021. godini u NIS-u prema vrsti uštede [8]

VII ODRŽIVI RAZVOJ NAFTNOG SEKTORA

U pogledu povećanja energetske efikasnosti u narednom periodu potrebno je akcenat staviti na procesne sisteme u preradi nafte i gasa u Pančevu i Elemiru kao najveće energetske potrošače kako energenata, tako i električne i toplotne energije. Dobar primer u ovoj oblasti je završena izgradnja i puštanje u rad Termoelektrane-toplane (TE-TO) Pančevo, za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije na bazi prirodnog gasa instalisane snage od 200 MW. Prema dostupnim podacima [15], proizvedena toplotna energija koristi se za potrebe Rafinerije nafte Pančevo, a električna energija se plasira na tržište električne energije Srbije. Ovakva tendencija doprinosu značajnom smanjenju potrošnje energije u domenu prerade i generalnom smanjenju energetske zahtevnosti celog sektora.

Kada je u pitanju domen istraživanja i proizvodnje nafte i prirodnog gasa, najznačajniji projekti za povećanje energetske efikasnosti su svakako proširenje mreže malih gasnih elektrana na poljima u Srbiji, koje proizvode potrebnu električnu energiju iz kaptažnog gasa, ali i nastavak razvoja kogenerativnih postrojenja na procesnim lokacijama za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije.

Takođe, nemali doprinos se očekuje od izgradnje više fotonaponskih solarnih elektrana na različitim poslovnim lokacijama NIS-a, od fabrike pijaće vode Jazak, preko skladišta derivata nafte Novi Sad, objekta aeroservisa u Surčinu, poslovnih zgrada u Novom Sadu i Beogradu i u Rafineriji nafte Pančevo [16], snage od nekoliko do čak 10 MW. Pored toga, u domenu prometa, u NIS-u se realizuje projekat izgradnje fotonaponskih elektrana malih instalisanih snaga na maloprodajnoj mreži servisnih stanica širom Srbije, namenjenih obezbeđivanju energije za lokalne potrebe [17].

Svi navedeni projekti mogu u značajnoj meri da poboljšaju ukupni energetske bilans u kompaniji NIS i da doprinesu većem nivou energetske efikasnosti, kako objekata tako i tehnoloških procesa u svim domenima poslovanja, u odnosu na onaj koji je ostvaren u referentnoj 2021. godini. Ovakav pozitivni efekat po NIS znači analogni efekat po celokupni naftno-gasni sektor u Srbiji.

VII ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirana je energetska potrošnja, struktura energetske bilansa i dostignut nivo energetske efikasnosti naftno-gasnog sektora u Srbiji na primeru poslovanja kompanije NIS a.d. Novi Sad, kao njegovog ključnog predstavnika. Sagledani su i određeni aspekti uticaja ovog sektora na životnu sredinu, prvenstveno kroz emisije gasova staklene bašte. Kao osnov za analizu poslužili su zvanično objavljeni i javno dostupni finansijski, prirodni i operativni pokazatelji poslovanja kompanije NIS u 2021. godini iz Godišnjeg izveštaja o poslovanju i podaci o potrošnji energije i održivosti poslovanja iz Izveštaja o održivom razvoju.

Poslovanje kompanije NIS u 2021. godini zauzima značajno mesto na privrednoj mapi Srbije, uprkos prisutnim posledicama pandemije Covid-19 u toj godini. Ukupna energetska potrošnja u poslovanju NIS-a u 2021. godini iznosi preko 510 TJ, što iznosi oko 0,1% ukupne energetske potrošnje u Srbiji. Većinski deo ove

energije je proizveden interno, usled specifičnosti materijalno-sirovinske baze i tehnologije naftno-gasnog sektora, ali i iskorišćen za sopstvene energetske i procesne potrebe. U pogledu energetske bezbednosti, kompanija NIS, a time i najveći deo srpskog naftnog sektora, većinski je oslonjena na uvozne sirovine koje se koriste za proizvodnju proizvoda, dok je manji deo dostupan u okviru nacionalnog tržišta.

Najveća energetska potrošnja je primetna u domenima geoloških istraživanja, proizvodnje nafte i gasa i prerade nafte i naftnih derivata, dok je domen transporta i prometa derivata nafte zastupljen u manjoj meri. Takođe, prostorna distribucija potrošnje energije u NIS-u je neravnomerna, usled koncentracije ključnih energetske potrošača u određenim regionima Srbije. Ovakvi trendovi su prisutni i u sličnim odnosno uporedivim energetske kompanijama u širem regionu Jugoistočne i Centralne Evrope (npr. INA, MOL, OMV i dr.).

U pogledu uticaja na životnu sredinu, ukupne emisije štetnih gasova staklene bašte od poslovanja kompanije NIS odnosno najvećeg dela domaćeg naftnog sektora u 2021. godini iznose 1,69 miliona tCO₂ ekvivalenta, što predstavlja skoro 2,7% ukupnih emisija u Republici Srbiji (poslednji dostupni trend iz 2019. godine). Od ukupnih emisija, najveći deo su emisije usled prerade nafte i naftnih derivata (tzv. *downstream* segment poslovanja), a posle njih emisije usled proizvodnje nafte i gasa (tzv. *upstream* segment).

Na osnovu proračunatih energetske indikatora potvrđen je visok nivo energetske potrošnje kao rezultat poslovanja kompanije NIS, kao ključnog predstavnika naftno-gasnog sektora u Srbiji. Indikatori održivog razvoja takođe potvrđuju značajni uticaj tehnoloških procesa ovog sektora na emisiju gasova staklene bašte, od kojih su najveći deo direktne emisije, što je i generalno karakteristično za naftnu industriju na globalnom nivou.

Prema javno dostupnim podacima, u kompaniji NIS su uočeni značajni trendovi povećanja energetske efikasnosti tehnoloških procesa i ključnih operacija koji daju određene rezultate, naročito u poslednjem posmatranom periodu. Tekući projekti i tendencije povećanja energetske efikasnosti u svim domenima NIS-a u Srbiji imaju značajan potencijal da pruže pozitivan doprinos održivosti celokupnog domaćeg naftnog sektora. Njihova implementacija je neupitna i ne bi je trebalo odlagati.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Rad je nastao na osnovu predispitnih aktivnosti u okviru kursa „Energetika i održivi razvoj“ (nastavnici prof. dr Dejan Ivezić i prof. dr Marija Živković) na master akademskim studijama Inženjerstvo nafte i gasa na Rudarsko-geološkom fakultetu u Beogradu.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] World Energy Council & Oliver Wyman, World Energy Trilemma Index 2022, https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World_Energy_Trilemma_Index_2022.pdf?v=1669839605 [pristupljeno 26.12.2022]
- [2] Đukić, P., Đukanović, S. Najveći izazovi energetske tranzicije u Srbiji: u srednjem i u dugom roku, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 22, No. 1-2, pp. 10-15, 2020. <https://doi.org/10.46793/EEE20-1-2.010DJ>
- [3] Gvozdenac, D., Kljajić, M., Gvozdenac-Urošević, B. Serbian energy efficiency problems, *Thermal Science*, Vol. 18, No. 3, pp. 683-694, 2014., <https://doi.org/10.2298/TSCI1403683G>
- [4] Đukić, P., Bjelić, I. B. Srbija pred izazovima tranzicije energetske sektora, *Ekonomski vidici*, Vol. 23. No. 3-4, pp. 121-142, 2018.
- [5] Đukić, P., Đukanović, S. Budućnost energetike Srbije: u znaku energetske tržišta, napuštanja fosilnih goriva i energetske efikasnosti, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol 19, No.1-2, pp. 37-45, 2017.
- [6] Babić, M. Istraživanje mogućih scenarija energetske budućnosti Republike Srbije uz pomoć backcasting methodology i softvera Energovizija MB, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 22, No. 1-2, pp. 1-9, 2020. <https://doi.org/10.46793/EEE20-1-2.001B>
- [7] Mapping the oil and gas industry to the sustainable development goals - An atlas, 2017. <https://www.ipieca.org/resources/mapping-the-oil-and-gas-industry-to-the-sustainable-development-goals-an-atlas> [pristupljeno 12.01.2023]
- [8] Izveštaj o održivom razvoju 2021., NIS a.d. Novi Sad, 2022. <https://www.nis.rs/wp-content/uploads/2022/04/NIS-IOR-2021.pdf> [pristupljeno 26.12.2022]
- [9] Global Sustainability Standards Board (GSSB), „GRI 11: Oil and Gas Sector 2021“, Global Reporting Initiative (GRI), 2022. <https://www.globalreporting.org/standards/standards-development/sector-standard-for-oil-and-gas/> [pristupljeno 26.12.2022]
- [10] Godišnji izveštaj o poslovanju za 2021. godinu, NIS a.d. Novi Sad, Novi Sad, 2022. https://ir.nis.rs/wp-content/uploads/2023/08/AR_2021.pdf [pristupljeno 26.12.2022]
- [11] Ivezić, D., Živković, M. *Energetika i održivi razvoj – indikatori održivosti*. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2015
- [12] Odluka o utvrđivanju energetske bilansa Republike Srbije za 2021. godinu, Sl. glasnik RS, br 156/2020
- [13] The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, WBCSD/WRI, 2004. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf> [pristupljeno 23.01.2023]
- [14] Serbia Greenhouse Gas (GHG) Emissions 1990-2023, <https://www.macrotrends.net/countries/SRB/serbia/ghg-greenhouse-gas-emissions> [pristupljeno 23.01.2023]
- [15] Tehnologije - Gazprom Energoholding Serbia d.o.o., 2023. <https://www.geh-serbia.rs/sr-lat/te-to-pancevo/tehnologije/> [pristupljeno 24.01.2023]
- [16] NIS traži izrađivača elaborata za izgradnju solarnih fotonaponskih elektrana na objektima, <https://www.ekapija.com/news/3743362/nis-trazi-izradjivaca-elaborata-za-izgradnju-solarnih-fotonaponskih-elektrana-na-objektima> [pristupljeno 24.01.2023].
- [17] Kragić, R., Lovčević-Kureljušić, B., Arambašić, A., Blitva, Ž., Pavlović, N. Iskustva iz izgradnje solarnih fotonaponskih elektrana na stanicama za snabdevanje gorivom u svojstvu kupca-proizvođača, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 25, No. 1, pp. 74-80, 2023, <https://doi.org/10.46793/EEE23-1.74K>

AUTORI/AUTHORS

Andrija Avramović, dipl. inž. rud. – student master studija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, avramovic.a95@gmail.com, ORCID [0009-0005-5359-9082](https://orcid.org/0009-0005-5359-9082)

Predlog rešenja dvo-osnog mobilnog solarnog tragača sa mogućnošću akumuliranja energije

Solution Proposal for a Two-Axis Mobile Solar Tracker with the Possibility of Accumulating Energy

Marko S. Đurović *, Željko V. Despotović **,

* Institut Mihajlo Pupin Projekt Inženjering d.o.o., Beograd, Srbija

** Institut Mihajlo Pupin d.o.o., Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

Rezime - Rad se odnosi na predlog rešenja solarnog tragača koji se može koristiti u sredinama bez stalno dostupnog konvencionalnog izvora električne energije, kao što je elektroenergetska mreža. Sam uređaj osmišljen je tako da bude veoma jednostavan za transport, montažu i demontažu. Suština rada je da se predstavi predlog rešenja koje treba da zadovolji potrebe za električnom energijom potrošača snage do 2 kW. U radu je predloženo rešenje koje omogućava lako i sigurno rukovanje i korišćenje. Takođe, dati su grafički prikazi, principske električne šeme uređaja solarnog tragača i predstavljeni su proračuni okreta uređaja. Na ovaj način u svakom trenutku dana paneli su u optimalnom položaju prema Suncu. Na osnovu prethodnog izvršen je izbor potrebnih mehaničkih i električnih komponenti. U okviru rada biće predstavljene mogućnosti instaliranja sistema za akumulaciju energije. Na ovaj način se omogućava autonomnost priključenog uređaja usled periodičnog nestanka Sunčevog zračenja. Kompletно rešenje omogućava dostupnost električne energije, a pri tome je mehanički pouzdano i ergonomske optimizovano. Rad se bazira prvenstveno na jednostavnosti same konstrukcije i prilagođavanju sistema akumulacije energije predloženoj konstrukciji. Buduća istraživanja biće usmerena u pravcu dobijanja jednostavnijeg rešenja mehaničkog sistema okreta.

Ključne reči - solarna energija, solarni tragač, solarni panel, skladište energije, mehatronika

Abstract - The paper refers to the proposal of a solar tracker technical solution that can be used in environments without a constantly available conventional source of electricity, such as power grid. The device is designed to be very easy to transport, assemble and disassemble. The essence of the paper is to present a proposal for a solution that should meet the needs of electricity consumers up to 2 kW. The paper presents a proposal for a technical solution that enables easy and safe handling and use. Also, graphical representations, principle electrical diagrams of the solar tracker device are given, and calculations of the device's revolutions (in the two axes) are presented. In this way, at every moment of the day, the solar panels are in the optimal position towards the Sun. Based on the above, the necessary mechanical and electrical components were selected. The paper will present

the possibilities of installing energy storage systems. In this way, the autonomy of the connected device is enabled due to the periodic disappearance of solar radiation. The complete solution enables the availability of electricity, while being mechanically reliable and ergonomically optimized. The paper is based primarily on the simplicity of the construction and the adaptation of the energy accumulation system to the proposed construction. Future research will be directed in the course of obtaining a simpler solution for the mechanical turning system.

Index Terms - Solar energy, Solar tracker, Solar panel, Energy storage, Mechatronics

I UVOD

Nezavisno od lokacije na Zemlji potreba za energijom je u stalnom porastu. Konvencionalni izvori energije kao najzastupljeniji izvori za dobijanje željenog oblika energije, nisu uvek pogodni za eksploataciju. Konvencionalni izvori su izvori koji zahtevaju propisane uslove za dobijanje željenog oblika energije. Ako govorimo o električnoj energiji, onda se ti uslovi još više pooštavaju. Termoelektrane, nuklearne elektrane, elektrane na gas i sl. su stacionarni izvori električne energije, objekti velikih površina izgrađeni na lokacijama bez mogućnosti izmeštavanja. U ovu grupu mogu se svrstati i hidroelektrane. Najveći nedostatak ovih izvora je to što su ograničeni u distribuciji energije. Potreban je distributivni elektro energetski sistem kako bi se proizvedena električna energija iz ovakvih izvora dostavili krajnjem korisniku. Najzastupljeniji sistem distribucije električne energije predstavljaju dalekovodne mreže visokog napona. Konvencionalni izvori energije učestvuju sa ukupno 95,6% u proizvodnji električne energije u svetu [1]. Otuda i ne čudi podatak da je čak 13% površine u svetu bez mogućnosti snabdevanja električnom energijom [2]. Udeo u površinama bez dostupne energije ne predstavljaju samo mesta sa ekstremnim vremenskim i lokacijskim uslovima, već u tu grupu spadaju i lokacije koje su mnogo pristupačnije tradicionalnom mrežnom sistemu distribucije električne energije. Takve površine jesu velike poljoprivredne površine, planinske površine, pašnjaci, itd. Te površine imaju stalnu potrebu za električnom energijom. Zahtevana električna energija na ovim površinama treba da zadovolji potrebu za navodnjavanjem, vodom za pojenje stoke,

potrebe za električnom energije uređaja koji vrše koristan rad, itd. Izvori koji imaju mogućnost da zadovolje potrebe ovakvih i sličnih terena su obnovljivi izvori energije (OIE). Najpogodniji OIE za ovu svrhu su solarna energija i energija vetra. Nedostatak OIE jeste nedostatak kontinuiteta u proizvodnji energije. Lokacija na kojoj se nalazi vetroelektrana u određenim periodima može biti bez vetra, dok lokacija na kojoj je instalirana solarna elektrana u određenom vremenskom periodu može ostati bez Sunčevog zračenja. Zbog toga ovakvi izvori moraju imati dopunski izvor napajanja za potrošače u vidu nekog konvencionalnog izvora električne energije ili sistema za akumuliranje energije (najčešće baterijski sistem) koji bi omogućio autonomnost sistema tokom perioda sa smanjenom ili nultom proizvodnjom električne energije.

U ovom radu je prikazan predlog rešenja solarnog tragača, odnosno uređaja, koji u toku obdanice prati kretanje Sunca. Uređaj treba da omogućiti pristup električnoj energiji na lokacijama koje imaju potrebu za njom, a bez mogućnosti su snabdevanja iz konvencionalnih izvora energije.

Pored proizvodnje električne energije uređaj ima mogućnost akumuliranja električne energije koja bi u periodima male ili intenzivne oblačnosti, potrebno zadovoljiti potrebe korisnika za električnom energijom.

Tragač je projektovan tako da postoje dva zasebna sistema rotacije implementirana na uređaj koja u toku dana prate Sunce i to po *azimutu* i po *elevaciji*. Ovakva konfiguracija solarnog tragača omogućava optimalan rad i uređaja za proizvodnju električne energije u toku dana.

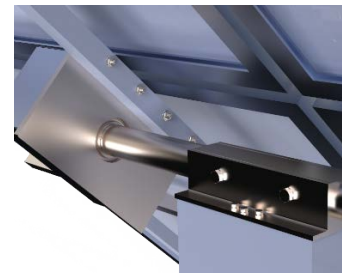
II UPOZNAVANJE SA PREDLOŽENIM REŠENJEM

Solarni tragač predstavljen u ovom radu zamišljen je kao modularna konstrukcija (Slika 1.). Takva konstrukcija omogućava da se solarni tragač može premeštati sa lokacije na kojoj je postavljen u tom trenutku na lokaciju na kojoj postoji veća potreba za električnom energijom.



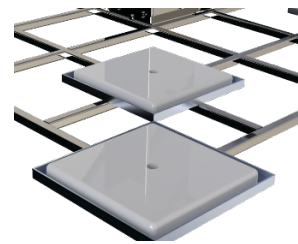
Slika 1. Slika sklopa solarnog tragača

Da bi se zadovoljili uslovi lakog premeštanja uređaja na različita radna mesta, konstrukcija tragača treba da bude jednostavna za montažu i demontažu. Svi segmenti predstavljenog rešenja solarnog tragača, osim sklopova rotacija (horizontalne i vertikalne) su izrađeni tako da su međusobno vezani vijčanom vezom (Slika 2). Takva veza između elemenata uređaja zadovoljava lake montažne, odnosno demontažne osobine uređaja.



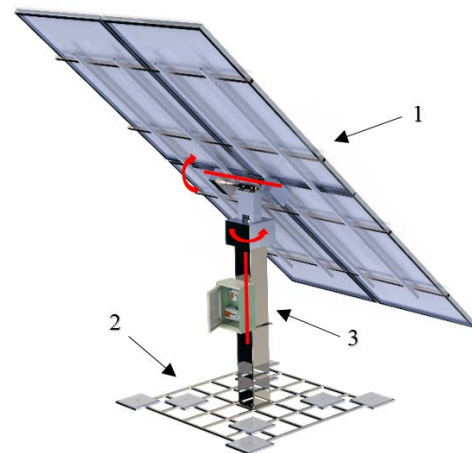
Slika 2. Prikaz načina međusobne veze elemenata uređaja

Zbog osobine da je uređaj zamišljen kao montažno/demontažna konstrukcija, nije planirano da uređaj bude fiksiran u zemlju dodatnom metalnom ili betonskom konstrukcijom u cilju stabilnosti usled uticaja sila okoline na sam uređaj. Za savladavanje uticaja okoline na postolju uređaja postavljaju se betonski balasti na tačno određenim položajima (Slika 3). Ovakav raspored balasta na konstrukciji predstavlja optimalan položaj balasta koji treba da omogući dovoljnu težinu za savladavanje sila okoline ovako projektovanog uređaja. Masa i dimenzije balasta se biraju na osnovu proračuna sila okoline koje deluju na solarni tragač. Sile okoline koje deluju na uređaj najviše zavise od lokacije na kojoj je planirano postavljanje uređaja. Proračun uticaja tih sila izvršice se u poglavlju V ovog rada.

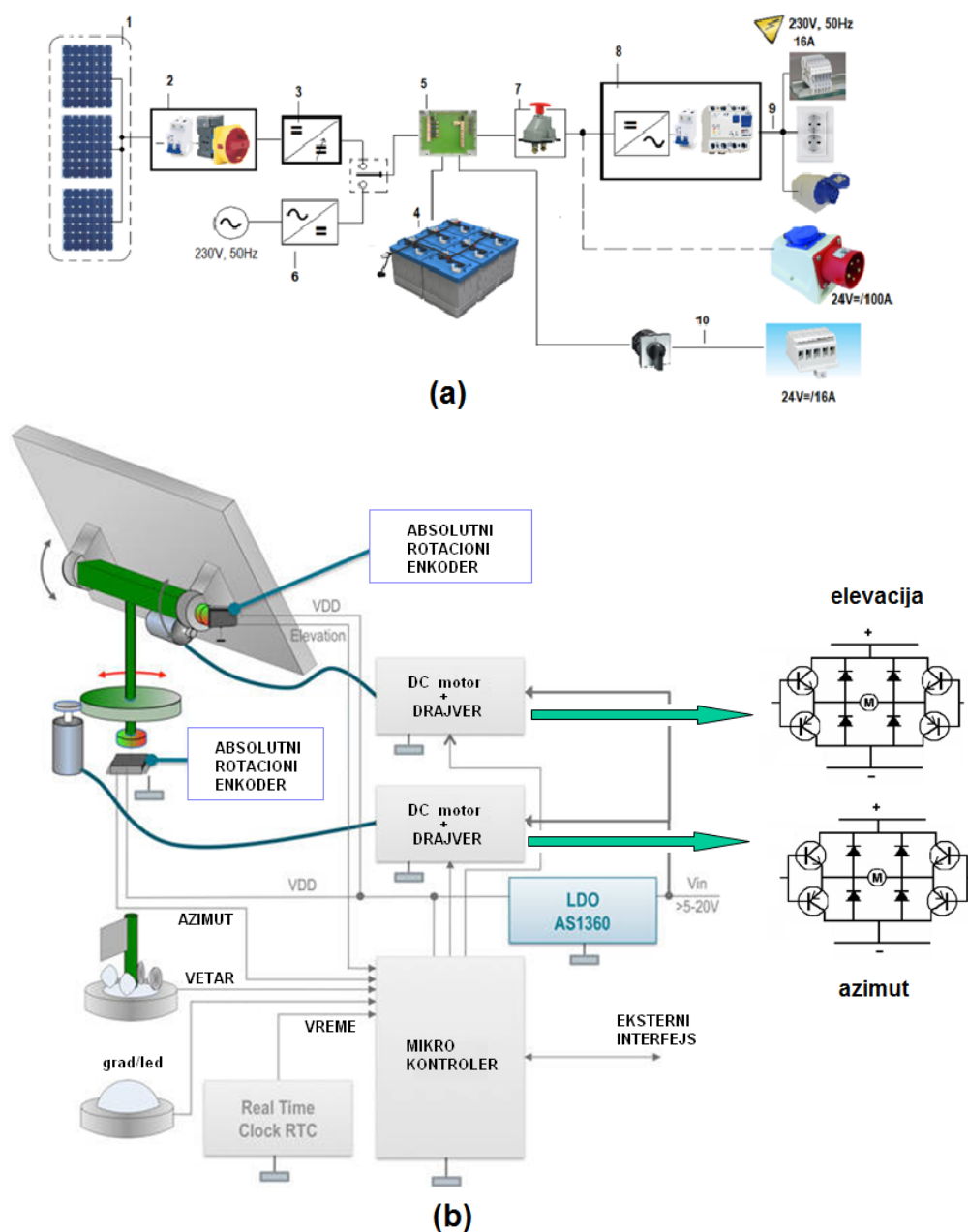


Slika 3. Mesta za postavljanje balasta na postolju solarnog tragača

Solarni tragač je osmišljen tako da ima mogućnost rotacije u odnosu na azimut i odnosu na elevaciju Sunca u toku dana (Slika 4). Za obe rotacije predviđena su dva zasebna elektromotorna pogona.



Slika 4. Zadnji pogled na solarni tragač, prikaz osa rotacije uređaja; 1 - ram solarnog tragača sa solarnim panelima, 2 - postolje solarnog tragača, 3 - stub solarnog tragača



Slika 5. Principna blok šema solarnog sistema sa implementiranim solarnim tragačem; (a) Energetski i pretvarački deo: 1 - sistem PV panela, 2 - prekidač u PV kolu (uključenje/isključenje), 3 - MPPT punjač, 4 - baterijska "banka", 5 - "DC link" priključna kutija, 6 - punjač baterije iz mreže, 7 - glavni prekidač na DC strani, 8 - monofazni DC/AC pretvarač-invertor, (b) sistem za dvo-osno praćenje sunčeve putanje

III ELEMENTI SOLARNOG TRAGAČA

Na Slici 5 je prikazana principna blok šema solarnog sistema u okviru koga je implementiran solarni tragač. Na Slici 5(a) je prikazan energetski i pretvarački deo sistema, dok je na Slici 5(b) prikazana principna blok upravljačka šema solarnog tragača. U nastavku rada će biti dati detaljniji opisi pojedinih sklopova sistema. Oprema solarnog tragača sadrži sledeće sklopove:

1. sklop konstrukcije - svi čelični delovi i betonski balasti koji obezbeđuju stabilnost tragača,
2. sklop koji čine električni uređaji proizvodnje i

akumuliranja električne energije, kao i energetski pretvarači: solarni paneli, regulator punjenja baterije (DC/DC pretvarač), skladište električne energije (baterija), DC/AC pretvarač-invertor, zaštitna elektro oprema.

3. sklop rotacije solarnog tragača, odnosno dvo-osni sistem za praćenje sunčeve putanje: osnovni mašinski elementi, prenosni elementi sistema snage, drajveri za pobudu elektromotora i ostala mehatronička oprema koja omogućava rotacije uređaja po dve ose.

Konstrukcija solarnog tragača sastoji se iz tri dela:

1. ram solarnog tragača - čine ga standardizovane čelične kutije 30x30x1,5 mm. Na ram solarnog tragača postavljaju se solarni paneli. Ram solarnog tragača je prilagođen tako da se direktno u čelične kutije mogu postaviti spojnice koje solarne panele pričvršćuju za konstrukciju,
2. postolje uređaja - čine ga standardizovane čelične kutije 40x40x2mm. Na postolju uređaja ostavljeni su tačno određeni položaji da postavljanje betonskih balasta,
3. noseći stub solarnog tragača - dve vijčano vezane čelične kutije prilagodljivih dimenzija izrade.

Oblik i dimenzije baterije zavisi od potrebnog kapaciteta baterije koji može da zadovolji zahtevanu autonomiju solarnog sistema, uključujući i pogon solarnog tragača. Planirano je postavljanje sistema za akumulaciju energije unutar konstrukcije solarnog tragača u kutiji stuba solarnog tragača. Potrebni strujni kablovi uređaja takođe prolaze kroz stub solarnog tragača.

Osnovnu opremu koja omogućava rotaciju uređaja čine:

1. osnovni mašinski elementi prenosa snage (ležajevi, osovine, čaure, itd.),
2. pogonski motori okreta i kočnica solarnog tragača - projektovana su četiri motora jednosmerne struje. Dva motora se koriste za potrebe rotacije uređaja oko svoje dve ose. Preostala dva se koriste kao kočnice položaja, imaju ulogu da omogućе da uređaj zadrži zahtevanu poziciju u dve ose rotacije u odnosu na Sunce usled uticaja sila okoline na uređaj,
3. reduktori pogonskih motora i motora pogona kočnica - služe za dostizanje zadovoljavajuće brzine i momenta sile na osovinama osa rotacije solarnog tragača prilikom promene pozicije u odnosu na Sunce.

Dimenzionisanje motora i reduktora biće deo budućeg istraživanja.

Uređaj je projektovan tako da solarni paneli u optimalnim uslovima rada proizvode snagu na strani jednosmerne struje od 2,2 kW. Zbog postojanja gubitaka energije usled transformacije jednosmerne u naizmeničnu struju u pretvaraču, otpornosti kablova, gubitka u sistemu skladištenja energije, uređaj je predimenzionisan na strani jednosmerne struje. Uzimajući u obzir sve pomenute gubitke energije, maksimalna proračunska snaga na izlazu iz uređaja ka korisniku u optimalnim uslovima rada je 2 kW. Uređaj ka korisniku obezbeđuje monofaznu struju. U sklopu sistema je predviđen energetska DC/AC pretvarač-invertor. Njegova uloga je da jednosmernu struju koja dolazi iz baterija za skladište energije pretvori u monofaznu naizmeničnu struju.

Osnovnu elektro opremu u energetskom delu čine po označenim pozicijama na Slici 5(a) sledeći elementi:

1. četiri solarna panela snage 550 W,
2. glavni prekidač u DC kolu solarnih panela,
3. regulator punjenja (DC/DC pretvarač) sistema skladišta električne energije,
4. baterija kao sistem za skladištenje proizvedene električne energije,
5. DC link čvorište, odnosno „DC link bus“,
6. pomoćni ulaz za mrežno napajanje 230V, 50Hz (u

- slučaju da u sistemu postoji mrežno napajanje),
7. glavni prekidač na DC izlaznoj strani baterije,
8. energetska DC/AC pretvarač - invertor,
9. AC potrošači sa pripadajućim konektorima,
10. DC potrošači (pomoćna oprema i LED svetiljka).

Kao što se vidi na principskom blok dijagramu sa Slike 5(b) ceo sistem je mikroprocesorski koncipiran i upravljani. Kao bazni sistem upravljačke strukture koristi se odgovarajući mikrokontrolerski uređaj. Ovaj hardverski i softverski programabilni i rekonfigurabilni uređaj omogućava laku implementaciju mernih pristupnih tačaka tako da je putem ovog uređaja moguće lako i jednostavno električno prilagoditi razne vrste senzora (pozicije po azimutu i elevaciji, senzori sunčeve insolacije i brzine vetra, senzori nagiba i sl.) ali i periferijskih uređaja, da komuniciraju sa mikroprocesorom ali i međusobno.

U sistemu je predviđen opcionalni i veliki broj ostalih raznovrsnih senzora (JK temperaturna sonda, senzor grmljavine, senzori pokreta, senzori vlažnosti i temperature okoline). Jedan od najbitnijih senzora koji se predviđa na uređaju je senzor globalnog položaja uređaja baziran na GPS komunikaciji. Ovaj senzor je direktno odgovoran da uz pomoć satelita koji se nalaze u orbiti zemlje primi odredi globalnu poziciju sistema. Globalna pozicija sistema se očitava u vidu informacija o geografskoj širini, geografskoj dužini i nadmorskoj visini, koju ovaj senzor direktno očitava sa satelita u geostacionarnoj orbiti zemlje. Ovaj senzor je sa glavnim mikrokontrolerskim sistemom povezan putem RS232 veze i glavni mikroprocesor po potrebi očitava globalnu poziciju celog uređaja. Ovo očitavanje se u principu ostvaruje uglavnom prilikom inicijalizacije sistema i na zahtev korisnika po potrebi. Digitalni kompas je poseban senzorski sistem koji je predviđen za integraciju u upravljačku strukturu i koji daje apsolutni azimut prednje ose uređaja u odnosu na geografski sever. Senzor u principu komunicira sa mikroprocesorom putem I2C Bus-a i očitavanjem podataka sa ovog senzora može se odrediti azimut uzdužne ose celog uređaja. Ovaj podatak zajedno sa podatkom o globalnoj poziciji se koristi u cilju praćenja položaja Sunca na nebu.

Algoritam hronološkog praćenja koji je u ovom slučaju predviđen je zasnovan na prirodnoj opservaciji Sunčeve pozicije za datu lokaciju, u datom periodu i za dato godišnje doba. Praćenje Sunčeve trajektorije je ustvari moguće ostvariti hronološki, tj. na osnovu unetih podataka o datumu i vremenu kao i podataka o geografskoj dužini i geografskoj širini i azimutu u odnosu na geografski sever postavljenog uređaja. Kontroler u svojoj internoj memoriji poseduje tabelu podataka o položaju Sunca u zavisnosti od geografske koordinate, doba dana kao i godišnjeg doba. Poređenjem ovih podataka iz tabele sa unetim podacima o mestu uređaja, kontroler proračunava zahtevani ugao rotacije oko vertikalne ose (elevaciju) i ugao rotacije oko horizontalne ose (azimut).

Na osnovu ovoga se kontroliše pozicija panela tako da upadni zraci uvek padaju pod pravim uglom na površinu solarnih panela. Ovaj metod je nezavisan od oblačnog vremena pošto paneli prate sunce u svakom trenutku vremena. Jedino što je potrebno, to je uzeti u obzir orijentaciju lokalnog koordinatnog sistema solarnih panela u odnosu na globalni koordinatni sistem (Zemlju).

IV DIMENZIONISANJE SISTEMA SKLADIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Zahtevani izlazni parametri koje uređaj mora da obezbedi ka korisniku, a za koje je potrebno definisati ostale komponente elektroenergetskog sistema uređaja su sledeći:

- izlazna snaga ka potrošaču treba da bude 2 kW,
- izlazni napon uređaja 230 V, 50 Hz, (monofazna naizmenična struja),
- autonomnost napajanja potrošača usled nedostatka Sunčevog zračenja minimalno 2 h.

Prema principskoj blok šemi na Slici 5(a) i izlaznim uslovima koje uređaj treba da obezbedi ka potrošaču izvršeno je dimenzionisanje zadovoljavajućeg kapaciteta skladišta energije prema sledećim relacijama:

$$P_b = P_p + P_p \cdot \gamma = 2200 \text{ W} \quad (1)$$

$$P_b = V_b \cdot I_b \quad (2)$$

gde su:

P_b - snaga koju je potrebno obezbediti iz baterijskog akumulatora energije,

P_p - snaga koju zahteva potrošač na izlazu; usvojeno je da je $P_p = 2000 \text{ W}$

γ - faktor gubitaka energije; empirijski usvojeno da je $\gamma = 0,1$ (odnosno 10%)

V_b - napon baterije; usvojeno je da je $V_b = 24 \text{ Vdc}$

I_b - struja baterije,

t - vreme rada koje je potrebno obezbediti potrošaču isporuku električne energije usled nedostatka sunčevog zračenja; usvojeno je da je $t = 2 \text{ h}$.

ε - minimalni dozvoljeni stepen napunjenosti baterije (tzv. „state of charge“- SOC); usvojeno je da je $\varepsilon = 0,3 = 30\%$.

Za usvojene vrednosti iz jednačine (2) sledi da je struja baterije $I_b = 91,6 \text{ A}$. Na osnovu dobijene struje baterije, na osnovu vremena $t = 2 \text{ h}$ i na osnovu minimalne napunjenosti baterije (SOC) od 30 %, dobija se da je zahtevani kapacitet baterije:

$$C_b = t \cdot I_b + t \cdot I_b \cdot \varepsilon = 238,16 \text{ Ah} \quad (3)$$

Usvojena vrednost kapaciteta baterije je:

$$C_{b*} = 240 \text{ Ah}$$



Slika 6. Prikaz sklopa stuba solarnog tragača. Položaj baterije unutar konstrukcije stuba uređaja

Usvojena su dve baterije AGM VRLA 12Vdc/120Ah specijalizovane za solarne aplikacije (sa dubinom pražnjenja do 70%), vezane u paraleli.

Uređaj je projektovan da se baterija postavlja unutar nosećeg stuba kao što prikazano na dispozicionom crtežu na Slici 6.

Stub solarnog tragača izrađen je iz dva pojedinačna stuba koji su međusobno povezani vijačanom vezom. Ovakav sklop omogućava lako sklapanje i rasklapanje uređaja usled potrebe za transportom ili intervencijom usled kvara električnih komponenti.

V PRORAČUN DEJSTVA SILE VETRA NA SOLARNE PANELE

Zbog uslova da solarni tragač bude lako prenosiv, u vidu montažno/demontažne konstrukcije, za stabilnost samog uređaja i otpor silama dejstva okoline koriste se betonski balasti. U zavisnosti od lokacije na kojoj se tragač postavlja, dejstva sile okoline se menjaju. Najveće opterećenje na solarne panele pravi sila vetra. Zbog toga je neophodno veoma precizno da se izračuna dejstvo vetra na solarni panel. U ovom poglavlju prikazaće se primer izračunavanja sile vetra na izabrani solarni panel u ovom sistemu.

Početni uslovi su sledeći:

- dimenzija solarnog panela - 2280x1134x35 mm,
- solarni tragač čija je lokaciji grada Beograda,
- teren na koji se postavlja tragač je potpuno otvoren, bez prepreka na koje vetar može da naiđe,
- fundamentalna osnovna brzina vetra- $v_{b,0} = 21 \text{ m/s}$,
- teren kategorije I,
- visina uređaja je $h = 4 \text{ m}$,
- za referentnu visinu iznad terena uzima se najviša tačka uređaja, koja iznosi $z = 0,6 \cdot h = 2,4 \text{ m}$.

Proračun sile dejstva vetra izračunava se na sledeći način:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = v_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} \cong 1 \quad (4)$$

gde su:

c_{dir} - koeficijente pravca delovanja vetra,

c_{season} - koeficijent delovanja vetra u toku različitih godišnjih doba.

Koeficijent hrapavosti terena i srednja brzina vetra se izračunavaju iz relacija (5) i (6), respektivno:

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 1,02, \quad (5)$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 21,87 \text{ m/s} \quad (6)$$

gde su:

$c_r(z)$ - koeficijent hrapavosti terena [3],

k_r - koeficijent u zavisnosti od kategorije terena [4],

$c_0(z)$ - koeficijent topografije terena [5], pošto topografija terena na utiče na povećanje brzine vetra usvaja se vrednost 1,

$v_m(z)$ - srednja brzina vetra.

Osnovni pritisak vetra (q_b) i udarni pritisak vetra q_p računaju se na sledeći način:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = 295,4 \text{ Pa} \quad (7)$$

$$q_p(z) = (1 + 7I_V(z)) \cdot \frac{1}{2} \rho v_m^2 = c_e(z) \cdot q_b = 702,57 \text{ Pa} \quad (8)$$

$$I_V(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln(z/z_0)} = 0,182 \quad (9)$$

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = 2,38$$

gde su:

$\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$ gustina vazduha,

$I_V(z)$ - intenzitet turbulencije,

k_I - koeficijent turbulencije.

Spoljašnji pritisak vetra w_e se izračunava iz relacije (10):

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} = 702,57 \text{ Pa} \quad (10)$$

gde je $c_{pe} = 1$ - koeficijent spoljašnjeg pritiska vetra. Usvaja se vrednost 1, obzirom da je objekat direktno izložen udaru vetra.

Na kraju se dobija sila opterećenja usled dejstva vetra:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot \sum c_{pe} \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} = 1816,5 \text{ N} \quad (11)$$

gde su :

$c_s \cdot c_d = 1$ - koeficijenti konstrukcije. Za objekte visine do 15 m usvaja se njihova vrednost 1,

A_{ref} - referenta površina razmatranog elementa (površina jednog solarnog panela).

Na osnovu dobijenog rezultata ukupna sila vetra koja deluje na konstrukciju od četiri solarna panela uređaja je:

$$F_{w,e,u} = 4 \cdot F_{w,e} = 7\,266 \text{ N} = 7,266 \text{ kN}.$$

Ukoliko usvojimo najnepovoljniji slučaj da vetar deluje upravno na horizontalnu ravan, potrebno je obezbediti ukupnu masu uređaja (m_u) od:

$$m_u = \frac{F_{w,e,u}}{g} \cdot s = 850,7705 \text{ kg}, \quad (12)$$

gde su:

g - ubrzanje usled delovanja Zemljine gravitacije,

$s = 1,15$ - usvojeni stepen sigurnosti u proračunu.

Za dimenzionisanje potrebnih pogonskih motora osovina rotacije uređaja i pogonskih motora kočnica istih, uz sopstvene sile otpora uređaja, dobijeni rezultat sile vetra koristi se kao dodatni otpor pri rotacionom kretanju sistema za praćenja Sunca.

IV POTREBNE BRZINE ROTACIJE POGONA I UTICAJ NA ENERGETSKU EFIKASNOST

U zavisnosti od doba godine, osunčanost ne traje jednako u toku dana. Takođe elevacija Sunca se u toku godine menja shodno godišnjem dobu na Zemlji. Od ta dva parametra zavise brzine rotacije na osovina rotacije solarnog tragača. Primer za proračun brzine okretanja daće se za najkraći dan u godini. Prema podacima sajta [6] najkraći dan u 2021. godini za teritoriju Beograda je 23.12.2021. godine. Dnevna svetlost koja se može iskoristiti za stvaranje solarne energije traje u periodu od 7 h 58 min do 15 h 23 min. Ukupno trajanje dostupne obdanice je 7 h 25 min. Potrebno je da u tom periodu solarni uređaj napravi po azimutu rotaciju od 153° . Gledano u odnosu na azimut, položaj sunca u odnosu na sever, sunce izlazi na 104° , a zalazi na 257° . Solarno podne je tačno na 180° u 11 h 37 min. Prema pomenutim informacijama izračunava se ugaona brzina osovine (ω) i potreban broj obrtaja osovine (n):

$$n = \frac{\omega}{2\pi} \approx 0,001 \frac{\text{obr}}{\text{min}}, \quad (13)$$

$$\omega = \frac{\theta}{t} = 0,0064 \frac{\text{rad}}{\text{min}}. \quad (14)$$

gde su:

$t = 7 \text{ h } 25 \text{ min} = 445 \text{ min}$ - trajanje obdanice 23.12.2021.,

$\theta = 153^\circ \approx 2,7 \text{ rad}$ - ugao rotacije po azimutu.

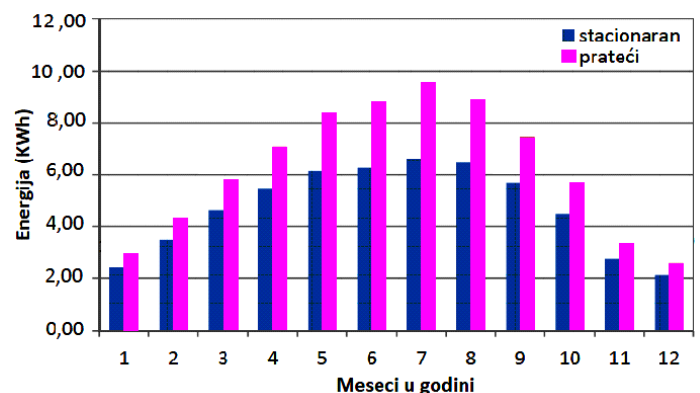
Međutim, zbog maksimalnog iskorišćenja Sunčeve energije prema krajnjem potrošaču usvaja se motor jednosmerne struje koji bi omogućio rotaciju uređaja po tačno određenim pozicijama u toku dana (tzv. sistem za *hronološko praćenje sunčeve putanje*) [7-12].

Algoritam hronološkog praćenja je zasnovan na prirodnoj opservaciji Sunčeve pozicije za datu lokaciju, u datom periodu i za dato godišnje doba. Praćenje Sunčeve trajektorije je ustvari ostvareno hronološki, tj. na osnovu unetih podataka o datumu i vremenu kao i podataka o geografskoj dužini i geografskoj širini i azimutu u odnosu na geografski sever postavljenog uređaja. Kontroler u svojoj internoj memoriji poseduje tabelu podataka o položaju Sunca u zavisnosti od geografske koordinate, doba dana kao i godišnjeg doba. Poređenjem ovih podataka iz tabele sa unetim podacima o mestu uređaja, kontroler proračunava zahtevani ugao elevacije i rotacije horizontalne ose.

Ovakvim principom rada uređaja praćenje putanje Sunca se ostvaruje aktiviranjem elektromotornih pogona po elevaciji i azimutu u diskretnim vremenskim trenucima. Pod pretpostavkom da se pogoni uključuju na svakih 15 min, to bi na početku i na kraju dana imali pomeranja oko $2^\circ - 3^\circ$, a sredinom dana $5^\circ - 8^\circ$ po azimutu, dok bi po elevaciji skokovi bili umereniji od $1^\circ - 2^\circ$ [7, 8].

Preciznije praćenje putanje Sunca bi moglo biti ostvareno pozicioniranjem po azimutu i elevaciji u svakom trenutku, ali ovaj način praćenja bi zahtevao značajnu potrošnju energije iz baterije i ne bi doveo do povećanja energetske efikasnosti sistema.

Mana prethodno opisanog načina dvo-osnog praćenja je što se njime ostvaruje značajna potrošnja električne energije iz sopstvenog napajanja, koje je inače ograničenog kapaciteta jer se radi o autonomnim sistemima. Servo pogoni koji se koriste u ovom slučaju troše električnu energiju čak i kada kretni sistem miruje (mora se obezbediti moment odnosno odgovarajuća struja pogonskih motora) [9].



Slika 7. Izmerene prosečna dnevna proizvodnja električne energije jedne mobilne solarne jedinice u zavisnosti od meseca u godini za stacionarni sistem i za prateći dvo-osni sistem [9]

Solarni sistemi sa jednim fiksnim i jednim pokretnim sistemom obezbeđuju povećanje iskorišćenja između 27 i 32% dok sistemi sa oba pokretna sistema povećavaju proizvodnju energije između 35 i 40% [8, 9].

Na Slici 7 je prikazan snimljeni dijagram prosečne dnevne proizvodnja električne energije mobilnog solarnog generatora pri stacionarnom položaju solarnih panela (fiksni azimut i fiksna elevacija - okrenut ka jugu) i pri dvo-osnom praćenju Sunčeve putanje, za interval jedne godine i po mesecima.

Solarni treker je primenjen u sklopu sistema za zalivanje ratarskih useva. Interesantno je uočiti da se najveća ušteda 35-45% se postiže u mesecima jun-septembar, a to su upravo meseci kada se vrši intenzivno navodnjavanje [13-16].

Predloženo rešenje solarnog tragač je deo razvoja mobilnih solarnih jedinica koje se tradicionalno razvijaju u Institutu Mihajlo Pupin. Ovaj uređaj je konceptijski zamišljen kao moderni automatizovan uređaj za proizvodnju električne energije koja se bazira na korišćenju OIE sunca i praćenju njegove putanje. Ciljni korisnici bi mogli biti individualni mali i srednji potrošači električne energije.

Kao samostalni izvor bez priključenja na električnu mrežu tzv. „off-grid“, predloženi uređaj ne zahteva nikakvu specijalnu građevinsku konstrukciju i energetska infrastrukturu. Pogodan je za korišćenje na različitim tipovima terena (ruralnim i urbanim) gde postoje povoljni uslovi za eksploataciju sunčeve energije, a naročito u oblastima sa visokom dnevnim insolacijama (4-6 kWh/m² i preko). Dimenzionisan je za različite vremenske uslove i udare vetra do 80 km/h, ali i za podnošenje velikih vrednosti vibracionog ubrzanja.

VII ZAKLJUČAK

U radu je dat prikaz i opis idejnog rešenja solarnog solarnog tragača koji bi omogućio dostupnost električne energije iz OIE na lokacijama na kojima povremeno ne postoji isporuka napajanja iz elektroenergetske mreže ili u slučajevima kada ona nije uopšte dostupna.

U radu je opisan način funkcionisanja uređaja - solarnog dvo-osnog tragača i dati su osnovni proračuni koji se odnose na uticaja vetra na solarni uređaj. Princip rada solarnog tragača je da prati putanju Sunca po dve ose rotacije. Jedna osa prati azimut, dok druga prati elevaciju. Ovakvim radom uređaj je u optimalnom položaju u odnosu na Sunce u toku cele obdanice. Treba napomenuti da je konstrukcija uređaja zamišljena da se sa lakoćom uređaj može montirati i demontirati radi transporta na željenu lokaciju.

Osnovna svrha uređaja je da na lokacijama bez mogućnosti snabdevanja električnom energijom zadovolji potrebe napajanja različitih tipova potrošača koji su na tim lokacijama prisutni. Pod tim se prvobitno podrazumevaju sledeće primene:

- velike poljoprivredne površine - potrebe za navodnjavanjem, isporuka električne energije za pogon različitih vrsta pumpi u sistema navodnjavanja,
- prostrani pašnjaci - isporuka električne energije za pogon pumpi za pojila stoke,
- sistemi za navodnjavanja tipa „kap-po-kap“, u kojem

slučaju se obezbeđuje potrebna električna energija za pogon vodenih pumpi koje obezbeđuju punjenje vodenih skladišta (tankova sa vodom),

- za napajanje svih ostalih električnih uređaja i potrošača koji se imaju u svakodnevnom životu (vikendice, kampovi, sistemi LED rasvete i sl.),
- za napajanje električnom energijom potrošača i medicinskih terenskih centara u vanrednim situacijama (poplave, požari, zemljotresi i sl.),
- primene u turizmu i napajanje raznih turističkih atrakcija (vodoskoka, fontana, ribnjaka i sl.),
- vojne aplikacije (napajanje logora, vojnih bolnica i drugih vojnih objekata u pozadini).

Dalji razvoj predloženog uređaja vodi u pravcu kompletnog dimenzionisanja i izbora elektromotornih pogona, kao i proračuna svih gubitaka električne energije usled otpora u provodnicima, električnim komponentama uređaja i usled utroška električne energije za sopstvene potrebe. Sledeća istraživanja biće usmerena ka konačnom definisanju konstrukcije uređaja kao jedne važne celine. Na osnovu svih dobijenih rezultata izvršiće se tehno ekonomska analiza i poređenje sa postojećim sistemima koji se danas koriste.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Istraživanje u ovom radu je delom podržano od strane *Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija*, Republike Srbije kroz u krovni projekat pod Ugovorom br. 451-03-47/2023-01/200103.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] United Nations Publications - Department of Economic and Social Affairs, *Energy Statistics Pocketbook*, Series E, No. 5, New York, 2022. <https://unstats.un.org/unsd/energystats/pubs/documents/2022pb-web.pdf> [pristupljeno 20.04.2023]
- [2] Panos, E., Densing, M., Volkart, K. Access to electricity in the World Energy Council's global energy scenarios: an outlook for developing regions until 2030, *Energy Strategy Reviews*, Vol. 9, pp. 28-49, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2015.11.003>
- [3] Lakshmi, V., Satyanarayana, M.V.R., Vindra, V. Study on performance of 220 kV M/C MA tower due to wind, *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, Vol. 3, No. 3, pp. 2474 - 2485, 2011.
- [4] Chin, M.W., Buron, C.L., Faccioli, E., Calvi, G.M., Gutierrez, J., Santanam, G. *Model building code for wind loads*, ACS - AEC, St. Clair, Trinidad and Tobago, 2003. <https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/WindCode.pdf> [pristupljeno 22.04.2023]
- [5] Mehta, K.C., Coulbourne, W-L. *Wind Loads: guide to the wind load Provisions of ASCE 7-10*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, 2010. <https://doi.org/10.1061/9780784412756>
- [6] Kalkulator za poziciju sunca - Online baze podataka, <http://sunce.5deg.com/> [pristupljeno 04.07.2023]
- [7] Jovanović, M.D., Despotović, Ž.V., Urukalo, Dj. The chronological system of solar tracking implemented on mobile solar generator - IMP MSEG, in *Proc. V International Conference on Renewable Electrical Power Sources*, Belgrade, Vol. 5, No. 1, pp. 107-113, 12-13th October 2017. <https://izdanja.smeits.rs/index.php/mkoiee/article/view/2948> [pristupljeno 25.04.2023]
- [8] Rodić, A., Despotović, Z.V., Jovanovic, M., Popic, S., Stevanovic, I. Mobile robotic solar generator MobiSun Pro Energy™ - Application in New Energy Technologies, in *Proc. VIII International Forum for Clean Energy Technologies 2014 ENERGY CHARTER = SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SERBIA*, Novi Sad, 30th September - 1st October 2014. <https://doi.org/10.13140/2.1.4459.5208>

- [9] Despotović, Ž.V., Jovanović, M.D., Rodić, A., Stevanović, I. Praktične realizacije sistema za dvo-osno praćenje sunčeve putanje, in Proc. VII *Sajam energetske efikasnosti i obnovljivih izvora energije 2019*, Požarevac, Srbija, 25.-26. Oktobar 2019.
- [10] Al-Mohamad, A. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a sun-tracking system, *Applied Energy*, Vol. 79, No. 3, pp. 345-354, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2003.12.004>
- [11] Barsoum N. Fabrication of dual-axis solar tracking controller project, *Intelligent Control and Automation*, Vol. 2, pp. 57-68, 2011. <https://doi.org/10.4236/ica.2011.22007>
- [12] Abouzeid, M. Use of a reluctance stepper motor for solar tracking based on a programmable logic array (PLA) controller, *Renewable Energy*, Vol. 23, No.3-4, pp. 551-560, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00133-6](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00133-6)
- [13] Majstorović, M., Despotović, Ž.V., Ristić, L. Application of mobile solar OFF-grid generator in irrigation system - Case study, in Proc. 2017 *International Symposium on Power Electronics (Ee)*, Novi Sad, Serbia, pp. 1-6, 19-21. October, 2017. <https://doi.org/10.1109/PEE.2017.8171710>
- [14] Despotović, Ž.V., Stevanović, I.R. Hibridni besprekidni sistem napajanja za navodnjavanje povrtarskih kultura na parceli "Grabovac"- Obrenovac, *Energija, Ekonomija, Ekologija*, Vol. 23, No. 2, pp. 17-25, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-2.17D>
- [15] Despotović, Ž.V., Rodić, A., Stevanović, I.R. Sistem napajanja i pametno upravljanje poljoprivrednim zemljištem korišćenjem obnovljivih izvora energije, *Energija, Ekonomija, Ekologija*, Vol. 24, No. 1, pp. 28-39, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.28D>
- [16] Despotović, Ž.V., Jovanović, M.D., Stevanović, I.R., Majstorović, M. Regulacija pritiska u mobilnom "OFF-GRID" fotonaponskom sistemu za navodnjavanje useva, in Proc. VI *Sajam Energetske efikasnosti 2018*, Požarevac, 30-31. Oktobar 2018.

AUTORI/AUTHORS

msr Marko S. Đurović - master inž. mašinstva, Institut Mihajlo Pupin - Projektniženjering, d.o.o., Beograd, marko.djurovic@impprojekt.com, ORCID [0009-0001-7461-8044](https://orcid.org/0009-0001-7461-8044)

dr Željko V. Despotović - naučni savetnik, Institut Mihajlo Pupin, zeljko.despotovic@pupin.rs, ORCID [0000-0003-2977-6710](https://orcid.org/0000-0003-2977-6710)

Proizvodnja električne energije iz elektrana na ugalj i prateća emisija CO₂: komparacija EU-27 i Srbije

Production of Electricity from Coal-Fired Power Plants and Accompanying CO₂ Emissions: Comparison of EU-27 and Serbia

Aleksandar Madžarević, Predrag Jovančić, Stevan Đenadić, Filip Miletić, Miroslav Crnogorac

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Rezime - Velike elektrane su i u trećoj deceniji 21. veka i dalje odgovorne za više od polovine proizvodnje električne energije u Evropi. U svom radu pretežno koriste fosilna goriva, što rezultira emisijom zagađujućih materija u vazduh. Stoga, zahvaljujući direktivama EU, kao i poremećajima na tržištu, emisije ugljen-dioksida iz velikih postrojenja za sagorevanje u EU-27 intenzivno se smanjuju u poslednje dve decenije. Iako je upotreba uglja, posebno u zemljama Evropske unije, u stalnom padu, ima prostora za dodatno smanjenje. Autori su kroz ovaj rad želeli da prikažu potpuno aktuelno stanje emisije CO₂ iz termoelektrana u Evropi, koje su koristile ugalj za proizvodnju električne energije, kao i da uporede takva postrojenja sa onima koje rade u Republici Srbiji. Emisija CO₂ je analizirana u odnosu na instalisane kapacitete, kao i upoređena sa proizvedenom i energijom isporučenom u sistem. Analizom dobijenih vrednosti odnosa emisije prema broju stanovnika, površini teritorije, proizvodnji i potrošnji struje, kao i prema BDP-u, primetno je da se na teritoriji Republike Srbije generiše dosta veća količina CO₂ za postizanje sličnog energetskeg, industrijskog i ekonomskog efekta u odnosu na EU-27. Istraživanjem podataka o lokaciji sagorevanja uglja pri proizvodnji električne energije u Republici Srbiji primećeno je postojanje velikih razlika u količinama emisije CO₂, što je posledica sastava uglja koji se upotrebljava i samih režima sagorevanja u termoelektranama..

Ključne reči - CO₂, emisija, ugalj, termoelektrane, EU-27, Srbija

Abstract - Even in the third decade of the 21st century, large power plants are still responsible for more than half of the electricity production in Europe. They predominantly use fossil fuels in their work, which results in the emission of pollutants into the air. Nevertheless, thanks to EU directives, as well as disturbances on the market, emissions of carbon dioxide from large combustion plants in the EU-27 are intensively decreasing in the last two decades. Although the use of coal, especially in the countries of the European Union, is in constant decline, there is space for additional reduction. Through this paper, the authors wanted to present the completely actual situation of emissions of CO₂ from thermal power plants in Europe, that have used coal for electricity production, as well as to compare such plants with those operating in the Republic of Serbia. The CO₂ emission was analysed in relation to the installed capacity, as well as compared

to the energy produced and supplied to the system. By analysing the obtained values of the ratio of emissions to the number of inhabitants, the area of the territory, production and consumption of electricity, as well as to the GDP, it is noticeable that a much larger amount of CO₂ is generated on the territory of the Republic of Serbia to achieve a similar energy, industrial and economic effect compared to the EU-27. By researching location data of coal burning in the production of electricity in the Republic of Serbia revealed the existence of a large difference in the amount of CO₂ emissions, which is a consequence of the composition of the coal used and the combustion modes in thermal power plants.

Index Terms - CO₂, pollutant emission, coal, thermal power plant, EU-27, Serbia

I UVOD

Energetika današnjice je nosilac socio-ekonomskog razvoja društvene zajednice, predstavljajući jednu od najvažnijih potreba čovečanstva. Upravljanje razvojem energetike na lokalnom, nacionalnom, regionalnom i globalnom nivou je jedan od najvažnijih zadataka na nivou države. Treba imati u vidu i da je potražnja za finalnom energijom na početku treće decenije 21. veka, porasla čak 30 puta od industrijske revolucije, kao rezultat brzog tehnološkog napretka i izuzetne demografske tranzicije [1]. Sagledavanje dugoročnih promena i projekcija mogućeg razvoja različitih energetskih sektora predstavlja vitalnu aktivnost za održivi razvoj država, regiona, lokalnih samouprava, kao i privrednih i drugih organizacija. Sektor električne energije, proizvodnja, kao i potrošnja iste, predstavlja jedan od najvažnijih elemenata u slagalici zadovoljenja različitih aspekata ljudskih potreba i samog razvoja civilizacije. Ipak ovaj sektor krasi i zadovoljenje egzistencije i komfora u obavljanju svakodnevnih aktivnosti uz sve očigledniji pritisak na sistematsko smanjenje uticaja na okruženje u procesima proizvodnje, transformacije i potrošnje električne energije.

Upotreba uglja za proizvodnju električne energije je i dalje na izuzetno visokom nivou u svim regionima sveta, bez obzira na intenzivne napore dekarbonizacije. Ugalj je fosilno gorivo sa najviše ugljenika, a danas je i dalje dominantan nosilac proizvodnje energije u sektoru električne energije, sa tržišnim

udelom od više od jedne trećine globalne proizvodnje [2]. Ukupne svetske emisije gasova staklene bašte koje se odnose na energiju porasle su za oko 1% na najviši zabeleženi nivo od 41,3 GtCO₂eq [3]. Emisije ugljen-dioksida (CO₂) iz postrojenja koja sagorevaju fosilna goriva i industrijskog sektora činile su 89% emisija gasova staklene bašte u 2022. godini. Konkretno, globalna emisija CO₂ iz pomenutih energetske i industrijskih postrojenja je porasla za oko 1% ili 321 MtCO₂eq u 2022. na novu rekordnu vrednost od 36,8 GtCO₂eq [3]. Uticaj pandemije i geopolitički trenutak u Istočnoj Evropi izazvali su porast emisije CO₂ iz postrojenja za sagorevanje za oko 1,3% ili 423 MtCO₂eq u 2022. godini, dok su emisije CO₂ iz industrijskog sektora smanjene za 102 MtCO₂eq [3, 4]. Rast emisija u 2022. bio je ispod rasta globalnog BDP-a (povećanje od 3,2%), vraćajući se na višedecenijski trend razdvajanja rasta emisija i ekonomskog rasta koji je prekinut 2021. godine [3, 5]. Primetni su različiti trendovi između regiona i sektora. Emisije CO₂ su porasle u Severnoj Americi i Aziji (isključujući Narodnu Republiku Kinu), u većoj meri od smanjenja emisija u Evropi i Kini. Na globalnom nivou, emisije CO₂ iz proizvodnje električne energije i sektora transporta, porasle su za 261 MtCO₂eq i 254 MtCO₂eq, respektivno, što je više nego smanjenje emisija u industrijskom sektoru i zgradarstvu [1, 3].

Ako se posmatraju pojedinačni sektori upotrebe uglja, najveće apsolutno sektorsko povećanje emisija u 2022. godini bilo je u sektoru proizvodnje električne i toplotne energije. Emisije u sektoru proizvodnje električne i toplotne energije su povećane za 1,8% (odnosno 261 MtCO₂eq), dostigavši najviši nivo od 14,6 GtCO₂eq [4, 5]. Prelazak sa gasa na uglj u mnogima regionima je bio glavni pokretač ovog rasta: emisija CO₂ iz proizvodnje električne energije na uglj porasla za 2,1%, predvođena povećanjem razvoja azijskog tržišta i privrede. Globalna potražnja za električnom energijom porasla je za 2,7% [5].

Ovaj rad analizira proizvodnju i emisiju CO₂ u sektoru električne energije u EU-27 i Srbiji. Emisija CO₂ u EU-27 u poslednjih 30 godina je analizirana i prezentovana, ukazujući na trendove i ciljeve budućeg razvoja. Emisije CO₂ iz elektrana na uglj u EU-27 od 1990. kontinuirano opada sa najnižom vrednošću 2020. godine [2, 3]. Nemačka je u EU daleko najveći proizvođač energije iz uglja [2]. Nemačka ima dugu tradiciju u eksploataciji uglja, prvenstveno opravdanu razmatranjima domaće energetske bezbednosti [6, 7]. Dok je eksploatacija kamenog uglja na teritoriji Nemačke u međuvremenu prekinuta iz ekonomskih razloga, vađenje lignita i povezana proizvodnja električne energije su i dalje konkurentni, obezbeđujući hiljade radnih mesta u ekonomski slabim oblastima. Početkom 2019. godine, komisija za uglj koju je imenovala nemačka vlada predložila je postepeno ukidanje proizvodnje električne energije na uglj i eksploatacije lignita do 2038. [8]. Ipak, od 2012. ukupna proizvodnja električne energije iz uglja u EU-27 je opala za skoro trećinu. Smanjenje upotrebe uglja dovelo je do zatvaranja rudnika i gašenja elektrana u brojnim regionima širom Evrope [9].

Sa druge strane, u Republici Srbiji je uglj i dalje dominantan energetski izvor za proizvodnju električne energije, definitivno intenzivno doprinoseći kako lokalnim, tako i globalnim ekološkim promenama. Trgovina prava na emisije ugljen

dioksida je jedan od načina borbe protiv klimatskih promena. U Srbiji se primenjuju samo neki od različitih globalnih, regionalnih i lokalnih mehanizama, koji su upotrebljivi u svetu [10].

Autori su kroz rad težili da daju projekciju i ciljeve emisije CO₂ za 2030., 2040. i 2050. godinu na osnovu strateških planiranja i ciljeva u zemljama EU-27 i Republike Srbije.

II PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ ELEKTRANA NA UGLJ

EU-27 ima 26.649 izvora za proizvodnju električne energije sa instaliranim kapacitetom od 649.819 MW [11]. U zemljama EU-27 nešto malo manje od petine, 19,8% elektrana je na uglj, ukupne instalisane snage oko 111.606 MW [11]. EU-27 raspolaže sa 193 aktivnih termoelektrana na uglj, odnosno 480 termo-blokova [12].

Termoenergetski kapaciteti Republike Srbije se sastoje iz šest termoelektrana, sa aktivnih 17 termo-blokova, ukupno instalisane snage 4400 MW, koje isključivo koriste lignit i tri termoelektrane-toplane, snage 403 MW za proizvodnju električne i 505 MW za proizvodnju toplotne energije, podeljenih u 6 blokova, na tečna i gasovita goriva [13, 14].

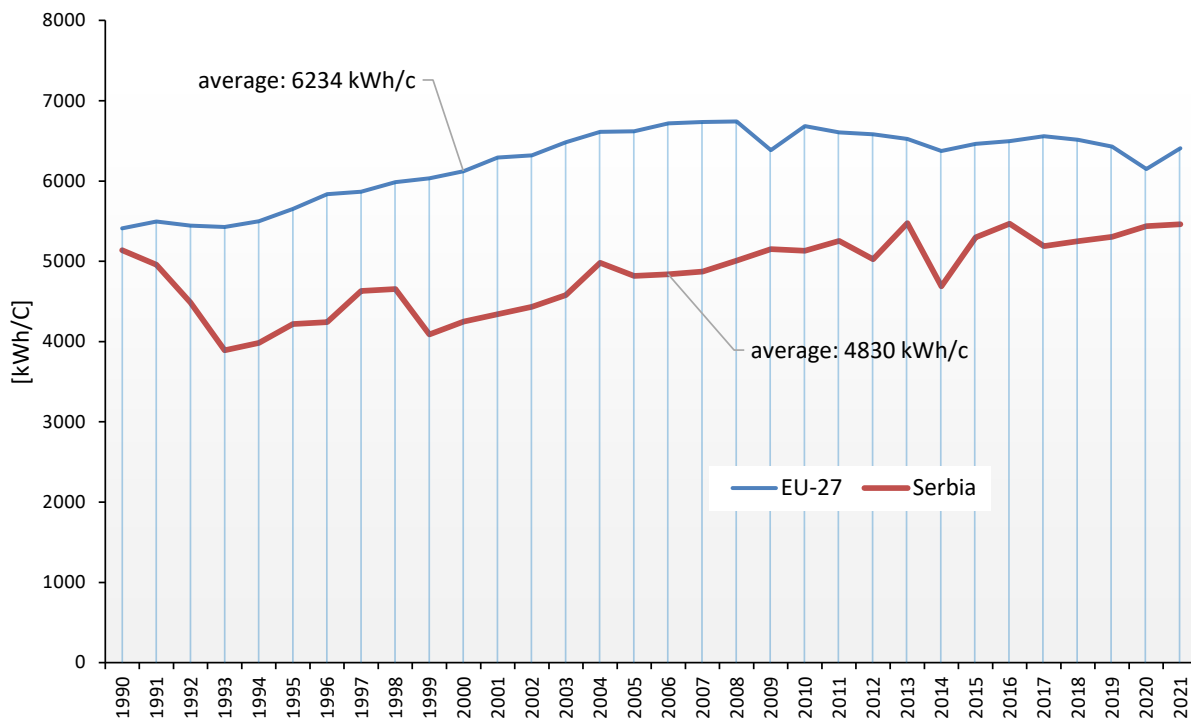
Na slici 1 dat je odnos specifične proizvodnje električne energije po glavi stanovnika u EU-27 i Srbiji. U 2021. godini, EU-27 je proizvela 6408 kWh po glavi stanovnika, a Srbija 5461 kWh po glavi stanovnika [12, 13, 14].

Primetno je da postoji očigledna veza između stepena razvoja zemlje ili regiona i količine energije koja se troši. U tome sigurno prednjači Evropska Unija (ili EU-27), koja kao organizacija zemalja ima najveći standard u ovom delu sveta.

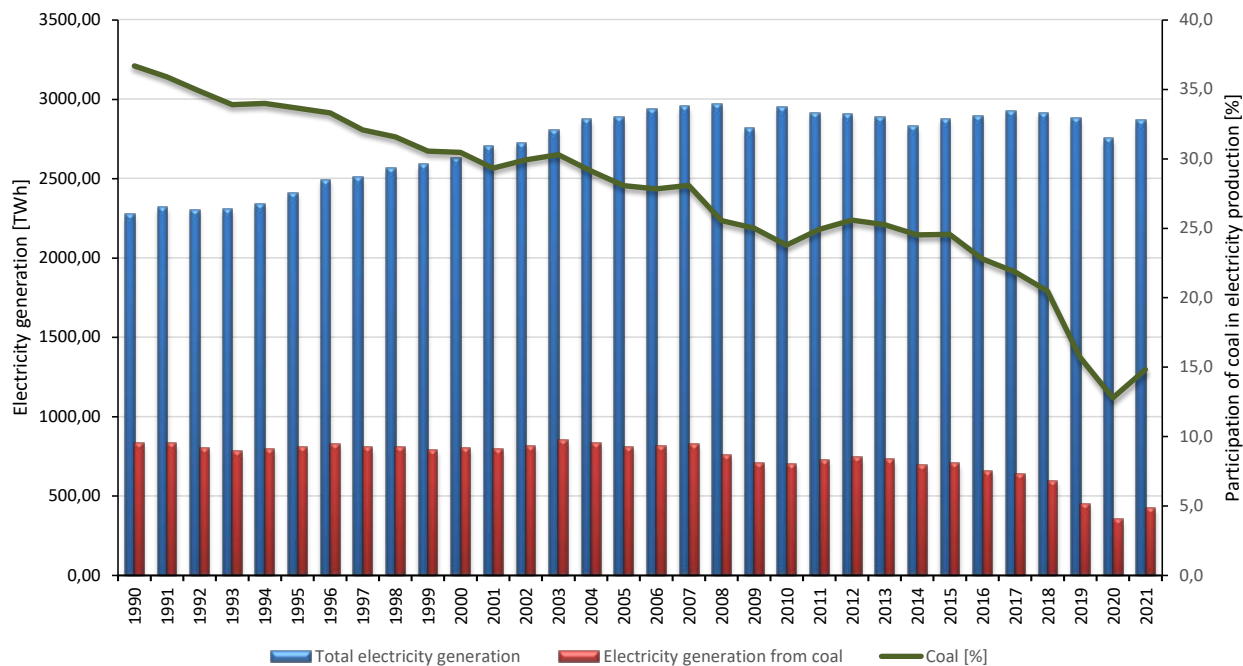
Svojevremeno je uglj u zemljama EU-27 imao najveći značaj kao energent za dobijanje električne energije. Godine 1990. učešće uglja pri dobijanju električne energije je iznosio 36,7%, dok je to učešće 2021. godine bilo tek 14,8% [11, 12]. Ipak, velike elektrane su i u trećoj deceniji 21. veka i dalje odgovorne za oko 40% ukupne proizvodnje električne energije u Evropi. U svom radu pretežno koriste fosilna goriva, što rezultira emisijom zagađujućih materija u vazduh.

Primat preuzimaju obnovljivi izvori energije. U istom periodu od 1990. do 2021. godine povećana je proizvodnja električne energije za 26% [12]. Na slici 2 prikazan je dijagram ukupne proizvodnje električne energije u zemljama Evropske Unije, ali i generisanje električne energije iz uglja [TWh], kao i udela uglja u energetskom miksu godišnje proizvodnje [%]. Ostaje neosporna činjenica da su problemi klimatskih promena i emisije CO₂ usporile ekspanziju upotrebe uglja kao energenta [1,11].

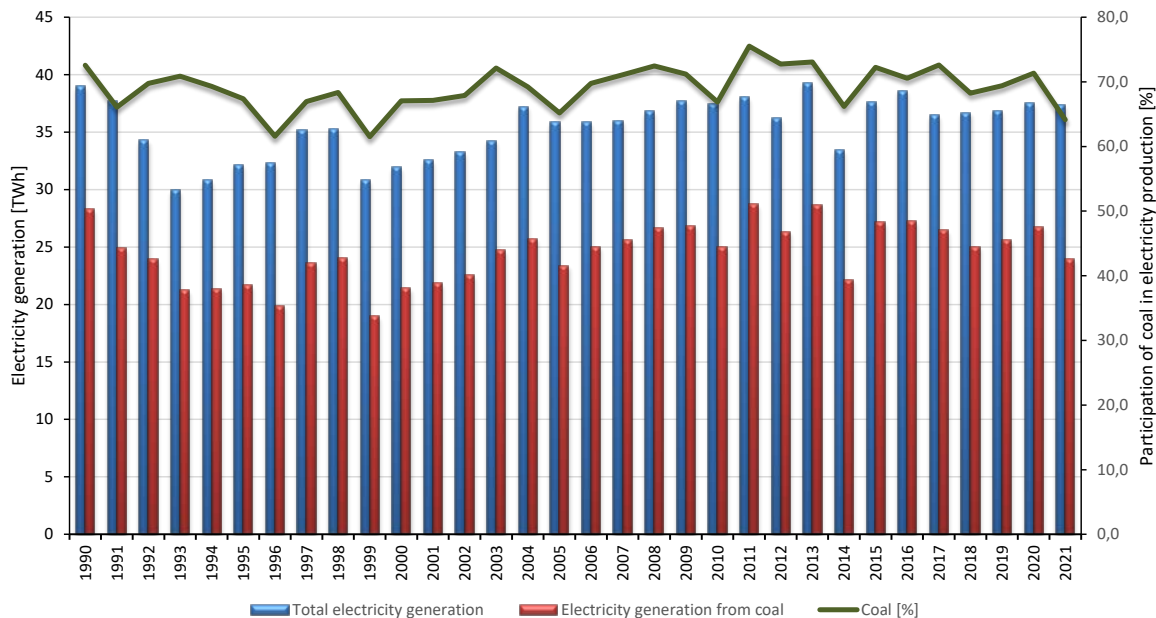
U zemljama u razvoju, uglj je često jedina alternativa kada su čistiji izvori energije neadekvatni da zadovolje rastuću potražnju za energijom, odnosno uticajem na rast standarda. Takav je slučaj sa Srbijom. Godine 1990. učešće uglja pri dobijanju električne energije je iznosio 72,6%, dok je to učešće 2021. godine bilo 64,1% [14, 15]. U istom periodu od 1990. do 2021. godine smanjena je proizvodnja električne energije za 4% [14, 15]. Na slici 3 dat je dijagram ukupne proizvodnje električne energije, kao i udela uglja u istoj.



Slika 1. Odnos specifične proizvodnje električne energije u EU-27 i Srbiji



Slika 2. EU-27 proizvodnja električne energije [12]



Slika 3. Proizvodnja električne energije u Srbiji [14, 15]

III EMISIJE CO₂

Istovremeno, u Srbiji je došlo do pada emisija CO₂, koja se može vezati za smanjenje upotrebe uglja u generaciji električne energije, ali i smanjenja same proizvodnje električne energije, što se vidi sa Slike 4.

Pad emisije je u odnosu na 1990. je 13%, što nije malo, ali je u odnosu na prosečnih 40% smanjenja u zemljama Evropske Unije ipak dosta niže.

Emisije CO₂ u 20 termoelektrana Evrope koji su najveći emiteri su prikazane u Tabeli 1. Posebno su izdvojene u svrhu komparacije termoelektrane Nikola Tesla i Kostolac, koje su pozicionirane na 3. i 16. mestu emitera po apsolutnoj i specifičnoj emisiji. Među prvih 20 termoelektrana najvećih emitera CO₂ u zemljama EU i Srbiji, čak 14 njih koristi lignit kao gorivo [16]. Preostale upotrebljavaju kameni ugalj. Sama emisija se analizirala kroz tri indikatora:

- ukupna apsolutna emisija u tonama CO₂,
- specifična emisija CO₂ u odnosu na instalisane kapacitete kao indikator koji opisuje kvalitet rada postrojenja,
- specifična emisija prikazana kroz odnos emitovanih količina CO₂ i proizvedene električne energije, kao indikator koji je definisan u odnosu na proizvodnju električne energije.

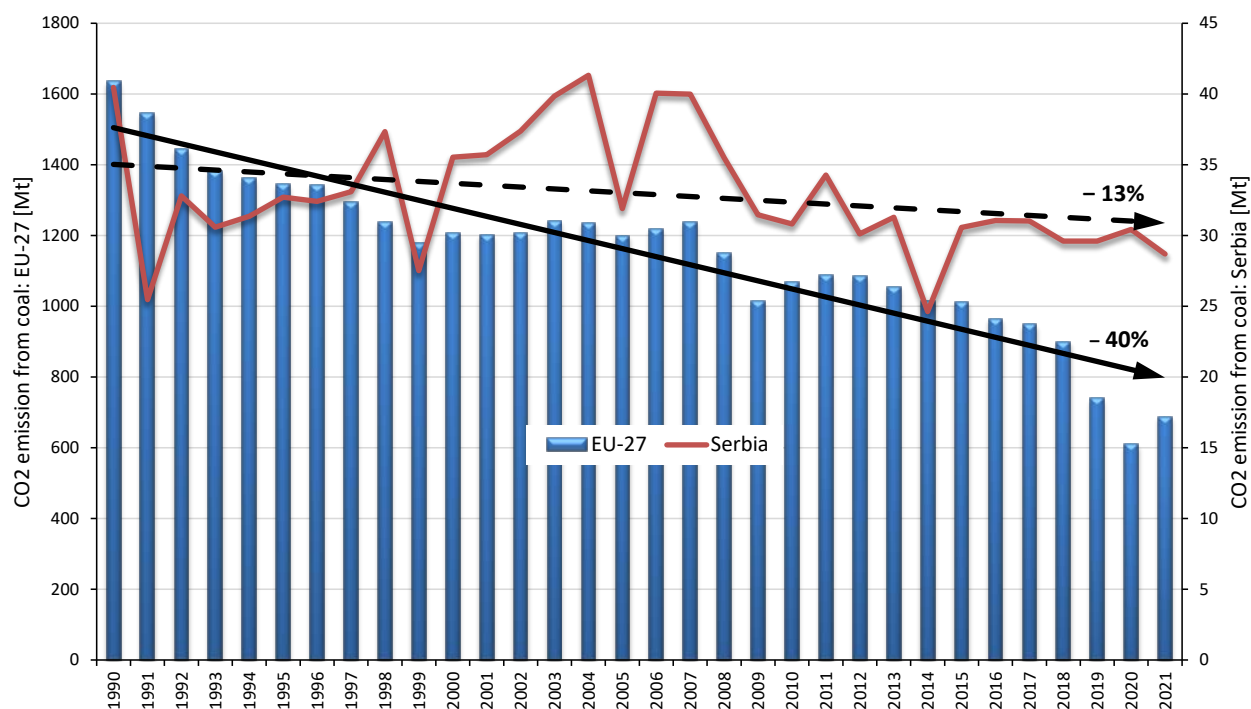
Vrednosti ova tri indikatora su prikazana u ćelijama označenim plavom bojom u Tabeli 1. Primetno je da termoelektrane Weisweiler i Schwarze Pumpe, obe iz Nemačke imaju najveće vrednost specifične emisije CO₂ u odnosu na instalisane kapacitete (odnos je 9,1, odnosno 7,4 respektivno) [17]. Daljom analizom primećeno je da je kod većine termoelektrana koje koriste lignit ovaj odnos emisija CO₂ u odnosu na instalisane kapacitete 5 do 6, dok je prosečna vrednost 5,4 [17, 18]. Kod

elektrana koje koriste kameni ugalj, očekivano vrednosti ovog indikatora opadaju ispod 4, dok je prosečna vrednost 3,65 [17]. Ipak, termoelektrana Abono iz Španije, ima vrednost ovog indikatora od 5,7, što predstavlja svojevrsni pik, a i vrednost koja je iznad prosečne vrednosti, čak i za upotrebu lignita kao pogonskog goriva [17, 18]. Najnižu vrednost indikatora specifične emisije CO₂ u odnosu na instalisane kapacitete od 2,4 ima poljska termoelektrana Javorzno 3 koja koristi kameni ugalj u svom radu [18].

Indikator specifične emisije prikazana kroz odnos emitovanih količina CO₂ i proizvedene električne energije svoje najviše vrednosti ima u španskoj TE Abono i poljskoj TE Kozenice, respektivno 1,68 i 1,45 [18]. Obe TE upotrebljavaju kameni ugalj. Ako se posmatra lignit, TE Pocerady, Češka, beleži najvišu vrednost (1,17), što je dosta niže od termoelektrana na kameni ugalj [17]. Ipak, TE iz Poljske, koja takođe koristi u svom radu kameni ugalj, ima izrazito najnižu vrednost specifične emisije izražene odnosom emitovanih količina CO₂ i proizvedene električne energije od 0,45 [18].

Termoelektrane iz Srbije, TE Nikola Tesla i TE Kostolac su u potpunosti u prosečnim vrednostima indikatora emisije CO₂ u odnosu na najveće elektrane Evrope (označene su plavim slovima u Tabeli 1.). TE Nikola Tesla beleži vrednost emisije u odnosu na instalisani kapacitet od 5,7 i odnos emisije u poređenju sa proizvodnjom električne energije od 0,99 [17, 18]. TE Kostolac ima vrednost drugog indikatora od 5,3, dok je treći indikator na sumi od 0,93 [17, 18].

Ukupna emisija CO₂ u EU-28 i Srbiji je data u Tabeli 2, dok je uporedna emisija CO₂ u najvećim elektranama Evrope i termoelektranama EPS-a za period 2010-2021. godina uz projekcije nakon 2028. godine prikazana na Slici 5.



Slika 4. Pad emisije CO₂ iz termoelektrana na ugalj u EU-27 i Srbiji [13, 14, 15]

Tabela 1. Najveće emisije CO₂ u 20 termoelektrana Evrope u 2021. godini [11, 16, 17, 18]

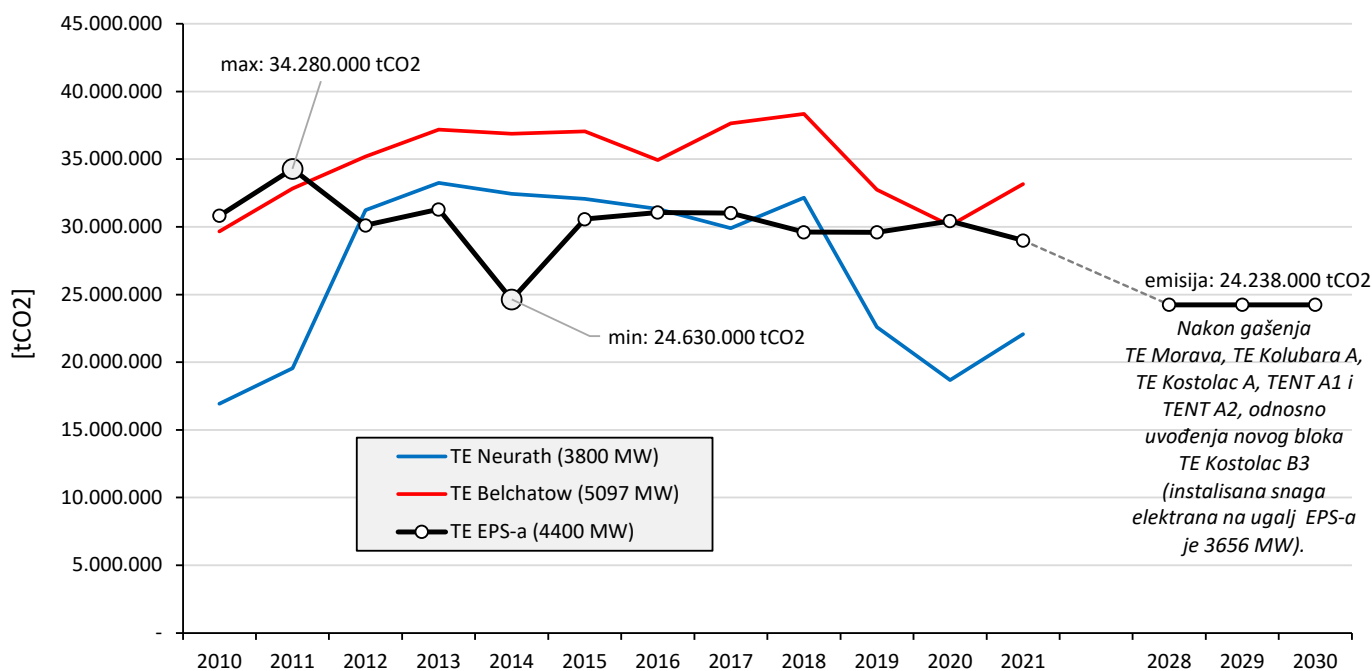
	Termoelektrana	Zemlja	CO ₂ emisije [10 ³ t]	Ugalj	Instalisani kapaciteti [MW]	Odnos [10 ³ tCO ₂ / MW]	Proizvodnja [GWh]	Odnos [10 ³ tCO ₂ / GWh]
1.	Belchatow	Poljska	25540	lignit	5097	5,0	27400	0,93
2.	Neurath	Nemačka	22100	lignit	3800	5,8	31300	0,71
3.	Nikola Tesla	Srbija	17464	lignit	3036	5,7	17623	0,99
4.	Niederaussem	Nemačka	16100	lignit	3021	5,3	24500	0,66
5.	Kozienice	Poljska	15900	kameni ugalj	3994	4,0	11000	1,45
6.	Boxberg	Nemačka	15500	lignit	2582	6,0	18000	0,86
7.	Janschwalde	Nemačka	15200	lignit	3210	4,7	20000	0,76
8.	Weisweiler	Nemačka	14500	lignit	1595	9,1	13400	1,08
9.	Schwarze Pumpe	Nemačka	11800	lignit	1600	7,4	10000	1,18
10.	Lippendorf	Nemačka	11100	lignit	1868	5,9	11000	1,01
11.	Opole	Poljska	10700	kameni ugalj	3332	3,2	24000	0,45
12.	Turow	Poljska	10193	lignit	1948	5,2	10060	1,01
13.	Maritsa Izток	Bugar.	9600	lignit	2510	3,8	10923	0,88
14.	Kosovo*	Kosovo*	6660	lignit	1290	5,2	6350	1,05
15.	Polaniec	Poljska	6029	kameni ugalj	1674	3,6	6840	0,88
16.	Pocerady	Češka	5389	lignit	1000	5,4	4600	1,17
17.	Javorzno 3	Poljska	5369	kameni ugalj	2255	2,4	6073	0,88
18.	Kostolac	Srbija	5340	lignit	1010	5,3	5717	0,93
19.	Eemshaven	Holand.	5306	kameni ugalj	1740	3,0	6952	0,76
20.	Abono	Španija	5176	kameni ugalj	916	5,7	3072	1,68

Tabela 2. Emisija CO₂ iz termoelektrana na ugalj u 2021. godini [18, 19]

	Miliona tona CO ₂	Odnos prema površini teritorije [tCO ₂ /km ²]	Odnos prema broju stanovnika [tCO ₂ /st]	Odnos prema proizvodnji struje [kgCO ₂ /MWh]	Odnos prema potrošnji struje [kgCO ₂ /MWh]	Odnos prema BDP po stanovniku [tCO ₂ /US\$]	Odnos prema BDP [kgCO ₂ /US\$]
Srbija	29	324	4,27	833	933	3101	0,4562
EU-27	688	162	1,54	248	264	18470	0,0413

Tabela 2 daje poredbene rezultate emisije CO₂ iz termoelektrana na ugalj u zemljama EU-27 i Republici Srbiji, i to u odnosu na površinu teritorije, broj stanovnika, proizvodnju i potrošnju struje, kao i ekonomske parametre BDP-a i BDP-a specficiranog po stanovniku. Iako samo poređenje deluje robusno, Republika Srbija je u procesu pridruženja EU, i u svom zakonodavstvu ima sve više u potpunosti identičnih stavova kao i u EU (zakonodavni akti, uredbe i ograničenja), a koji su zasnovani na zajedničkoj primeni, a ne na individualnosti svake članice EU. Istovremeno, na nivou EU ne postoje različiti aršini za energetske politiku, već je u pitanju jedinstven multifunkcionalni energetske subjekt koji

ima jasne zajedničke strateški definisane ciljeve. Upravo specficirani odnosi prezentovani u Tabeli 2 daju mogućnost poređenja naizgled veoma teško merljivih pojava. Analizom dobijenih vrednosti odnosa emisije prema broju stanovnika, površini teritorije, proizvodnji i potrošnji struje, kao i prema BDP-u, primetno je da se na teritoriji Republike Srbije generiše dosta veća količina CO₂ za postizanje sličnog energetskog, industrijskog i ekonomskog efekta u odnosu na EU-27. Sa slike 5 može se primetiti da kapaciteti EPS-a u kojima se aktivno koriste ugalj imaju ustaljenu količinu emisije, sa trendom blagog pada u odnosu na vrednosti sa početka prošle decenije.

**Slika 5.** Uporedna emisija CO₂ najvećih elektrana emitira u EU-27 i termoelektrana EPS-a (period od 2010-2021. i projekcija posle 2028. godine) [19]

IV PRAVCI RAZVOJA I ZAKLJUČAK

Na osnovu trenutnih tržišnih trendova, može se predvideti da će potrošnja uglja ostati na sadašnjem nivou tokom narednih nekoliko godina, pošto je pad na uspostavljenim, zapadnim tržištima nadoknađen kontinuiranom snažnom potražnjom u azijskim brzorastućim ekonomijama u nastajanju. To znači da će ugalj verovatno biti najveći pojedinačni izvor emisije ugljen-dioksida u globalnom energetskom sistemu do kraja ove decenije. Primetno je da je, vođeni izazovima pandemije i sukoba u Istočnoj Evropi, snažna politika smanjenja upotrebe uglja u

Evropi zaleđena samo trenutno. Zemlje EU-27 nastavljaju da vide svoju energetske budućnost kroz minimalnu upotrebu fosilnih goriva, smanjujući svoju uveznu zavisnost, povećanjem sigurnosti snabdevanja i energetske bezbednosti uopšte. Ipak, primetno je da su zemlje EU-27 povećale potrošnju uglja u 2021. i 2022. godini nakon skoro 10 godina uzastopnog pada u upotrebi uglja za proizvodnju električne energije.

Strateškim dokumentima iz energetskog sektora Republike Srbije [20], kao i planovima razvoja Elektroprivrede Srbije, ali i obavezama preuzetim u okviru Energetske zajednice [21], predviđeno je da TE Morava i TE Kolubara budu ugašene do

kraja 2024., TENT A1 i TENT A2 će biti ugašeni do kraja 2027., dok će TE Kostolac A biti u funkciji do kraja 2028. [22]. Istim planovima razvoja je predviđeno da se tokom 2023. godine dogradi novi blok TE Kostolac B3 od 350 MW [22]. U takvom režimu rada, TE Morava ima jedan blok snage 125 MW, TE Kolubara A ima pet blokova ukupne snage 239 MW, TENT A1 snage 210 MW, TENT A2 snage 210 MW i TE Kostolac A dva bloka ukupne snage 310 MW [12]. Ukupno je reč o snazi od 1.094 MW.

Strateškim razvojem je predviđeno da se nakon 2028. godine realno van funkcije nađe kapacitet od 744 MW. Imajući u vidu količine uglja koje se troše predviđeno smanjenje emisije CO₂ iz ovih blokova je:

- iz TE Morava 575.000 tCO₂ (prosečna vrednost od 2019-20),
- iz TE Kolubara 887.000 tCO₂ (prosečna vrednost od 2016-20),
- iz TE Kostolac A prosečno 2.500.000 tCO₂,
- iz TENT A1 i A2 prosečno 3.000.000 tCO₂ [19].

Ako se tome doda i puštanje u rad novog bloka B3 u Kostolcu sa novih 2.200.000 tCO₂ [23], postoji projekcija realnog smanjenja emisije od 4.762.000 tCO₂ na godišnjem nivou.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Madžarević, A., Ivezić, D., Živković, M., Tanasijević, M., Ivić, M., Assessment of vulnerability of natural gas supply in Serbia: State and perspective, *Energy Policy*, Vol. 121, pp. 415-425, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.06.037>
- [2] IEA. CO2 Emissions in 2021 and 2022. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3c8fa115-35c4-4474-b237-1b00424c8844/CO2Emissionsin2022.pdf> [pristupljeno 07.03.2023]
- [3] British Petrol. BP Statistical Review of World Energy. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf> [pristupljeno 14.03.2023]
- [4] Böhringer, C., Rosendahl, K.E. Europe beyond coal - an economic and climate impact assessment, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 113, 102658, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102658>
- [5] Europe Beyond Coal. <https://beyondfossilfuels.org/database/> [pristupljeno 14.03.2023]
- [6] Storchmann, K. The rise and fall of German hard coal subsidies, *Energy Policy*, Vol. 33, No. 11, pp. 1469-1492, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.01.006>
- [7] Herpich, P., Brauers, H. H., Oei, P.-Y. An historical case study on previous coal transitions in Germany, *IDDRI and Climate Strategies*, 2018. <https://coaltransitions.files.wordpress.com/2018/07/2018-historical-coal-transitions-in-germany-report2.pdf> [pristupljeno 14.03.2023]
- [8] Kommission "Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung", Abschlussbericht. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [pristupljeno 14.03.2023]
- [9] Jovančić, P., Ignjatović, D., Djenadić, S. Uporedni prikaz proizvodnje električne energije iz uglja zemalja Evrope sa najvećim udelom: politika i projekcija proizvodnje, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 3, pp. 63-71, 2022, (str. 63-71) <https://doi.org/10.46793-eee22-3-63j/>
- [10] Kuzman, M., Pravni aspekti trgovine prava na emisije ugljen dioksida u Republici Srbiji, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 2, pp. 31-34, 2021. <https://doi.org/10.46793-eee21-2-31k/>
- [11] Power plants in the EU by source. <https://visitors-centre.jrc.ec.europa.eu/tools/powerplants/> [pristupljeno 07.02.2023]
- [12] OWID ED. Our World in Data based on Ember's Yearly Electricity Data. <https://ourworldindata.org/energy#explore-data-on-energy> [pristupljeno 18.02.2023]
- [13] EPS. Proizvodni kapaciteti, <https://www.eps.rs/lat/Stranice/Kapaciteti-EIEn.aspx> [pristupljeno 22.02.2023]
- [14] OWID ED. Serbia: Energy Country Profile, <https://ourworldindata.org/energy/country/serbia> [pristupljeno 25.02.2023]
- [15] OWID ED. Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy, <https://ourworldindata.org/energy#explore-data-on-energy> [pristupljeno 25.02.2023]
- [16] Climate TRACE's emissions inventory. <https://climatetrace.org/map> [pristupljeno 25.02.2023]
- [17] Emissions and energy use in large combustion plants in Europe. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/emissions-and-energy-use-in> [pristupljeno 14.11.2023]
- [18] Thermal power plants in Europe emissions from coal. <https://countryeconomy.com/countries/compare/euro-zone/serbia> [pristupljeno 14.11.2023]
- [19] eXtreme ECOlogy - Ekstremna ekologija. <https://xeco.info/xeco/odzak/> [pristupljeno 25.02.2023]
- [20] Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa projekcijama do 2030. godine, Službeni glasnik RS, 101/2015. <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/ostalo/2015/101/1/r> [pristupljeno 25.02.2023]
- [21] Energy community, Implementation Serbia, 2017. *Secretariat's 2017 report - Energy Community Homepage (energy-community.org)* [pristupljeno 25.02.2023]
- [22] Plan gašenja termoelektrana u Srbiji. <https://balkangreenenergynews.com/rs/plan-gasenja-termoelektrana-u-srbiji/> [pristupljeno 15.03.2023]
- [23] CEE Bankwatch network. Troškovi emisija ugljenika planiranih termoelektrana na ugalj na Zapadnom Balkanu i rizik da postanu promašena investicija. <https://bankwatch.org/wp-content/uploads/2017/03/briefing-Balkans-CO2-29Mar2017-srb.pdf> [pristupljeno 15.02.2023]

AUTORI/AUTHORS

dr Aleksandar Madžarević - docent, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, aleksandar.madzarevic@rgf.bg.ac.rs, ORCID [0000-0002-8997-1393](https://orcid.org/0000-0002-8997-1393)

dr Predrag Jovančić - redovni profesor, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, predrag.jovancic@rgf.bg.ac.rs, ORCID [0000-0002-2245-4172](https://orcid.org/0000-0002-2245-4172)

msr Filip Miletić - asistent, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, fillip.miletic@rgf.bg.ac.rs, ORCID [0000-0001-5402-5818](https://orcid.org/0000-0001-5402-5818)

dr Stevan Đenadić - docent, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, stevan.djenadic@rgf.bg.ac.rs, ORCID [0000-0003-2835-7151](https://orcid.org/0000-0003-2835-7151)

dr Miroslav Crnogorac - docent, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, miroslav.crnogorc@rgf.bg.ac.rs, ORCID [0000-0002-8078-2684](https://orcid.org/0000-0002-8078-2684)

Predlog povezivanja velikih Data Centara i pripadajućih objekata za proizvodnju električne energije u elektroenergetski sistem

A Proposal to Connect Large Data Centers and Associated Power Plants in the Power System

Ivan Vujović, Zoran Stojanović, Željko Đurišić

Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija

Rezime - Izgradnju infrastrukturnih objekata velikih Data Centara (DC-a) obično prate i objekti za proizvodnju električne energije. Ove objekte je potrebno povezati na elektroenergetski sistem (EES) radi obezbjeđivanja napajanja DC-a, odnosno plasiranja proizvedene električne energije iz elektrana. U tu svrhu je neophodno planiranje iskorišćenja postojećih i izgradnju novih razvodnih postrojenja (RP-a). Zbog što optimalnije eksploatacije postojećih resursa i planiranja novih, uz očuvanje stabilnosti EES-a, povezivanje se vrši na pogodno odabranim mjestima. Predlog mjesta i načina priključenja DC-a na konkretni EES obrađen je u u prvom dijelu rada. Navedeni su postojeći elementi RP-a predviđeni za korišćenje u ovu svrhu, odnosno novi elementi koje je potrebno implementirati, kao i njihov položaj u EES-u. Drugi dio rada odnosi se na način povezivanja izvora električne energije, koji su dio DC-a u širem smislu, na EES. Dat je osvrt na ograničenja kapaciteta postojećih resursa RP-a i predlog izgradnje novih. Prilikom priključenja bilo kog od navedenih objekata neophodno je voditi računa o očuvanju redundanse u napajanju DC-a. Razmjena informacija između komunikacionih sistema DC-a, objekata za proizvodnju električne energije i EES-a omogućava brzu i efikasnu reakciju na moguće poremećaje ili potpunu nefunkcionalnost pojedinačnih objekata DC-a u širem smislu i dijelova EES-a, odnosno EES-a u cjelini. Predlog komunikacionog povezivanja DC-a i EES-a obrađen je u trećem dijelu rada. Na kraju rada predstavljen je uopšteni zaključak o načinu realizacije povezivanja DC-a u širem smislu na osnovu konkretnog primjera realizacije koji je prethodno opisan.

Ključne reči - Data Centar, elektroenergetski sistem, razvodno postrojenje, vod, komunikaciona infrastruktura

Abstract - Construction of large Data Centers (DCs) facilities is usually accompanied by facilities for the production of electrical energy. It is necessary to connect these objects to the electric power system (PS) in order to provide DC power supply, and to distribute the produced electrical energy from power plants. For this purpose, it is necessary to plan the utilization of existing and build new substations (SS). Due to optimal exploitation of existing resources and planning of new ones, while preserving the stability of the PS, the connections are made in conveniently selected places. The proposal for the place and method of connecting DC to the specific PS is dealt with in the first part of

the paper. Existing elements of the SS which are meant for this purpose and new elements that need to be implemented, as well as their position in the PS, are listed. The second part of the paper refers to the method of connecting sources of electrical energy, which are part of DC in a broader sense, to the PS. A overview of the limitations for existing SS resources capacity and a proposal for building new SS is given. When connecting any of the mentioned objects, it is necessary to take care to preserve redundant power supply of the DC. Information exchange between DC communication systems, electrical energy production facilities and the PS enables quick and efficient reaction to possible disturbances or complete malfunction of individual DC facilities in a broader sense, parts of the PS, or PS as a whole. The proposal for communication connection of DC and PS is processed in the third part of the paper. At the end of the paper, a general conclusion is presented on the way to realize DC connection in a broader sense, based on the concrete example of realization that was previously described.

Index Terms - Data Center, Power system, Substation, Power line, Communication infrastructure

I UVOD

Predložena rešenja i urađeni proračuni u [1] i [2], koji se odnose na izgradnju regionalnog Data Centra kod Beograda i realizaciju razvodnih postrojenja velikih Data Centara (DC-a), omogućavaju optimalan dizajn objekta DC-a i pripadajućih razvodnih postrojenja i pružaju podatke vezane za snagu napajanja objekta koja iznosi: 80 MW (100 MVA, pri $\cos\varphi=0,8$) i instalisanu snagu transformatora različitih naponskih nivoa RP-a koja iznosi:

- 400/110 kV/kV – 3x150 MVA = 450 MVA,
- 110/35 kV/kV – 5x63 MVA = 315 MVA,
- 35/0,4 kV/kV – 28x8 MVA = 224 MVA.

Pripadajući objekti za proizvodnju električne energije su sledećih instalisanih snaga:

- vjetroelektrana – 240 MW,
- solarna elektrana – 27,94 MW,
- elektrana na deponijski gas – 21,9 MW.

Opisan je predlog načina realizacije postrojenja samog objekta DC-a i ukratko navedeni potrebni resursi u svrhu povezivanja

objekata za proizvodnju električne energije na mrežu elektroenergetskog sistema (EES-a). Pri tome je predviđeno iskorišćenje postojećih kapaciteta RP-a i izgradnja novih RP tamo gdje je to neophodno. Na svim naponskim nivoima je potrebno obezbijediti 2N+1 redundansu u napajanju DC-a. Predložena je i komunikaciona infrastruktura DC-a tj. optička mreža unutar objekta i navedene potrebne veze sa spoljnim mrežama.

Tema ovog rada je razrada plana elektroenergetskog i komunikacionog povezivanja DC-a i pripadajućih objekata za proizvodnju električne energije sa EES-om i provajderima telekomunikacionih servisa.

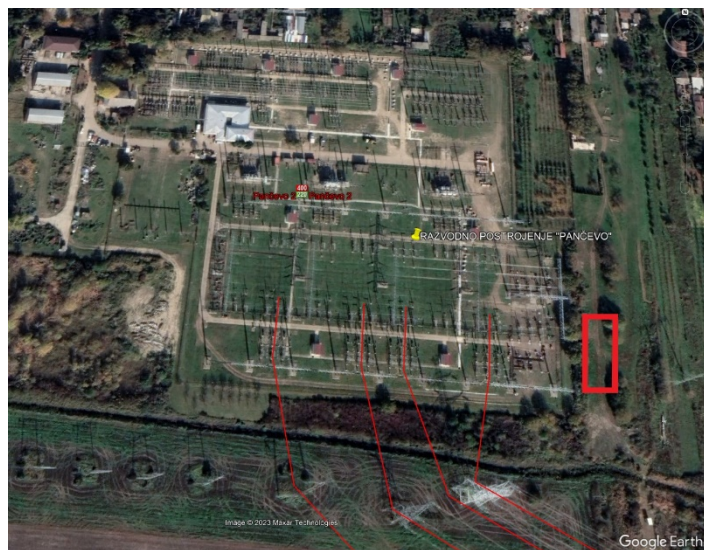
II POVEZIVANJE DATA CENTRA NA EES

Struktura razvodnih postrojenja DC-a detaljno je opisana u [2]. Predviđeno je redundantno povezivanje dva 400/110 kV/kV transformatora na isti 400 kV prsten i jednog 400/110 kV/kV transformatorom na drugi 400 kV prsten EES-a. Instalirana snaga DC-a od 80 MW (100 MVA), na 400 kV naponskom nivou, pri $\cos\phi=0,8$ i nefunkcionalnoj reaktivnoj kompenzaciji, tj. u najgorem slučaju, kada se mrežom prenosi i aktivna i reaktivna energija, predstavlja struju od 288,68 A (ukupna struja) po fazi. Snaga svakog pojedinačnog 400/110 kV/kV je 150 MVA [2]. Da bi transformatori mogli biti maksimalno iskorišćeni, vodove za vezu sa 400 kV prstenovima je potrebno dimenzionisati prema njihovoj nominalnoj snazi. Snazi od 150 MVA, pri $\cos\phi=0,8$, na 400 kV naponskom nivou odgovara ukupna (aktivna i reaktivna) struja od 434 A po fazi. Vrijednost površine poprečnog presjeka Al/Če voda dovoljna za trajni prenos navedene struje tj. prva veća vrijednost je 240/40 mm²/mm² [3]. Maksimalna vrijednost struje koja se trajno može prenositi jednom fazom voda, pri najvećoj temperaturi okoline, je 567 A [4]. Povezivanje prvog 400/110 kV/kV transformatora RP-a DC-a sa prvim 400 kV prstenom vrši se preko 240/40 mm²/mm² Al/Če užadi dužine oko 1 km do transformatorskog RP-a EES-a "Beograd 20", na cjevastim sabirnicama dodatnog 400 kV vodnog polja 7 označenog crvenim okvirom na slici 1.



Slika 1. Dodatno polje 7 RP "Beograd 20" na 400 kV nivou

Povezivanje drugog 400/110 kV/kV transformatorom RP-a DC-a sa prvim prstenom vrši se preko 240/40 mm²/mm² Al/Če užadi dužine oko 23 km do transformatorskog RP-a EES-a "Pančevo 2", na cjevastim sabirnicama 400 kV dodatnog vodnog polja 9 označenog crvenim okvirom na slici 2.



Slika 2. Dodatno polje 9 RP "Pančevo 2" na 400 kV nivou

Postrojenja "Beograd 20" i "Pančevo 2" međusobno su povezana na 400 kV nivou sa 2 x 490/65 mm²/mm² Al/Če voda preko vodnih polja 5 i 1 respektivno. Time je ostvareno 2N redundantno napajanje DC-a na 400 kV naponskom nivou u prstenu: "Beograd 20"- "Pančevo 2"- "Čibuk 1"- "Drmno"- "Smederevo 3"- "Beograd 8"- "Beograd 20". Najveća vrijednost struje po fazi koja se trajno može prenositi ovim prstenom jednaka je najmanjoj vrijednosti dozvoljene trajne struje na pojedinačnom vodu u ljetnjem periodu i iznosi 1350 A [4]. Dakle, u najgorem slučaju rada DC-a tj. potrebnoj struji od 288,68 A, u ljetnjem periodu, potrebno je da u prstenu 1 bude dostupan kapacitet od 21,4 %.

Ostvarivanje 2N+1 redundantnog napajanja na 400 kV nivou realizovano je povezivanjem RP DC-a, preko dodatnog transformatora 400/110 kV/kV, postavljenog u samom RP-u (transformator 3 u [2]), na drugi prsten EES-a tj. na dodatno vodno polje 7, 400 kV sabirnica, RP-a "Beograd 8" preko 240/40 mm²/mm² Al/Če užadi dužine oko 11 km. Slika 3 prikazuje RP "Beograd 8", a crvenim okvirom je označena pozicija dodatnog vodnog polja.

Kako se veza sa prstenom 2 EES-a ne koristi u normalnom pogonu DC-a već samo tokom havarijskih stanja, transformator T3 se, u normalnom pogonu, upotrebljava za napajanje drugih potrošača.

Drugi prsten čine sledeća RP: "DC"- "Beograd 8"- "Obrenovac"- "Kragujevac 2"- "Jagodina 4"- "Niš 2"- "Bor 2"- "Đerdap 1"- "Drmno"-prsten 1. Najveća vrijednost struje koja se trajno može prenositi ovim prstenom jednaka je najmanjoj vrijednosti dozvoljene trajne struje na pojedinačnom vodu u ljetnjem periodu i iznosi 1305 A [4]. Najveća potrebna struja za DC od 288,68 A čini 22,2 % kapaciteta ovog prstena.



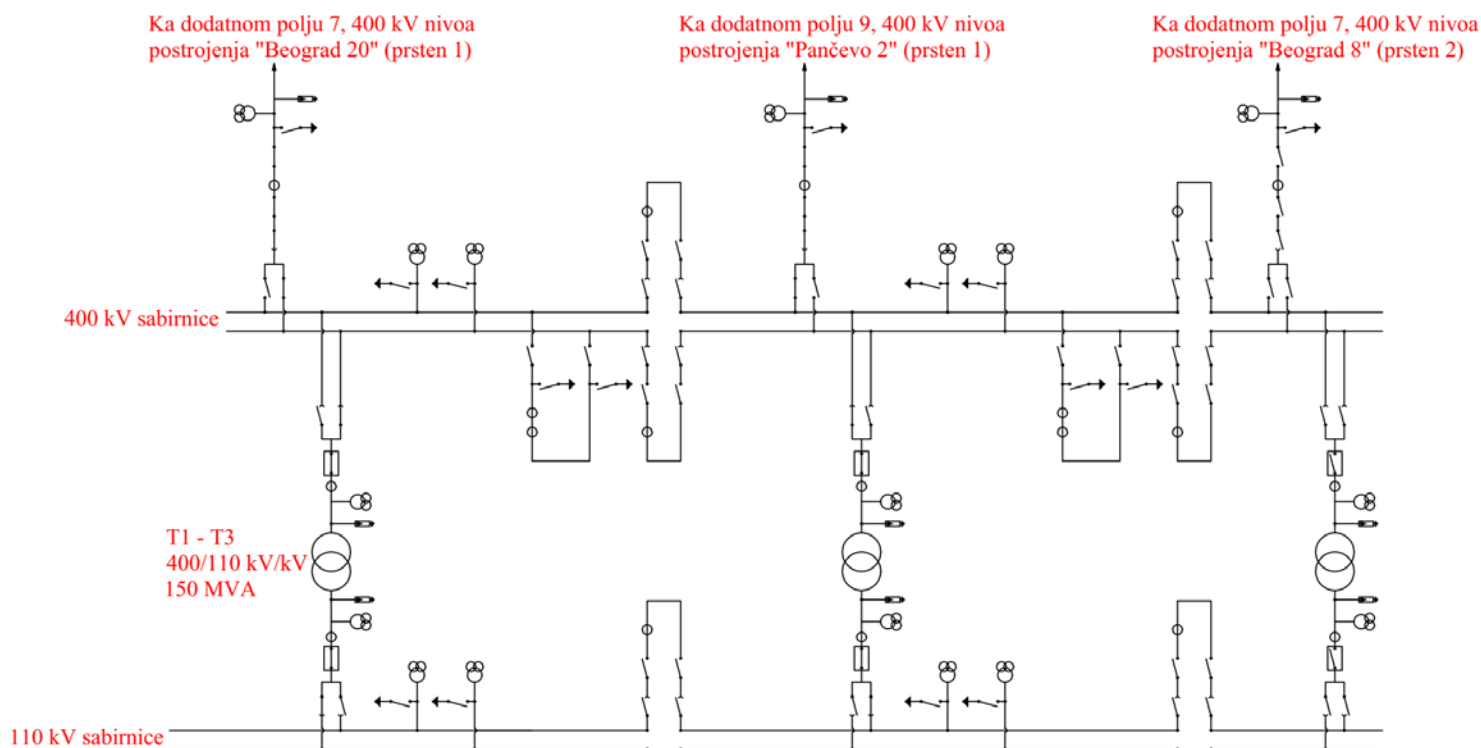
Slika 3. Dodatno polje 7 RP "Beograd 8" na 400 kV nivou

Na slici 4 prikazana je šema predloga realizacije povezivanja

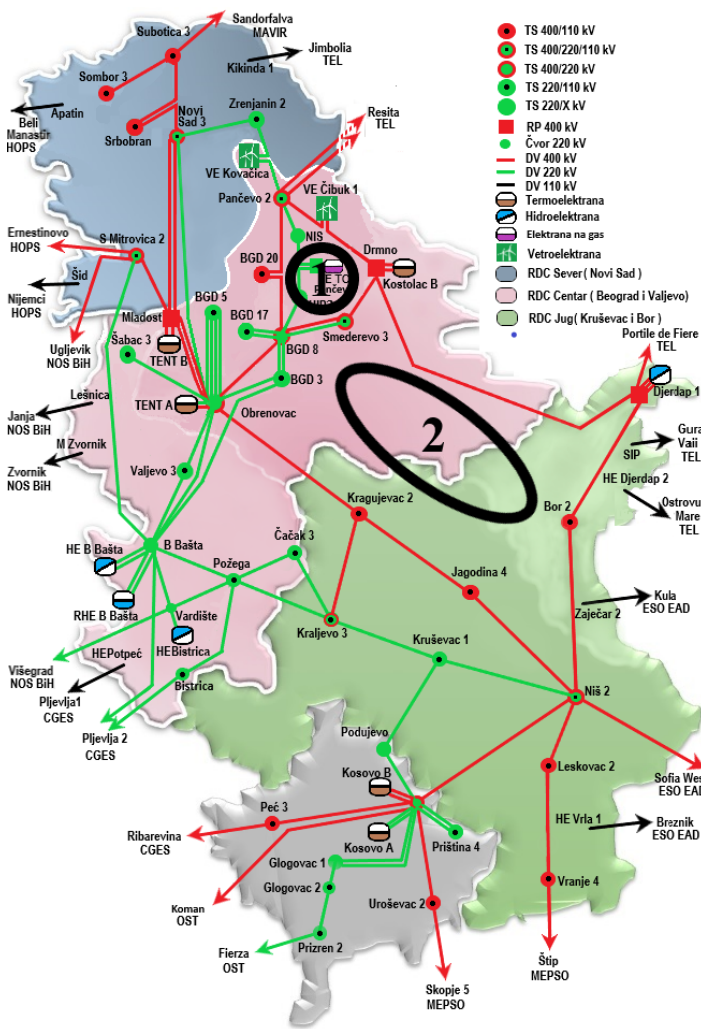
razvodnih postrojenja DC-a na navedena transformatorska razvodnih postrojenja elektroenergetskog sistema.

Transformator T1 se, na 400 kV nivou, povezuje sa vodnim poljem na kom je terminiran vod kojim je ostvarena veza RP "DC" i dodatnog vodnog polja 7 RP "Beograd 20" u prvom prstenu. Transformator T2 se na 400 kV nivou, povezuje sa vodnim poljem na kom je terminiran vod kojim je ostvarena veza RP "DC" i dodatnog vodnog polja 9 RP "Pančevo 2" u prvom prstenu. Između T1 i T2 je spojno polje koje transformatore povezuje na zajedničke 400 kV sabirnice ili raskida vezu između njih, zavisno od željenog uklopnog stanja. Transformator T3 se, na 400 kV nivou, povezuje sa vodnim poljem na kom je terminiran vod kojim je ostvarena veza razvodnog postrojenja data centra i dodatnog vodnog polja 7 RP "Beograd 8" u drugom prstenu. U normalnom režimu rada prekidači i rastavljači spojnog polja između transformatora T1 i T2 i transformatora T3 su otvoreni.

Slika 5 prikazuje navedene prstenove 1 i 2 elektroenergetskog sistema [5]. Redundansa napajanja data centra preko prstenova elektroenergetskog sistema ne podrazumijeva stalnu dostupnost dijela navedenih resursa (svih vodova i razvodnih postrojenja u prstenovima) za protok struje 228,68 A na 400 kV nivou i pri $\cos\phi=0,8$, već je dovoljna dostupnost samo po jednom prstenu (114,34 A preko RP "Beograd 20" i 114,34 A preko RP "Pančevo 2") ili drugom prstenu u slučaju nemogućnosti isporuke električne energije preko prvog prstena (228,68 A preko RP "Beograd 8").



Slika 4. Predlog povezivanja RP-a DC-a na EES



Slika 5. Prstenovi 1 i 2 u EES-u

III POVEZIVANJE OBJEKATA ZA PROIZVODNJU NA EES

Kao što je već navedeno, predviđena snaga vjetroelektrane je 240 MW, a lokacija je u mjestu "Bavanište". Da bi ovaj objekat, čija je proizvodnja električne energije najbitnija za funkcionisanje data centra, bio redundantno integrisan u elektroenergetski sistem, potrebno je novo transformatorsko razvodno postrojenje. Predlog realizacije ovog postrojenja podrazumijeva 2 transformatora 110/400 kV/kV snage po 300 MVA. Pozicija RP-a je odmah uz vjetroelektranu, a u 400 kV prstenu 1 i to između RP "Čibuk 1" i RP "Pančevo 2" kako je crvenim okvirom prikazano na slici 6. Postojeća RP "Čibuk 1" i "Pančevo 2" međusobno su povezana sa $2 \times 490/65 \text{ mm}^2/\text{mm}^2 \text{ Al/Ce}$ voda pa bi povezivanje novog razvodnog postrojenja vjetroelektrane sa oba razvodna postrojenja bilo ostvareno vodovima istih karakteristika. Osim vjetroelektrane, predviđena je izgradnja solarne i elektrane na deponijski gas. Kako su snage ovih elektrana znatno manje od snage vjetroelektrane, predviđeno je povezivanje istih na niži naponski nivo od naponskog nivoa vjetroelektrane tj. na 110 kV.

Na slici 7 prikazana su mjesta povezivanja solarne i elektrane na deponijski gas sa 110 kV sabirnicama RP "Beograd 20". Solarna

elektrana se povezuje na polje 10, dok je povezivanje elektrane na deponijski gas predviđeno redundantno i to na polja 3 i 19.



Slika 6. Pozicija vjetroelektrane i pripadajućeg transformatorskog RP

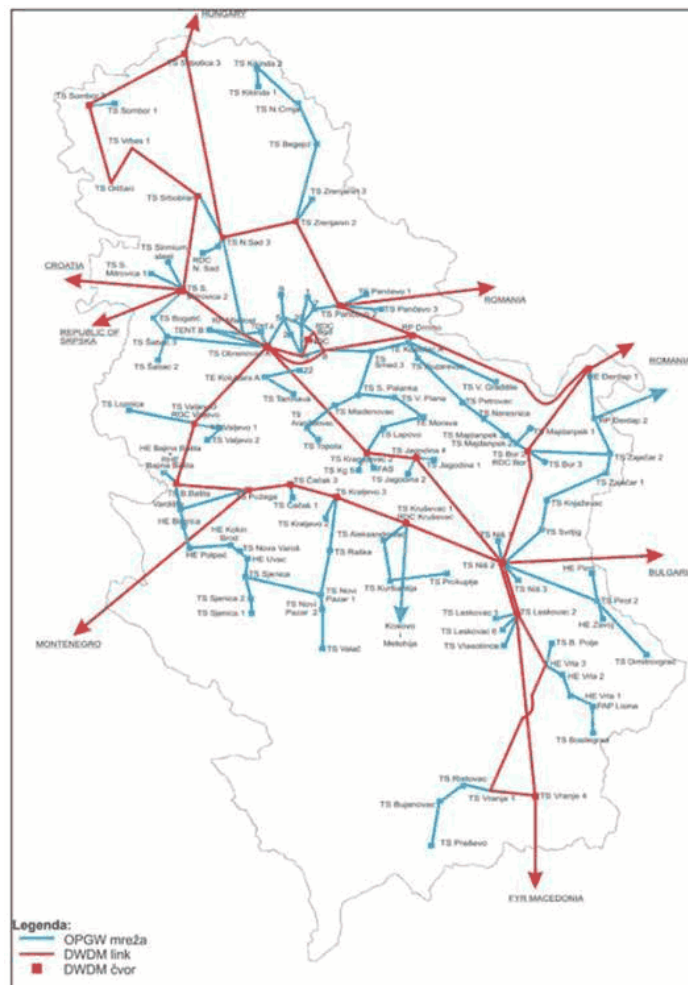


Slika 7. Polja 3, 10 i 19 RP "Beograd 20" na 110 kV nivou

Elektrana na deponijski gas je predviđena za napajanje prioritarnih potrošača DC-a u slučaju potpunog raspada elektroenergetskog sistema, kada prelazi u ostrvski režim rada [1]. Kako u tom slučaju postaje jedini izvor napajanja DC-a (ne računajući baterijske kapacitete koji su ograničenog trajanja) potrebno je ostvariti redundansu u vezi sa postrojenjem na koje je priključena. Polje 18 na 110 kV strani ovog postrojenja je spojno polje pa se povezivanjem elektrane na polja koja napajaju različiti transformatori (polje 3 napaja se sa transformatora 1, a polje 19 sa transformatora 3) postiže redundansa.

IV KOMUNIKACIONO POVEZIVANJE DATA CENTRA I OBJEKATA ZA PROIZVODNJU

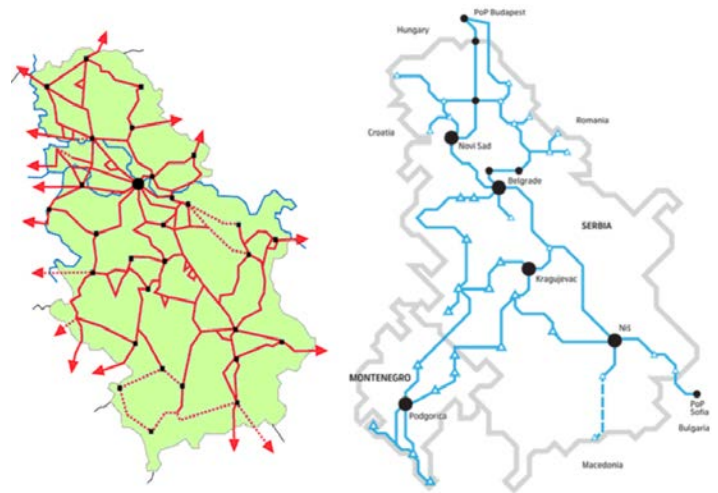
Da bi DC uopšte funkcionisao i njegovo postojanje imalo smisla, neophodno ga je komunikaciono povezati sa što većim brojem pristupnih tačaka što većeg proja telekomunikacionih mreža. U tu svrhu koriste se OPGW optički kablovi koji se monitiraju na istim stubovima kao i elektroenergetski vodovi i podzemni optički kablovi koji se polažu nezavisno od napojnih kablova. Komunikaciono povezivanje DC-a sa Elektromrežom Srbije (EMS) dovoljno je ostvariti preko 3 veze i to istim trasama kojima je predviđeno postavljanje napojnih vodova. Dakle, optička veza se ostvaruje iz DC-a prema razvodnim postrojenjima: "Beograd 20", "Pančevo 2" i "Beograd 8". Prema slici 8 [6], sva pomenuta RP-a su ujedno i *Dense Wavelengths Division Multiplex* (DWDM) čvorišta što omogućava velike brzine prenosa podataka po optičkim vlaknima terminiranim u ovim postrojenjima i primjenu savremenih protokola računarskih mreža.



Slika 8. Optička mreža EMS-a

Polaganjem optičkih kablova između DC-a i telekomunikacionih centara mrežnih provajdera u zemlji obezbeđuje se komunikaciona redundansa preko različitih mreža i povećava brzina prenosa informacija. Kao i u slučaju DWDM mreže EMS-a tako i kod mreža telekomunikacionih provajdera, organizacija

je u vidu redundantnih prstenova. Na slici 9 prikazane su mreže provajdera "Telekom Srbije" i "Telenor Srbija".



Slika 9. Optičke DWDM mreže provajdera: "Telekom Srbije" i "Telenor Srbija"

Osim komunikacione redundanse u unutrašnjosti navedenih mreža, vezama sa mrežama u susjednim zemljama omogućava se i redundansa na nivou regiona.

Povezivanje objekata za proizvodnju električne energije dovoljno je ostvariti preko OPGW veze sa mrežom EMS-a jer je komunikacija sa ovim objektima predviđena samo u svrhu funkcionalnosti samih objekata i EES-a, odnosno sistema nadzora, upravljanja i zaštite.

V ZAKLJUČAK

Predložena rešenja za dodavanje vodnih polja u RP-a EES-a u svrhu povezivanja RP "DC" sa dva različita prstena 400 kV naponskog nivoa omogućavaju realizaciju 2N+1 redundanse u snabdevanju DC-a električnom energijom iz mreže na ovom naponskom nivou. Pri normalnom uklopnom stanju, napajanje objekta se ostvaruje preko 2 transformatora povezana u prsten 1 i jednako raspoređenog opterećenja, dok treći transformator, povezan u prsten 2, napaja druge potrošače. Pri havarijskom režimu tj. nefunkcionisanju transformatora T1 i T2, transformator T3 služi za napajanje isključivo objekta DC-a. Potreban kapacitet prstena za napajanje DC-a pri normalnom uklopnom stanju i pri havarijskom režimu ne prelazi 22,2% dostupnog kapaciteta prstenova.

Objekte za proizvodnju električne energije potrebno je, zavisno od važnosti za stabilnost napajanja DC-a, povezati redundantno ili jednostruko na EES. Kako je predviđena snaga vjetroelektrane takva da prosječno ostvarena proizvodnja električne energije na nivou godine bude jednaka prosječnoj godišnjoj potrošnji električne energije DC-a, to je ovaj objekat od velike važnosti pa se povezuje redundantno u prsten 1 EES-a sa dva susjedna transformatorska postrojenja. Elektrana na deponijski gas, u slučaju raspada EES-a, ostrvski napaja prioritete potrošače DC-a tako da je važnost ovog objekta takođe veoma velika, zbog čega je predviđeno redundantno povezivanje na dva različita transformatora jednog RP-a. Solarna elektrana je predviđena kao

dodatni izvor električne energije i njena važnost je manja od prethodno pomenutih zbog čega je dovoljno jednostruko povezivanje ovog objekta u EES. Svi navedeni objekti su povezani u prsten 1.

Funkcionalnost servisa DC-a dolazi do potpunog izražaja kada se sam objekat poveže sa telekomunikacionim mrežama zemlje, a preko njih i sa mrežama u susjednim zemljama. Komunikacija između opreme u DC-u i opreme u mrežama ostvaruje se upotrebom DWDM tehnologije na fizičkom nivou prenosa informacija preko optičkih vlakana. To omogućava primjenu savremenih tehnologija računarskih mreža na višim nivoima TCP/IP arhitekture. Komunikaciono povezivanje objekata za proizvodnju električne energije dovoljno je ostvariti samo sa mrežom prenosnog sistema, jer je predviđen nivo upotrebe optičke infrastrukture ograničen na funkcionisanje samih objekata.

Izgradnjom novog RP "DC" i novog RP-a vjetroelektrane, EES dobija još dva snažna čvorišta na prostoru koji ima najveću potrebu za električnom energijom. Proširivanjem postojećih RP-a EES-a ostvaruje se dodatna povezanost između bitnih čvorišta. Komunikacionim povezivanjem DC-a sa mrežom EMS-a i mrežama telekomunikacionih provajdera ostvaruje se maksimalna dostupnost servisa koje ovaj objekat pruža.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Vujović, I., Đurišić, Ž. Idejno rešenje regionalnog Data Centra kod Beograda napajanog iz obnovljivih izvora energije, *Energija, Ekonomija, Ekologija*, Vol. 23, No. 3, pp. 10-17, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.10V>
- [2] Vujović, I., Stojanović, Z., Đurišić, Ž. Predlog realizacije razvodnih postrojenja velikih data centara, *Energija, Ekonomija, Ekologija*, Vol. 24, No. 1, pp. 1-7, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.01V>
- [3] Alučel užad, tipične konstrukcije JUS N.C1.351/85 standard, <http://www.e-projekt.co.rs/assets/files/Korisna%20stranka/AluCel%20uzad.pdf> [pristupljeno 25.04.2023]
- [4] Tabela: "Strujni limiti na visokonaponskim vodovima" - interni dokument kompanije: Elektromreža Srbije AD, kreiran 27.09.2021.
- [5] Akcionarsko društvo Elektromreža Srbije, <https://ems.rs/upravljanje-organizacija/> [pristupljeno 25.04.2023]
- [6] Strategija razvoja mreža nove generacije do 2023, Službeni glasnik republike Srbije broj 33/2018. <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/vlada/strategija/2018/33/1> [pristupljeno 25.04.2023]

AUTORI/AUTHORS

msr Ivan Vujović, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, vi205041p@student.etf.bg.ac.rs, ORCID [0000-0002-4108-6985](https://orcid.org/0000-0002-4108-6985)
dr Zoran Stojanović, redovni profesor, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, stojanovic@etf.rs, ORCID [0000-0003-2432-394X](https://orcid.org/0000-0003-2432-394X)
dr Željko Đurišić, vanredni profesor, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, djurisic@etf.rs, ORCID [0000-0003-2048-0606](https://orcid.org/0000-0003-2048-0606)

doi: 10.46793/EEE23-2.57G

Stručni rad

UDK 620.9:657.474.5

Novi model obračuna električne energije kupaca-proizvođača

New Model of Calculating Electricity of Prosumers

Dunja Grujić*, Miloš Kuzman**, Željko Đurišić***

*Elektro distribucija Srbije d.o.o. Beograd, Bulevar umetnosti 12, Novi Beograd

**Udruženje za pravo energetike Srbije, Pjarona De Mondezira 30, Beograd

***Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

Rezime - Prošlo je nekoliko godina od uvođenja instituta kupca-proizvođača u pravni sistem Republike Srbije. Razvoj regulatornog okvira i tehnologija fotonaponskih panela, kao i pad investicionih troškova i porast cene električne energije, rezultovali su velikim interesovanjem za izgradnju fotonaponskih sistema na komercijalnim i rezidencijalnim objektima u Republici Srbiji. Svedoci smo sve većeg broja zahteva za priključenje kupaca-proizvođača na distributivni sistem električne energije i generalno sve većeg ukupno instalisanog kapaciteta za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora od kog određen deo čine kupci-proizvođači. Postojećom zakonskom regulativom utvrđen je način obračuna električne energije kupaca-proizvođača. Regulativom je jasno uređen i način balansiranja električne energije kupaca-proizvođača, kao i odnos kupca-proizvođača sa snabdevačem odnosno operatorom distributivnog sistema električne energije. U stručnim krugovima česte su debate o tome da li je moguće izvršiti unapređenje postojećeg modela obračuna električne energije kupaca-proizvođača i puta na koji je ovo unapređenje moguće izvršiti. U ovom radu će biti prikazan novi model obračuna električne energije kupaca-proizvođača. Biće analizirana i postojeća zakonska regulativa kako bi se omogućilo unapređenje regulatornog okvira u svrhu implementacije predloženih rešenja. U okviru rada biće analiziran konkretan primer potrošnje električne energije prosečnog domaćinstva. Izvršiće se i analiza mogućnosti posmatranog domaćinstva za sticanje statusa kupca-proizvođača. Biće prikazan i uporedni prikaz obračuna električne energije kupcima-proizvođačima po postojećem zakonskom modelu obračuna električne energije kao i po modelu koji je prikazan u okviru ovog rada. Na kraju će biti analiziran uticaj predloženog alternativnog modela na kupca-proizvođača, snabdevača, balansno odgovorne strane i operatora distributivnog sistema kao i na njihove međusobne odnose.

Ključne reči - kupac-proizvođač, snabdevač električnom energijom, pristup distributivnom sistemu, balansiranje električne energije

Abstract - Several years have passed since the introduction of the institute of prosumer into the legal system of the Republic of Serbia. The development of regulatory framework and technologies of photovoltaic panels, as well as the decline in investment costs and the increase in electricity prices, have

resulted in a great interest in the construction of photovoltaic systems on commercial and residential buildings in the Republic of Serbia. We are witnessing an increasing number of requests for connection of prosumers to the electricity distribution system and generally an increasing total installed capacity for the production of electricity from renewable sources, of which a certain part consists of prosumers. The existing legislation establishes the method of calculating electricity of prosumers. The regulations clearly regulate the way of balancing electricity of prosumers, as well as the relationship between the prosumer with the supplier or operator of the electricity distribution system. In expert circles, there are frequent debates about whether it is possible to improve the existing model of electricity calculation of prosumers and the way on which this improvement can be carried out. This paper will present a new model of calculating electricity of prosumers. Existing legislation will also be analysed in order to enable the improvement of the regulatory framework for the purpose of implementing the proposed solutions. The paper will analyse an example of electricity consumption at the level of a household. There will also be an analysis of the possibilities of the observed household for acquiring the prosumer status. A comparative overview of the calculation of electricity to prosumers will be presented according to the existing legal model of electricity calculation as well as the model that is presented within this paper. Finally, the impact of the proposed alternative model on the prosumer, supplier, balance-responsible party and distribution system operators will be analysed, as well as their mutual relations.

Index Terms - Prosumer, Electricity supplier, Access to the distribution system, Electricity balancing

1 UVOD

Izmenama i dopunama Zakona o energetici [1] iz 2021. godine definisani su novi korisnici sistema i novi učesnici na tržištu među kojima i kupac-proizvođač. Kupac-proizvođač je određen kao krajnji kupac koji je na unutrašnje instalacije priključio sopstveni objekat za proizvodnju električne energije (u daljem tekstu: el. en) iz obnovljivih izvora energije, pri čemu se proizvedena el. en. koristi za snabdevanje sopstvene potrošnje, a višak proizvedene el. en. predaje u prenosni sistem (u daljem tekstu: PEES), distributivni sistem (u daljem tekstu: DEES),

odnosno zatvoreni DEES. [1,2,3] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora [2] dodatno propisuje prava i obaveze kupaca-proizvođača, a na osnovu njega je doneta i Uredba o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanja i obaveza između kupca – proizvođača i snabdevača [3] koja bliže definiše odnose kupaca-proizvođača, snabdevača, balansno odgovornih strana (u daljem tekstu: BOS) i operatora distributivnog sistema (u daljem tekstu: ODS).

Do dana pisanja ovog rada prošlo je više od godinu dana od priključenja prvog kupca-proizvođača na DEES [4]. U datom periodu uočeni su brojni izazovi za kupca-proizvođača, snabdevača, BOS, kao i za ODS, koji će biti razmatrani u okviru ovog rada. Takođe, biće dat predlog za unapređenje obračuna za kupce-proizvođače u korist svih učesnika na tržištu i sam DEES.

II STICANJE STATUSA KUPCA-PROIZVOĐAČA

U skladu sa trenutno važećom regulativom u Republici Srbiji status kupca-proizvođača mogu steći svi krajnji kupci. Kupci-proizvođači prema uslovima za priključenje i načinu snabdevanja dele se na domaćinstva, stambene zajednice i ostale. Sva domaćinstva, kao i kupci proizvođači iz kategorije ostali, sa proizvodnim objektom instalisane snage do 10,8 kW imaju pravo na pojednostavljenu proceduru za priključenje na DEES. [2, 3, 5] Procedure za priključenje ostalih kupaca-proizvođača na DEES definisani su propisima i internim aktima ODS. [2, 3, 5, 6]

2.1 Proizvodni objekat kupca-proizvođača

Kako bi krajnji kupac stekao status kupca-proizvođača potrebno je, između ostalog, da izgradi proizvodni objekat iz obnovljivih izvora čija instalirana snaga nije veća od odobrene snage priključka¹ objekta krajnjeg kupca. Neophodno je da proizvodni objekat i merno mesto ispunjavaju sve tehničke i bezbednosne zahteve u skladu sa Pravilima o radu DEES. [7]

Proizvodni objekat kupca-proizvođača može biti bilo koji proizvodni objekat iz obnovljivih izvora (kao što su solarna elektrana, vetroelektrana, hidroelektrana, elektrana na biomasu). Investitori se najčešće odlučuju da grade solarnu elektranu zbog izuzetno povoljnih prirodnih uslova za proizvodnju el. en. iz energije sunca na teritoriji Republike Srbije, relativno malih investicionih troškova, kao i jednostavnosti eksploatacije. Svi kupci-proizvođači priključeni na DEES do trenutka pisanja ovog rada (1.338 kupaca-proizvođača, od čega 1 stambena zajednica, 997 domaćinstava i 340 ostalih)² su za svoj proizvodni objekat izabrali upravo solarnu elektranu. [4]

Kupac-proizvođač koji je domaćinstvo, ili kupac proizvođač iz kategorije ostalih, svoj proizvodni objekat priključuje na svoju unutrašnju instalaciju. U slučaju kupca-proizvođača koji je stambena zajednica proizvodni objekat se priključuje direktno na DEES posebnim priključkom, a proizvedena el. en. se deli na članove stambene zajednice u skladu sa njihovim međusobnim ugovorom o podeli el. en. [2, 3]

2.2 Pristup DEES i balansna odgovornost kupaca-proizvođača

S obzirom na to da je kupac-proizvođač definisan kao korisnik DEES i učesnik na tržištu el. en, on ima obavezu uređenja pristupa DEES i balansne odgovornosti. [1]

U postupku sticanja statusa kupca-proizvođača, svi kupci-proizvođači sa izabranim snabdevačem zaključuju ugovore o potpunom snabdevanju. Potpuno snabdevanje je prodaja el. en. kod koje količina el. en. za obračunski period³ nije utvrđena ugovorom o snabdevanju, već krajnji kupac⁴ ima pravo da odredi količinu, na osnovu ostvarene potrošnje na mestu primopredaje. Snabdevač je dužan da pre početka snabdevanja za mesta primopredaje koja snabdeva po ugovoru o potpunom snabdevanju reguliše pristup i balansnu odgovornost. [1]

Pristup DEES se reguliše ugovorom o pristupu koje zaključuju ODS i korisnik DEES, u ovom konkretnom slučaju snabdevač. Ugovor o pristupu, pored elemenata utvrđenih zakonom kojim se uređuju obligacioni odnosi, sadrži: podatke o mestu primopredaje, snagu na mestu primopredaje, obračunski period i način obračuna pristupa DEES. Balansna odgovornost se reguliše zaključenjem ugovora o balansnoj odgovornosti snabdevača sa OPS ili ugovorom o prenosu balansne odgovornosti sa drugom BOS. [1, 9]

Domaćinstva i stambene zajednice imaju pravo na zaključenje ugovora o potpunom snabdevanju sa neto merenjem, a kupci proizvođači iz kategorije ostalih sa neto obračunom sa izabranim snabdevačem. [1, 2, 3] Domaćinstva i mali kupci imaju pravo na garantovano snabdevanje po regulisanim cenama koje su značajno niže od tržišnih, dok svi ostali krajnji kupci imaju obavezu zaključenja ugovora o snabdevanju sa komercijalnim snabdevačima. [1]

III TRENUTNI NAČIN OBRAČUNA ZA KUPCE-PROIZVOĐAČE

3.1 Potrošnja i proizvodnja el. en. kupca-proizvođača

Kupac-proizvođač svoje potrebe za el. en. prvenstveno obezbeđuje iz proizvodnje sopstvenog proizvodnog objekta. Ukoliko proizvodnja ne može da zadovolji energetske potrebe kupca-proizvođača on ima pravo preuzimanja el. en. iz DEES. U periodima kada proizvodnja kupca-proizvođača premašuje njegove energetske potrebe, on ima pravo isporuke el. en. u DEES. [2, 3]

Kupci-proizvođači imaju pravo da instaliraju skladište el. en. u koje će skladištiti el. en. koju proizvede njihov proizvodni objekat, a za kojim u datom trenutku nemaju potrebe, i koristiti je kasnije kada bude bilo potrebe. [2, 3]

Prema trenutno važećoj regulativi, ukupno proizvedena el. en. proizvodnih objekata kupaca-proizvođača, kao i uskladištena el. en. se ne meri, već se procenjuje na godišnjem nivou. [10] Isključivo se vrši merenje preuzete i isporučene el. en. u DEES mernim uređajem [11] koji ODS postavlja na liniju razgraničenja odgovornosti ODS i kupca-proizvođača [1, 2, 3, 12]. Merni uređaj, između ostalog, meri preuzetu i isporučenu el. en. na petnaestominutnom nivou i ima mogućnost daljinskog očitavanja.

¹ Odobrenu snagu određuje ODS u postupku priključenja na zahtev krajnjeg kupca.

² Prikazano je stanje na dan 03.05.2023. godine.

³ Obračunski period je po pravilu kalendarski mesec. [8]

⁴ Kupac-proizvođač je definisan kao krajnji kupac [1,2,3] te navedeno važi i za kupca-proizvođača.

3.2. Način obračuna el. en. kupcima-proizvođačima

ODS do dvanaestog dana tekućeg meseca za prethodni prikuplja podatke o preuzetoj i isporučenoj el. en. kupaca-proizvođača u DEES na osnovu očitavanja brojila el. en. koje ispunjava propisane metrološke zahteve. [1] Na osnovu pomenutih podataka ODS obračunava snabdevaču naknadu za pristup DEES za preuzetu el. en, za svakog kupca-proizvođača pojedinačno. [8]

Date podatke ODS prosleđuje snabdevaču koji na osnovu njih izdaje račune kupcima-proizvođačima. Snabdevač pre svega računa razliku ukupne preuzete i ukupne isporučene el. en. kupca-proizvođača u DEES u toku obračunskog perioda (u daljem tekstu: Neto el. en), utvrđene u kWh po vremenima primene tarifa za aktivnu el. en. [2, 3, 8]

Obračun el. en. kupcima-proizvođačima koji su domaćinstva ili stambene zajednice vrši se u skladu sa ugovorom o potpunom snabdevanju sa neto merenjem. Neto merenje je način obračuna Neto el. en, pri kome se viškom isporučene el. en, u toku jednog meseca, umanjuje Neto el. en. u toku narednog meseca. Višak el. en. se može preneti na naredne obračunske periode u okviru Perioda za poravnanje potraživanja i obaveza između kupca – proizvođača i snabdevača (u daljem tekstu: Period za poravnanje potraživanja), a ne može uticati na prethodne obračunske periode. Period za poravnanje potraživanja predstavlja period od jedne godine koja traje od 1. aprila tekuće godine zaključno sa 31. martom naredne godine. Ukoliko po isteku Perioda za poravnanje potraživanja postoji višak el. en. kupac-proizvođač ga predaje snabdevaču bez naknade. [2, 3]

Ostalim kupcima-proizvođačima obračun el. en. vrši se u skladu sa ugovorom o potpunom snabdevanju sa neto obračunom. Neto obračun je način obračuna Neto el. en, pri kome se vrednost viška isporučene el. en, u toku jednog meseca obračunava i naplaćuje na osnovu ugovora između kupca-proizvođača i snabdevača. [2, 3]

U okviru ovog rada na primeru kupca-proizvođača koji je domaćinstvo, kao i na primeru kupca proizvođača iz kategorije ostalih, biće dat pregled trenutnog kao i predlog novog načina obračuna el. en. Kupci-proizvođači koji su stambene zajednice neće biti razmatrani s obzirom na to da celokupnu proizvedenu

el. en. fizički isporučuju u DEES, koja se kasnije samo obračunski deli na članove stambene zajednice.

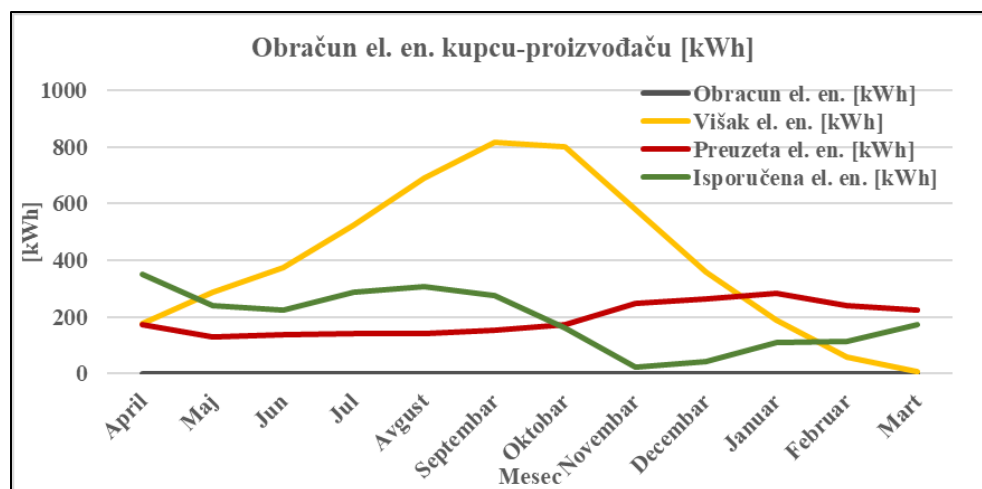
Primer obračuna putem neto merenja

Prosečna potrošnja domaćinstava u Republici Srbiji na garantovanom snabdevanju u 2022. godini na mesečnom nivou iznosila je 336 kWh [13], odnosno 4.032 kWh godišnje. Za potrebe ovog rada pretpostavljeno je da godišnji dijagram potrošnje domaćinstava izgleda identično dijagramu opterećenja DEES. [14]

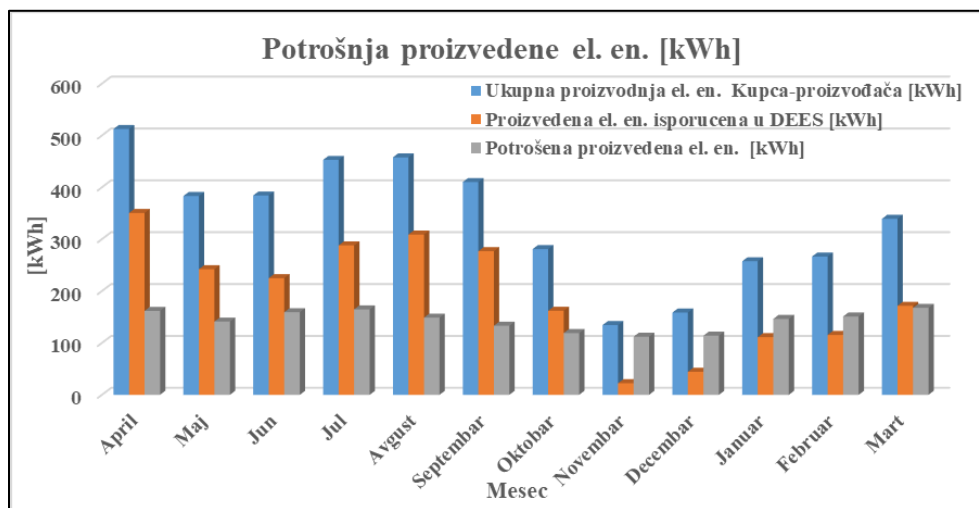
S obzirom na način obračuna koji je opisan u delu 3.2 neophodno je odrediti potrebnu snagu solarne elektrane kako se el. en. ne bi predavala snabdevaču bez naknade na kraju Perioda za poravnanje potraživanja. Optimalno je da ukupna proizvodnja solarne elektrane kupca-proizvođača bude jednaka njegovoj godišnjoj potrošnji. Pomoću programskog paketa PVGIS [15] određeno je da je optimalna snaga solarne elektrane za posmatrano prosečno domaćinstvo 3,2 kW. Iz PVGIS preuzeti su podaci o satnoj proizvodnji posmatrane solarne elektrane na godišnjem nivou.

Poređenjem satne potrošnje i satne proizvodnje kupca-proizvođača izračunata je razmena el. en. sa DEES, odnosno preuzeta i isporučena el. en. Na osnovu pomenutih podataka izračunata je Neto el. en, kao i višak el. en, koje snabdevač obračunava kupcu-proizvođaču na nivou svakog obračunskog perioda u toku Perioda za poravnanje potraživanja. Obračun el. en, višak el. en. kao i ukupno preuzeta, odnosno isporučena el. en. kupca-proizvođača prikazani su na slici 1.

Sa slike 1 primećuje se da je instalisana snaga proizvodnog objekta optimalna, tj. višak koji je snabdevaču predat bez naknade je minimalan, dok u toku Perioda za poravnanje potraživanja snabdevač nije ni u jednom obračunskom periodu obračunao Neto el. en. kupcu-proizvođaču. Takođe, zaključuje se da je Period za poravnanje potraživanja od 01. aprila do 31. marta opravdan za potrebe kupca-proizvođača. Naime, već u aprilu proizvodnja el. en. je veća od potrošnje te se višak akumulira sve do oktobra kada potrošnja postaje veća od proizvodnje i višak počinje da se umanjuje.[16]



Slika 1. Obračun el. en, višak el. en. kao i ukupno preuzeta, odnosno isporučena el. en. kupca-proizvođača [kWh]



Slika 2. Pregled udela potrošene el. en. i isporučene el. en. u DEES od ukupno proizvedene el. en. kupca-proizvođača [kWh]

Na slici 2, prikazana je raspodela proizvedene el. en. kupca-proizvođača i to udeo koji je potrošen u objektu kupca-proizvođača, kao i udeo isporučene el. en. u DEES, po mesecima.

Može se primetiti da kupac-proizvođač koji je prosečno domaćinstvo tek oko 43% proizvedene el. en. potroši u trenutku proizvodnje, dok ostatak isporuči u DEES. Ovaj procenat je još niži kod kupaca-proizvođača koji su domaćinstva sa većom potrošnjom (npr. sa grejanjem na el. en.). S obzirom na veću potrošnju el. en, naročito u zimskom periodu, potrebna im je solarna elektrana veće instalisane snage, koja će dominantno proizvoditi el. en. u letnjem periodu, pri čemu će se od aprila do oktobra akumulirati višak koji će se koristiti u zimskom periodu. Dakle, iskorišćenje proizvedene el. en. u trenutku proizvodnje u ovim slučajevima pada i ispod 20%.

Primer obračuna putem neto obračuna

U slučaju kupca-proizvođača koji nisu domaćinstva i stambene zajednice očekivana je veća potrošnja el. en. a samim tim i proizvodni objekti većih instalisanih snaga. U slučaju neto obračuna, zbog perioda za poravnanje potraživanja, optimalna snaga proizvodnog objekta se određuje kako je opisano u prethodnom delu. Međutim, s obzirom na veće potrebe za el. en. i ograničenu površinu objekata na koje se može postaviti proizvodni objekat, obično njegova proizvodnja pokriva samo jedan manji deo potrošnje, i isporuka u DEES je značajno manja, ili ne postoji, tj. iskorišćenje proizvedene el. en. u okviru objekta kupca-proizvođača je značajno više (čak i do 100%).

Prema trenutnoj regulativi kupac-proizvođač i snabdevač slobodno ugovaraju cenu el. en. po kojoj snabdevač prodaje el. en. i po kojoj otkupljuje el. en. od kupca-proizvođača, te konkretne cene neće biti razmatrane jer zavise od volje ugovornih strana i tržišnih uslova.

IV UTICAJ KUPACA-PROIZVOĐAČA NA OSTALE UČESNIKE NA TRŽIŠTU

S obzirom na to da kupac-proizvođač može graditi proizvodni objekat isključivo iz obnovljivih izvora energije u skladu sa važećom regulativom, može se zaključiti da kupci-proizvođači

značajno doprinose energetskej tranziciji i promeni energetskeg miksa Republike Srbije [17].

Prema trenutno važećoj regulativi, troškovima izgradnje solarnih elektrana, načinu obračuna i cenama el. en, period povrata investicije za solarne elektrane je između 3 i 15 godina. Duži period otplate imaju kupci-proizvođači na garantovanom snabdevanju (domaćinstva i mali kupci) zbog niske regulisane cene el. en. i malog stepena iskorišćenja proizvedene el. en. u objektu kupca-proizvođača (kako je opisano u poglavlju 3.2.1). Kraći period otplate imaju krajnji kupci koji imaju višu cenu el. en. (krajnji kupci koji nemaju pravo na garantovano snabdevanje) i značajniji stepen iskorišćenja proizvedene el. en. u objektu kupca-proizvođača.

Prethodno je zaključeno pod pretpostavkom da je instalisana snaga proizvodnog objekta kupca-proizvođača optimalna, ili manja od optimalne. Ukoliko je snaga veća od optimalne, značajna količina el. en. se predaje snabdevaču bez nadoknade na kraju Perioda za poravnanje potraživanja, te je i period povrata investicije duži.

Prosečni životni vek solarnih elektrana je oko 25 godina. Dakle, nakon povrata investicije, celokupna proizvodnja solarne elektrane je ušteda, odnosno prihod kupca-proizvođača.

Sledstveno, može se zaključiti da je, sa aspekta povrata investicije, ušteda i dodatnih prihoda, kupcima-proizvođačima u interesu da instaliraju proizvodni objekat optimalne snage (ili manje snage od optimalne), i da u što većem obimu koriste proizvedenu el. en. iz svog proizvodnog objekta za sopstvene potrebe odnosno da što manje el. en. isporučuju u DEES.

4.1 Uticaj kupca-proizvođača na snabdevače i BOS

S obzirom na to da svoje energetske potrebe kupci-proizvođači prvenstveno pokrivaju iz proizvodnje sopstvenog proizvodnog objekta iz obnovljivih izvora energije, dijagram njihove potrošnje i proizvodnje el. en. često je teško predvidiv.

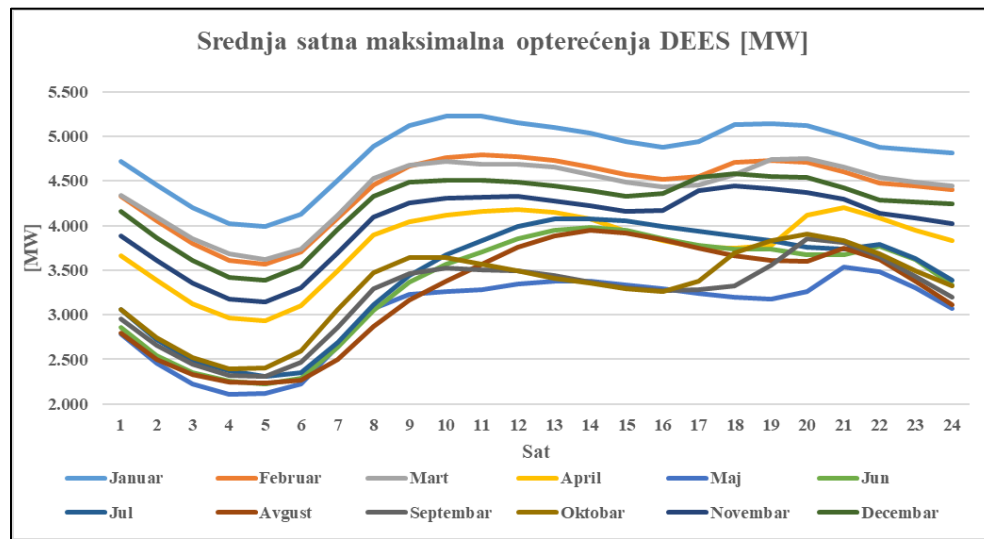
Pre svega neophodno je izvršiti prognozu proizvodnje proizvodnog objekta (uglavnom solarne elektrane) koja zavisi od niza faktora kao što su resursi solarne energije na ciljnoj

mikrolokaciji, karakteristike elektrane i ambijentalni uslovi. [18] Nakon toga potrebno je izvršiti prognozu potrošnje el. en. kupca-proizvođača a zatim izvršiti prognozu koji deo potrošnje el. en. će se preuzeti iz DEES, koji deo proizvedene el. en. će biti potrošen u objektu kupca-proizvođača, kao i koji će deo biti isporučen u DEES. Opisane prognoze su neophodne kako bi snabdevači i BOS mogli optimalno da funkcionišu i to:

- snabdevači kako bi znali koliko bi el. en. trebalo da nabave za kupca-proizvođača, kao i koliko će el. en. od njega preuzeti jer će tu el. en. moći da prodaju drugom učesniku na tržištu (npr. drugom kupci-proizvođaču ili krajnjem kupcu),
- BOS kako bi optimizovali troškove debalansa svoje balansne grupe.

4.2 Uticaj kupaca-proizvođača na ODS

Priključenjem novih korisnika DEES (veliki broj proizvođača el. en. naročito iz varijabilnih izvora energije [19], kupaca-proizvođača [4], kao i u budućnosti prvih skladišta i punionica električnih vozila) DEES postaje dinamičan sistem u kom su tokovi snaga sve manje predvidivi. Navedeno rezultuje otežanim upravljanjem DEES, izazovima vezanim za regulaciju frekvencije i napona, povećanim angažovanjem elemenata DEES, kao i gubitaka el. en. Pored toga, kako bi se omogućilo priključenje novih korisnika DEES, usled velikog opterećenja DEES i njegovih nedovoljnih kapaciteta, potrebne su dodatne investicije u DEES, čiji iznos često nije beznačajan. Na slici 3 prikazan je dijagram srednjih satnih opterećenja DEES u 2022. godini. [14]



Slika 3. Srednja satna maksimalna opterećenja DEES u 2022. [MW] [14]

Može se primetiti da je DEES najopterećeniji u periodu od 17-21h, kao i u periodu 08-12 h, dok se u letnjem periodu primećuje veće opterećenje u periodu 11-18 h usled korišćenja rashladnih sistema. Ukoliko bi se veliki broj kupaca-proizvođača priključio na DEES (naročito značajno ukoliko su lokalizovani na maloj površini, npr. priključeni na jednoj transformatorskoj stanici) i mali procenat proizvedene el. en. koristio za sopstvenu potrošnju a ostatak isporučivao u DEES, DEES bi bio značajno opterećen. Pojavio bi se problem zagušenja i otežane evakuacije el. en. u periodu u kom solarne elektrane proizvode el. en. Takođe, cena el. en. na tržištu bi u tim satima bila veoma niska (već su postojali dani u kojima je u tim satima cena bila 0 €/MWh [20], a očekuju se u skoroj budućnosti i negativne vrednosti).

Sve navedeno negativno utiče na DEES, na druge korisnike DEES, ali i same kupce-proizvođače jer će produžiti period povrata investicije, smanjiti prihode i onemogućiti priključenje drugih proizvodnih objekata bez značajnih investicija.

Pored toga, trenutni koncept obračuna putem neto merenja za kupce-proizvođače koji su domaćinstva podstiče grejanje na el. en. i to u višoj tarifi. Proizvodni objekti koji su solarne elektrane proizvode el. en. najviše u toku prelaznog i letnjeg perioda, danju tj. u višoj tarifi, tako da će se višak javljati u višoj tarifi. Višak će

kupci-proizvođači moći da troše u višoj tarifi u zimskom periodu, kada je DEES inače preopterećen.

Kako bi se opisani problemi sprečili, odnosno smanjili, i kako bi se omogućili povoljni uslovi za dalji razvoj proizvodnje el. en. na DEES, u okviru ovog rada predložen je nov način obračuna za kupce-proizvođače. Novim načinom obračuna i predlozima za budući rad kupaca-proizvođača, kupci-proizvođači bi doprinosili radu DEES, a isto tako donosili i dodatne prihode snabdevačima, BOS, kao i sebi samima.

V PREGLED TROŠKOVA I PRIHODA U VEZI SA KUPCIMA-PROIZVOĐAČIMA

Kako sve opisano u poglavlju IV ne bi dovelo do usporavanja energetske tranzicije, tj. kako bi kupci-proizvođači dodatno ubrzali energetska tranziciju, u okviru ovog rada dat je predlog za unapređenje obračuna el. en. kupcima-proizvođačima. Cilj predloženog načina obračuna je podsticanje kupaca-proizvođača da racionalnije troše el. en. iz DEES, u većem obimu koriste el. en. proizvedenu iz sopstvenog proizvodnog objekta i smanje isporuku el. en. u DEES. Na taj način bi povećali svoje uštede, odnosno prihode i period povrata investicije bi bio kraći. Takođe, snabdevači i BOS bi mogli lakše da posluju i da optimizuju svoje

troškove i povećaju prihode. ODS bi imao manje gubitke el. en. bio manje opterećen, olakšalo bi se upravljanje DEES i odložile velike investicije u DEES.

Kako bi rezultati novog načina obračuna bili merljivi biće prikazani prihodi i troškovi po trenutnom modelu obračuna.

U okviru ovog rada posmatran je jedan kupac-proizvođač koji, na godišnjem nivou, iz svog proizvodnog objekta potroši količinu el. en. A , u DEES isporuči količinu el. en. B i iz DEES preuzme količinu el. en. C . Dakle, njegova ukupna potrošnja je $A+C$, a ukupna proizvodnja $A+B$. Razmatran je kupac-proizvođač koji je optimalno dimenzionisao svoju solarnu elektranu tako da je isporučena el. en. jednaka preuzetoj el. en. na godišnjem nivou tj. $B=C$.

Pretpostavke su da je prosečna cena pristupa DEES M , cena pristupa PEES P , prosečni trošak gubitaka po kWh G^5 , cena el. en. po kojoj je snabdevač nabavlja i prodaje el. en. E^6 , trošak balansiranja po kWh el. en. L .

U narednim formulama svi prihodi biće prikazani sa pozitivnim predznakom, a troškovi sa negativnim. Takođe, u okviru prihoda i troškova neće biti razmatrane takse i naknade (PDV, akciza, naknada za podsticaj povlašćenih proizvođača el. en, naknada za unapređenje energetske efikasnosti).

Pored navedenog, treba imati u vidu da kupac-proizvođač ima i trošak početne investicije u solarnu elektranu i eventualno skladište, ukoliko se odluči na korišćenje te mogućnosti.

5.1 Troškovi i prihodi u vezi sa krajnjem kupcem kao korisnikom DEES

Pre svega biće analizirani troškovi i prihodi u vezi sa predmetnim kupcem-proizvođačem kao krajnjem kupca:

- ODS snabdevaču obračunava pristup DEES za ukupnu preuzetu el. en. $(A+C)$. ODS ima trošak pristupa PEES za el. en. $(A+C)$, kao i trošak gubitaka. Prihodi i troškovi ODS (ODS_{tm}^{kk}) su:

$$ODS_{tm}^{kk} = (A+C) \cdot M - (A+C) \cdot G - (A+C) \cdot P \quad (1)$$

- Snabdevač krajnjem kupcu za ukupnu utrošenu el. en. $(A+C)$ obračunava el. en. i pristup DEES, pri čemu snabdevač ima trošak pristupa DEES, nabavke el. en. i balansiranja. Prihodi i troškovi snabdevača (S_{tm}^{kk}) su:

$$S_{tm}^{kk} = -(A+C) \cdot M - (A+C) \cdot E + (A+C) \cdot M + (A+C) \cdot E - (A+C) \cdot L = -(A+C) \cdot L \quad (2)$$

- Krajnji kupac za ukupnu utrošenu el. en. $(A+C)$ ima trošak za el. en. kupljenu od snabdevača i pristup DEES. Prihodi i troškovi krajnjeg kupca (KS_{tm}^{kk}) su:

$$KS_{tm}^{kk} = -(A+C) \cdot M - (A+C) \cdot E \quad (3)$$

⁵ Uračunata je cena gubitaka po kWh i % tehničkih gubitaka izazvan protokom el. en.

⁶ Pretpostavljeno je da je nabavna cena el. en. identična prodajnoj kako bi se proračuni što jednostavnije prikazali. U praksi je prodajna cena obično veća od nabavne, te će snabdevač u praksi imati veće prihode od prikazanih u ovom radu.

5.2 Troškovi i prihodi u vezi sa kupcem-proizvođačem

U nastavku biće analizirani troškovi i prihodi u vezi sa prethodno opisanim krajnjim kupcem nakon sticanja statusa kupca-proizvođača sa neto merenjem:

- ODS za ukupnu preuzetu el. en. iz DEES (C) snabdevaču obračunava pristup DEES. Za predmetnu el. en. ODS ima trošak pristupa PEES i gubitaka. U proračunu je uvažena i činjenica da će el. en. koju kupac-proizvođač isporučiti u DEES (B) ODS isporučiti drugom korisniku DEES kom će obračunati pristup DEES a da pritom ODS ima samo trošak gubitaka, a ne i trošak pristupa PEES. Dakle, prihodi i troškovi ODS (ODS_{tm-nm}^{kp}) su:

$$ODS_{tm-nm}^{kp} = C \cdot M - C \cdot G - B \cdot G - C \cdot P + B \cdot P = C \cdot M - 2C \cdot G \quad (4)$$

- Snabdevač za ukupnu preuzetu el. en. (C) obračunava kupcu-proizvođaču pristup DEES, pri čemu snabdevač ima trošak pristupa DEES, nabavke el. en. (C) i balansiranja za el. en. $(B+C)$. Pored toga, uvažena je činjenica da el. en. koju kupac-proizvođač isporučiti u DEES (B) snabdevač može prodati drugom krajnjem kupcu. Takođe, snabdevač ima prihod i od obračunate Neto el. en. $(C-B)$ ali je u okviru ovog rada usvojena pretpostavka da je (C) jednako (B) te je ona jednaka nuli. Dakle, prihodi i troškovi snabdevača (S_{tm-nm}^{kp}) su:

$$S_{tm-nm}^{kp} = -C \cdot M - C \cdot E + C \cdot M + B \cdot E + (C-B) \cdot E - (B+C) \cdot L = -2C \cdot L \quad (5)$$

- Kupac-proizvođač ima trošak pristupa DEES za preuzetu el. en. (C) i za Neto el. en. $(C-B)$ koja je uz usvojene pretpostavke jednaka nuli. Prihodi i troškovi kupca-proizvođača (KS_{tm-nm}^{kp}) su:

$$KS_{tm-nm}^{kp} = -C \cdot M - (C-B) \cdot E = -C \cdot M \quad (6)$$

U slučaju neto obračuna kupac-proizvođač i snabdevač slobodno ugovaraju cenu po kojoj snabdevač prodaje, odnosno otkupljuje el. en. U okviru ovog rada pretpostavićemo da je cena po kojoj snabdevači otkupljuju el. en. $0,8 \cdot E$ (gde je E cena el. en. po kojoj snabdevači prodaju el. en. kupcu-proizvođaču). Troškovi, odnosno prihodi ODS ostaju nepromenjeni u odnosu na neto merenje.

Snabdevač ima identične prihode i troškove kao u slučaju neto merenja, s tim što kupcu-proizvođaču ukupnu preuzetu el. en. (C) obračunava po ceni E (dodatni prihod), a celu isporučenu el. en. plaća po ceni $0,8 \cdot E$ (dodatni trošak). Ukupni troškovi i prihodi snabdevača (S_{tm-no}^{kp}) prikazani su sledećom formulom:

$$S_{tm-no}^{kp} = -C \cdot M - C \cdot E + C \cdot M + B \cdot E + C \cdot E - B \cdot 0,8 \cdot E - L \cdot (C+B) = 0,2 \cdot C \cdot E - L \cdot (C+B) \quad (7)$$

Kupac-proizvođač sa neto obračunom u odnosu na onog sa neto merenjem ima dodatni trošak za celokupnu preuzetu el. en. (C) po ceni E , kao i dodatni prihod za isporučenu el. en. (B), po ceni $0,8 \cdot E$. Troškovi i prihodi posmatranog kupca-proizvođača (KS_{tm-no}^{kp}) su:

$$KS_{tm-no}^{kp} = -C \cdot M - C \cdot E + B \cdot 0,8 \cdot E = -C \cdot M - 0,2 \cdot C \cdot E \quad (8)$$

5.3 Poređenje troškova i prihoda u vezi sa krajnjim kupcem i kupcem-proizvođačem kao korisnikom DEES

Iz prethodno navedenog može se zaključiti da snabdevač ima samo troškove balansiranja i u slučaju krajnjeg kupca i u slučaju kupca-proizvođača sa neto merenjem.

$$S_{tm-nm}^{kp} - S_{tm}^{kk} = -2 \cdot C \cdot L - (-(A + C) \cdot L) = (A - C) \cdot L \quad (9)$$

U odnosu na neto merenje, u slučaju neto obračuna snabdevač ima dodatni prihod od $0,2 \cdot E \cdot C$.

$$S_{tm-no}^{kp} - S_{tm-nm}^{kp} = 0,2 \cdot C \cdot E - 2 \cdot C \cdot L + 2 \cdot C \cdot L = 0,2 \cdot C \cdot E \quad (10)$$

Krajnji kupac sticanjem statusa kupac-proizvođač sa neto merenjem, uz instaliranje optimalno dimenzioniranog proizvodnog objekta, ima smanjene troškove za pristup DEES za el. en. koju je potrošio iz svog proizvodnog objekta, kao i za celokupnu utrošenu el. en. $(A+C)$ koju je kao krajnji kupac kupovao od svog snabdevača:

$$\begin{aligned} KS_{tm-nm}^{kp} - KS_{tm}^{kk} &= -C \cdot M - [-(A + C) \cdot M - (A + C) \cdot E] \\ &= A \cdot M + (A + C) \cdot E \end{aligned} \quad (11)$$

Razlika za kupca-proizvođača sa neto obračunom i neto merenjem je sledeća:

$$\begin{aligned} KS_{tm-no}^{kk} - KS_{tm-nm}^{kk} &= -C \cdot M - 0,2 \cdot C \cdot E - (-C \cdot M) \\ &= -0,2 \cdot C \cdot E \end{aligned} \quad (12)$$

ODS ima povećanje ušteda/prihoda za pristup PEES za el. en. (A) i (B)⁷, kao i za gubitke za el. en. (A) tj. nema troškova gubitaka za el. en. koju je proizveo kupac-proizvođač i potrošio u sopstvenom objektu. Iz istog razloga, ODS ima i smanjenje prihoda za pristup DEES za el. en. (A), kao i povećanje troškova za gubitke za el. en. koju kupac-proizvođač isporučuje u DEES:

$$\begin{aligned} ODS_{tm}^{kp} - ODS_{tm}^{kk} &= [C \cdot M - 2 \cdot C \cdot G] - \\ &= [(A + C) \cdot M - (A + C) \cdot G - (A + C) \cdot P] \\ &= (A + C) \cdot P + A \cdot G - A \cdot M - C \cdot G \end{aligned} \quad (13)$$

VI PREDLOG NOVOG NAČINA OBRAČUNA ZA KUPCE-PROIZVOĐAČE

Kako bi se negativne posledice opisane u poglavlju IV smanjile, ili u potpunosti izbegle, neophodno je da kupci-proizvođači instaliraju proizvodne objekte optimalne snage, tj. da njihova proizvodnja bude jednaka njihovoj potrošnji na godišnjem nivou. Takođe, potrebno je da koriste el. en. na najekonomičniji način tj. u trenutku proizvodnje kako bi se el. en. trošila na mestu proizvodnje – na taj način se ne opterećuje DEES i ne prave gubici el. en. Posledično, smanjilo bi se opterećenje na ODS i omogućilo bi se priključenje većeg broja distribuiranih izvora el. en. bez prevelikih investicija u DEES. Pored navedenog, smanjuju se troškovi snabdevača za nabavku el. en. kao i period otplate proizvodnog objekta kupca-proizvođača.

⁷ S obzirom na to da je usvojeno da je $B=C$, može se zaključiti da ODS ima uštedu za pristup PEES za celokupnu el. en. koju kupac-proizvođač potroši

Kako se prethodno navedeno ne bi isključivo zasnivalo na odgovornosti i savesnosti kupaca-proizvođača predlaže se nekoliko izmena u domaćoj regulativi u oblasti kupaca-proizvođača koji će biti opisan u produžetku.

6.1 Višak el. en. kupaca-proizvođača sa neto merenjem

Predlaže se promena koncepta viška el. en. i njegovog prenošenja iz jednog obračunskog perioda u drugi u toku Perioda za poravnanje potraživanja. Ukoliko se višak stvori u toku jednog obračunskog perioda u toku više tarife treba ga preneti u naredni, ali u nižoj tarifi. Na ovaj način bi u korist kupca-proizvođača bila posmatrana nemogućnost da se celokupna proizvedena el. en. potroši u obračunskom periodu u kom je proizvedena (naročito se misli na letnji period kada je proizvodnja najveća) ali bi se destimulisalo korišćenje akumuliranog viška el. en. u zimskom periodu u višoj tarifi (uglavnom za grejanje na el. en. kako je ranije spomenuto) kada je DEES veoma opterećen.

Naročito bi trebalo imati u vidu da je el. en. koju kupci-proizvođači isporuče u DEES u letnjem periodu neki korisnik DEES fizički potrošio. Nasuprot tome, el. en. se obračunski akumulira kao višak za kupca-proizvođača kako bi on mogao da ga troši u zimskom periodu. Fizički će ta el. en. biti proizvedena u zimskom periodu (u periodu potrošnje) i to gotovo izvesno od strane proizvođača na fosilna goriva. Čini se da će novi predlog obračuna viška ne samo rasteretiti DEES, već će doprineti i energetske tranziciji.

6.2 Promena načina obračuna kupcima-proizvođačima sa neto merenjem

Predlaže se izmena načina obračuna kupcima-proizvođačima u cilju stimulisanja potrošnje el. en. u trenutku proizvodnje el. en. Cilj je da kupci-proizvođači budu što nezavisniji od DEES tj. da što manje el. en. preuzimaju, odnosno isporučuju u DEES.

Pomenuto se može postići tako što će snabdevači plaćati kupcu-proizvođaču el. en. koju je proizveo i potrošio u istom trenutku u svom objektu (A). Snabdevač bi je plaćao po ceni od $x\%$ od cene E . Takođe, el. en. koja je isporučena u DEES od strane kupca-proizvođača plaćao bi po $y\%$ od cene E . Naravno, kupcu-proizvođaču bi celokupnu el. en. koju preuzme iz DEES obračunavao po ceni E . Detaljan opis obračuna, prihoda i troškova prikazan je u produžetku, posebno za neto merenje i neto obračun.

Neto merenje

Po novom predlogu obračuna u slučaju neto merenja ODS bi imao prihode i troškove (ODS_{pnm-nm}^{kp}) iste kao i po trenutnom modelu.

$$ODS_{pnm-nm}^{kp} = ODS_{tm-nm}^{kp} = C \cdot M - 2 \cdot C \cdot G \quad (14)$$

Snabdevač po novom modelu (S_{pnm-nm}^{kp}) ima sve prihode i troškove kao po trenutnom modelu izuzev Neto el. en. Umesto Neto el. en. imao bi prihod za ukupnu preuzetu el. en. iz DEES (C) po ceni E , trošak za isporučenu el. en. u DEES (B) po ceni od $y\%$ E , i trošak za el. en. koju kupac-proizvođač proizvede u sopstvenom proizvodnom objektu i potroši (A) po ceni od $x\%$ E .

$$S_{pnm-nm}^{kp} = -C \cdot M - C \cdot E + C \cdot M + B \cdot E + C \cdot E -$$

$$A \cdot \frac{x}{100} \cdot E - B \cdot \frac{y}{100} \cdot E - L \cdot (C + B) =$$

$$C \cdot E \cdot \left(1 - \frac{y}{100}\right) - A \cdot \frac{x}{100} \cdot E - 2 \cdot C \cdot L \quad (15)$$

Kupac-proizvođač (KS_{pnm-nm}^{kp}) bi za preuzetu el. en. iz DEES (C) imao trošak pristupa DEES po ceni M i el. en. po ceni E , prihod od el. en. koju isporuči u DEES (B) po ceni od $y\%$ E , i prihod od el. en. koju proizvede u sopstvenom proizvodnom objektu i potroši (A) po ceni od $x\%$ E .

$$KS_{pnm-nm}^{kp} = -C \cdot M - C \cdot E + A \cdot \frac{x}{100} \cdot E + B \cdot \frac{y}{100} \cdot E$$

$$= -C \cdot M - C \cdot E \cdot \left(1 - \frac{y}{100}\right) + A \cdot \frac{x}{100} \cdot E \quad (16)$$

Poređenjem prihoda i troškova po predlogu novog modela i trenutnom modelu može se primetiti da se prihodi, odnosno troškovi menjaju za:

- snabdevača:

$$S_{pnm-nm}^{kp} - S_{tm-nm}^{kp} = C \cdot E \cdot \left(1 - \frac{y}{100}\right) - A \cdot \frac{x}{100} \cdot E$$

$$- 2 \cdot C \cdot L - (-2 \cdot C \cdot L)$$

$$= C \cdot E \cdot \left(1 - \frac{y}{100}\right) - A \cdot \frac{x}{100} \cdot E \quad (17)$$

- kupca-proizvođača:

$$KS_{pnm-nm}^{kp} - KS_{tm-nm}^{kp} = -C \cdot M - C \cdot E \cdot \left(1 - \frac{y}{100}\right)$$

$$+ A \cdot \frac{x}{100} \cdot E - (-C \cdot M)$$

$$= + A \cdot \frac{x}{100} \cdot E - C \cdot E \cdot \left(1 - \frac{y}{100}\right) \quad (18)$$

Prihodi i troškovi ODS ostaju nepromenjeni.

Opisanim modelom obračuna podstiču se kupci-proizvođači da što manje el. en. isporučuju u DEES i iz njega preuzimaju. Iz prethodnog može se zaključiti da je obračun po novom modelu identičan trenutno važećem ukoliko je:

$$S_{pnm-nm}^{kp} - S_{tm-nm}^{kp} = 0 \quad (19)$$

$$KS_{pnm-nm}^{kp} - KS_{tm-nm}^{kp} = 0 \quad (20)$$

$$\text{odnosno: } A \cdot \frac{x}{100} \cdot E = C \cdot E \cdot \left(1 - \frac{y}{100}\right) \quad (21)$$

pošto je početna pretpostavka da je $B=C$, sledi:

$$A \cdot \frac{x}{100} = B \cdot \left(1 - \frac{y}{100}\right) \quad (22)$$

$$A \cdot x = B \cdot (100 - y) \quad (23)$$

Na osnovu prikazanog može se zaključiti da se izborom x i y može uticati na podsticanje kupaca-proizvođača na potrošnju el. en. koju su sami proizveli. Ukoliko je cilj da npr. potroše 70% el. en. koju sami proizvedu može se izračunati odnos A i B . $A+B$ je ukupna proizvodnja proizvodnog objekta, te u opisanom slučaju važi:

$$\frac{70}{100} (A + B) = A \quad (24)$$

Može se zaključiti da je:

$$B = \frac{3}{7} \cdot A. \quad (25)$$

$$A \cdot x = \frac{3}{7} \cdot A \cdot (100 - y) \quad (26)$$

Na osnovu prethodnog može se dobiti odnos između x i y :

$$x = \frac{3}{7} \cdot (100 - y) \quad (27)$$

Dakle, ukoliko je y npr. 20, tj. ukoliko snabdevač plaća el. en. preuzetu od kupca-proizvođača po 20% cene E , x će biti 34,3, tj. el. en. koju kupac-proizvođač potroši iz sopstvene proizvodnje snabdevač će plaćati po ceni koja je jednaka 34,3% cene E .

Naravno, na početku je neophodno odrediti koji procenat potrošnje el. en. iz sopstvenog proizvodnog objekta se želi podsticati. Ukoliko je u prikazanom primeru taj procenat veći od 70%, kupac-proizvođač će imati veće prihode, a snabdevač veće troškove u odnosu na trenutno važeći model. Kupcu-proizvođaču će se isplatiti da manje el. en. isporučuje, a više troši u svom objektu. Ukoliko je kupac-proizvođač potrošio manje od 70%, tj. isporučio više od 30% svoje ukupne proizvodnje u DEES, tada kupac-proizvođač ima manje prihode, a snabdevač veće u odnosu na trenutni način obračuna.

Opisani model može se primeniti na sve kupce-proizvođače sa neto-merenjem uz odabir željenog procenta za podsticaj utrošene el. en. koju kupac-proizvođač potroši od proizvodnje sopstvenog proizvodnog objekta. Obračun bi se i dalje vršio na mesečnom nivou samo po opisanoj metodologiji, a zadržao bi se i Period za poravnanje potraživanja, jer je neophodno zadržati osnovnu ideju kupca-proizvođača po kojoj bi on trebalo da proizvodi samo onoliko koliko mu je zapravo potrebno za sopstvene potrebe.

Takođe, opisanim finansijskim podsticajima smanjiće se gubici u DEES, opterećenje DEES i poboljšaće se fleksibilnost DEES. Pored toga, kupci-proizvođači ne bi bili podsticani da se greju na el. en. jer neće prenositi veće količine el. en. iz letnjeg u zimski period, kao što je to trenutno slučaj, već će povećanjem ušteda, odnosno prihoda biti motivisani da troše el. en. u trenutku proizvodnje. Na ovaj način veliki broj manjih potrošača bi instalirao male solarne elektrane (uz male investicione i amortizacione troškove) pri čemu bi pozitivno uticali na energetske mikse Republike Srbije [17], a takođe i na bolju fleksibilnost DEES i očuvanje životne sredine.

Sve prethodno opisane izmene obračuna putem neto merenja bi mogle biti definisane izmenom zakonskih akata a pre svega [1,2,3,8,21].

Neto obračun

U slučaju neto obračuna može se primeniti trenutno važeći princip obračuna s tim što je neophodno što više podsticati potrošnju u trenutku proizvodnje tako da procenat iskorišćenja bude 90% ili čak 100% zbog mogućnosti instaliranja proizvodnih objekata veće instalisane snage nego u slučaju neto merenja⁸. Kupce-proizvođače koji imaju pravo na neto obračun ne treba finansijski podsticati da troše proizvedenu el. en. (plaćati el. en.

⁸ Po pravilu, krajnji kupci koji nisu domaćinstva imaju priključke većih odobrenih snaga.

A) već ih finansijski demotivisati da isporučuju el. en. (manje plaćati el. en. B npr. 20-30% cene E).

Na taj način, podstaknuti cenovnim signalima, kupci-proizvođači će optimalnije planirati instalisanu snagu svojih proizvodnih objekata. Kako bi mogli da potroše 100% proizvedene el. en. bez isporuke u DEES verovatno će im biti potreban manji proizvodni objekat nego da isporučuju u DEES i el. en. troše u narednim mesecima, pri čemu će im i investicioni troškovi biti niži.

U slučaju novog načina obračuna prihodi i troškovi ODS ostaju nepromenjeni. Snabdevači će imati manje troškove od onih po trenutnom načinu obračuna, a kupac-proizvođač će imati manje prihode ukoliko ne troši celokupnu proizvedenu el. en. u svom objektu. Primera radi, ukoliko je cena el. en. po kojoj snabdevač prodaje el. en. kupcu-proizvođaču 100 € za MWh, cena po kojoj otkupljuje treba da bude 20% te cene, odnosno 20 €/MWh. Dakle, ukoliko bi kupac-proizvođač proizveo 1 MWh i potrošio ga, on bi zapravo vredeo 100 € (jer je potrošio 1 MWh proizveden u sopstvenom proizvodnom objektu umesto da ga kupi od snabdevača). Međutim ukoliko je proizveo 1 MWh i isporučio ga u DEES on bi prihodovao svega 20 €, umesto pomenutih 100 €. Pri tom bi imao i trošak nabavke el. en. od snabdevača po ceni od 100 € kada mu taj 1 MWh bude bio potreban.

Upravo na opisan način kupci-proizvođači će biti motivisani da u najvećoj mogućoj meri koriste proizvodnju sopstvenog proizvodnog objekta. Tako će, između ostalog, imati i brži povrat investicije, manji negativan uticaj na DEES, snabdevača i BOS.

VII UPOREDNI PRIKAZ TRENUTNOG MODELA I PREDLOGA NOVOG MODELA OBRAČUNA EL. EN. KUPCIMA-PROIZVOĐAČIMA

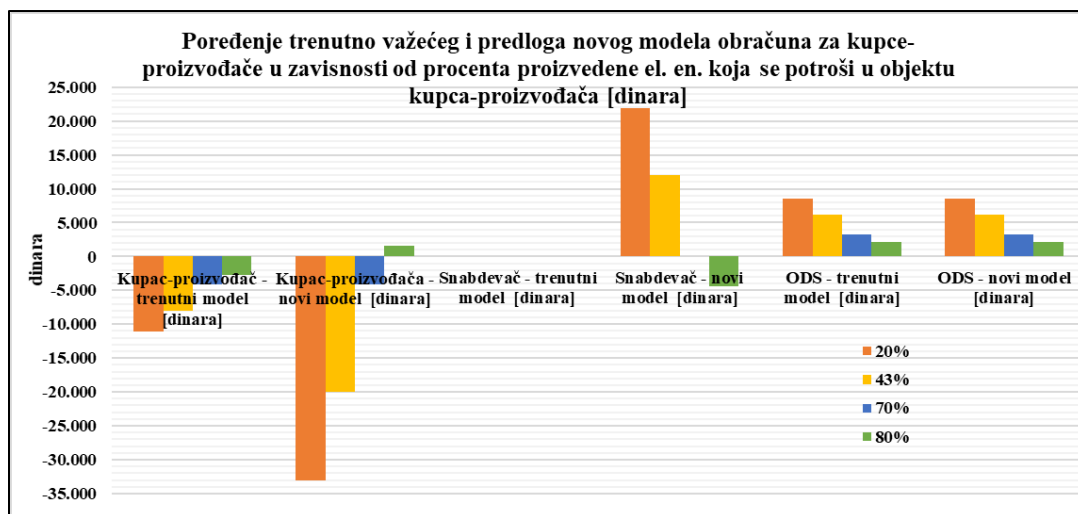
Na osnovu poglavlja V i VI izvršeno je poređenje trenutnog i predloga novog modela obračuna el. en. kupcima-proizvođačima sa neto merenjem. Kao primer korišćeno je prosečno domaćinstvo koje je kupac-proizvođač sa proizvodnim objektom

koji je solarna elektrana optimalne instalisane snage, prikazano u poglavlju 3.2.

Za potrebe proračuna usvojeno je da je prosečna cena pristupa DEES 3,434 RSD/kWh [22], el. en. garantovanog snabdevača 9,5 RSD/kWh [23]. Opisana pretpostavka je usvojena jer pravo na neto merenje imaju samo kupci-proizvođači koji su domaćinstva, a pritom sva domaćinstva imaju pravo na garantovano snabdevanje po regulisanim cenama. Troškovi balansiranja su u datim proračunima zanemareni. Pretpostavljeno je da su gubici u DEES 3% od protoka el. en. i da je njihova cena 110 €/MWh. [24] Kao primer novog načina obračuna opisanog u delu 6.2 usvojeno je da je x 20%, a y 34,3%.

Na slici 4, prikazan je saldo na godišnjem nivou kupca-proizvođača, snabdevača i ODS, po trenutnom i novom modelu obračuna. Kako bi se videli efekti predloga novog načina obračuna napravljena je i varijacija procenta proizvedene el. en. koja se potroši u objektu kupca-proizvođača i to tako da je potrošnja u objektu kupca-proizvođača tačno 70% proizvedene el. en. a 30% isporuka u DEES, kao i slučajevi gde je potrošnja 20%, odnosno 80%. Takođe, obrađen je i primer prosečnog domaćinstva u Republici Srbiji sa optimalnom snagom proizvodnog objekta prikazan u poglavlju 3.2.1 sa predmetnim procentom od 43%.

Kao što je već opisano, a i sa slike 4 se može videti, troškovi i prihodi ODS su nepromenjeni novim modelom u odnosu na trenutno važeći. Troškovi i prihodi snabdevača i kupca-proizvođača po novom modelu su identični trenutno važećem načinu obračuna u slučaju da je iskorišćenje proizvedene el. en. u objektu kupca-proizvođača 70%. Ovo je očekivano, jer je taj procenat izabran prilikom određivanja koeficijenata x i y . Bilo koji drugi procenat može biti izabran za stimulaciju, a način za određivanje tog procenta ili njegova konkretna vrednost treba da budu definisani domaćom regulativom.



Slika 4. Poređenje trenutno važećeg i predloga novog modela obračuna za kupce-proizvođače [RSD]

U konkretnom primeru, ukoliko je stepen iskorišćenja manji od 70%, kupac-proizvođač ima manje prihode, odnosno veće

troškove, u odnosu na trenutno važeći model obračuna, dok je za snabdevača situacija obrnuta. Ukoliko je procenat veći od 70%

kupac-proizvođač ima veće prihode, a snabdevač manje prihode, odnosno veće troškove.

Kako bi popravili procenat iskorišćenja el. en. kupci-proizvođači mogu instalirati skladište el. en. u koje bi skladištili el. en. koju bi inače isporučili u DEES, i koristiti je kasnije kada za njom bude bilo potrebe umesto da je preuzimaju iz DEES.

Takođe, kupci-proizvođači kako bi uvećali svoje prihode mogu postati i članovi agregatorske grupe zaključenjem ugovora sa agregatorom. [1, 25, 26]

Pored opisanog, važno je napomenuti da je moguće instalirati i proizvodni objekat manje instalisane snage od optimalne kako bi investicioni troškovi bili niži, i kako bi povrat investicije bio kraći.

Nasuprot tome, i trenutni, a naročito opisani novi način obračuna, destimuliše izgradnju proizvodnih objekata koji su veći od optimalnih (jer će višak el. en. biti isporučen u DEES i izazvati sve opisane negativne posledice). S obzirom na to da koncept Perioda za poravnanje potraživanja postoji i u trenutnom i u novom modelu obračuna, sav višak el. en. kupac-proizvođač će predati snabdevaču bez naknade. Na taj način kupac-proizvođač će snabdevaču doneti dodatne prihode (jer će oni tu el. en. moći da prodaju na tržištu el. en), a sebi dodatne troškove. Pored navedenog, investicija je značajno viša od potrebne. Upravo zbog svega navedenog, vođeni isključivo finansijskim posledicama, kupci-proizvođači će biti demotivisani da grade proizvodne objekte veće snage od optimalne.

VIII ZAKLJUČAK

Zagađenje životne sredine, intenzivne klimatske promene i njihove posledice, doveli su do potrebe za energetsom tranzicijom sa tradicionalnih izvora el. en. pre svega fosilnih goriva, na obnovljive izvore el. en.

Kako bi se tranzicija sproveda neophodno je podsticati korišćenje obnovljivih izvora energije na održiv način. Da bi izvori el. en. koji koriste obnovljive izvore energije bili priključeni na DEES ili PEES neophodno je da postoje dovoljni kapaciteti za priključenje. Kako bi se to postiglo, a pritom kako bi se izbegla zagušenja u DEES i PEES, kao i povećani gubici i problemi sa upravljanjem, neophodno je DEES i PEES redovno održavati i ulagati značajna sredstva u njihov razvoj.

Pored navedenog, neophodno je voditi računa o balansnoj rezervi čiji su kapaciteti često nedovoljni za prijem novih proizvodnih jedinica za proizvodnju el. en. iz obnovljivih izvora, naročito imajući u vidu varijabilnost njihove proizvodnje.

Opisanim predlogom izmene načina obračuna el. en. za kupce-proizvođače podstakla bi se izgradnja proizvodnih objekata iz obnovljivih izvora el. en. ali na jedan održiv način. Stimulisala bi se potrošnja el. en. proizvedene u proizvodnom objektu kupca-proizvođača, a destimulisala isporuka, odnosno preuzimanje u DEES. Na ovaj način bi se dodatno podsticalo da kupac-proizvođač svoje energetske potrebe dominantno pokriva iz proizvodnje sopstvenog proizvodnog objekta.

Navedeno, uz finansijske podsticaje opisane u ovom radu i izmenu načina obračuna, može motivisati i krajnje kupce sa

malom godišnjom potrošnjom el. en. da instaliraju solarne elektrane (čak i manje snage od optimalne) i steknu status kupca-proizvođača pri čemu će sebi dugoročno doneti uštede, a pritom doprinositi i energetske tranziciji.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Zakon o energetici ("Sl. glasnik RS", br. 145/2014, 95/2018 - dr. zakon i 40/2021)
- [2] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije ("Službeni glasnik RS", br. 40/21)
- [3] Uredba o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanja i obaveza između kupca – proizvođača i snabdevača ("Službeni glasnik RS", br. 83/2021 od 27.8.2021. godine)
- [4] Registar kupaca-proizvođača, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd http://edbnabavke.edb.rs/registar_kupaca/DOMACINSTVA/DOMACINSTVA.pdf, http://edbnabavke.edb.rs/registar_kupaca/STAMBENA_ZAJEDNICA/STAMBENA_ZAJEDNICA.pdf, http://edbnabavke.edb.rs/registar_kupaca/OSTALI_KP/OSTALI_KP.pdf [pristupljeno 03.05.2023]
- [5] Procedure za priključenje kupaca-proizvođača koji su domaćinstva i stambene zajednice. https://elektrodistribucija.rs/usluge/postupak-prikljucenja-na-dsee/postupak-sticanja-statusa-kupca-proizvodjaca/domacinstva_sa_direktnim_merenjem, https://elektrodistribucija.rs/usluge/postupak-prikljucenja-na-dsee/postupak-sticanja-statusa-kupca-proizvodjaca/stambene_zajednice [pristupljeno 03.05.2023]
- [6] Procedure za priključenje kupaca-proizvođača iz kategorije ostali. https://elektrodistribucija.rs/usluge/postupak-prikljucenja-na-dsee/postupak-sticanja-statusa-kupca-proizvodjaca/objekti_koji_nisu_domacinstva [pristupljeno 03.05.2023]
- [7] Pravila o radu distributivnog sistema, jul 2017. god. http://aers.rs/FILES/AktiAERS/AERSDajeSaglasnost/2017-07-19_Pravila%20o%20radu%20ED-ODS%20EPS%20distr.pdf [pristupljeno 03.05.2023]
- [8] Metodologija za određivanje cena pristupa sistemu za distribuciju električne energije („Službeni glasnik RS“, broj 105/12), <http://aers.rs/FILES/Metodologije/2012-10-31%20Metodologija%20distribucija%20EE%20SG%20105-12.pdf> [pristupljeno 03.05.2023]
- [9] Pravila o radu tržišta električne energije, novembar 2022. god. <https://ems.rs/wp-content/uploads/2022/12/Pravila-o-rad-trzista-elektr-1.pdf> [pristupljeno 03.05.2023]
- [10] Pravilnik o načinu vođenja registra kupaca-proizvođača priključenih na prenosni, distributivni, odnosno zatvoreni distributivni sistem i metodologiji za procenu proizvedene električne energije u proizvodnom objektu kupca-proizvođača ("Službeni glasnik RS", br. 33/2022 od 11.03.2022. godine)
- [11] Funkcionalni zahtevi i tehničke specifikacije AMI/MDM sistema, sveska 1, Tehničke specifikacije brojlara električne energije i komunikacionih uređaja, https://elektrodistribucija.rs/interni_standardi/pravila/Specifikacija_verzija%204.0_Sveska_1_Usvajeno_na_TSS_EPSD_07022019_objaviti.pdf [pristupljeno 03.05.2023. godine]
- [12] Uredba o uslovima isporuke i snabdevanja električnom energijom, "Sl. glasnik RS", br. 63/2013 i 91/2018
- [13] Godišnji izveštaj JP EPS za 2022. god. https://www.eps.rs/cir/SiteAssets/Pages/tehnicki-izvestaji/20230420_TEH_Godisnjak2022_web_cir_.pdf [pristupljeno 03.05.2023]
- [14] Godišnji izveštaj ODS, https://elektrodistribucija.rs/otnana/informacije/dokumenta/GI_2022.pdf [pristupljeno 03.05.2023]
- [15] Climate online baze podataka. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ [pristupljeno 03.05.2023]
- [16] Grujić, D., Kuzman, M. Modeli korišćenja električne energije kupaca-proizvođača, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 1, pp. 8-16, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.08G>
- [17] Godišnji izveštaj o nacionalnom rezidualnom miks za Srbiju za 2022. godinu, EMS AD. <https://ems.rs/wp-content/uploads/2023/06/Godisnji->

- [izvestaj-o-nacionalnom-rezidualnom-miksu-2022.pdf](#) [pristupljeno 03.05.2023]
- [18] Grujić, D., Đurišić, Ž. Uslovi razvoja projekta solarne elektrane u sklopu ts „Beograd 20“, CIGRE Srbija, Zlatibor 2015.
- [19] Registar proizvođača, Elektro distribucija Srbije d.o.o. Beograd http://edbnabavke.edb.rs/registar_kupaca/ELEKTRANE/ELEKTRANE.pdf [pristupljeno 03.05.2023]
- [20] SEEPEx tržišni podaci. <http://seepex-spot.rs/sr/market-data/day-ahead-auction>, [pristupljeno 03.05.2023]
- [21] Savet Agencije za energetiku Republike Srbije, Metodologija za određivanje cene električne energije za javno snabdevanje. http://aers.rs/FILES/Metodologije/2014-08-08_Metodologija%20javno%20snabdevanje%20EE%20SG%2084-14.pdf [pristupljeno 03.05.2023]
- [22] Savet Agencije za energetiku Republike Srbije, Saglasnost AERS na cenu pristupa DEES. https://aers.rs/Files/ObrazlozenjaSaglasnosti/EE/Distribucija/2021-10-01_Odluka%20i%20Obrazlozenje%20-%20distribucija.pdf [pristupljeno 03.05.2023]
- [23] Agencija za energetiku Republike Srbije, Nova cena električne energije za garantovano snabdevanje. <https://aers.rs/Index.asp?l=1&a=541&id=331> [pristupljeno 03.05.2023]
- [24] Poskupela struja za privredu, Nova ekonomija, No. 104, 2022. <https://www.paragraf.rs/dnevne-vesti/050523/050523-vest14.html> [pristupljeno 03.05.2023]
- [25] Grujić, D., Kuzman, M. Modeli funkcionisanja agregatora na tržištu električne energije, in Proc. 13. Savetovanje CIRED Srbija 2022, kopaonik, Sebija, R-6.09, 12-16 Septembar 2022 https://ciredserbia.org.rs/Radovi/KO2022/STK%206/R-6.09%20136_Dunja%20Grujic_Milos%20Kuzman_MODEL%20FUNKCI%20ONISANJA%20AGREGATORA%20NA%20TRZISTU%20ELEKTRICN%20ENERGIJE.pdf [pristupljeno 03.05.2023]
- [26] Grujić, D., Kuzman, M. Uloga novih korisnika elektroenergetskog sistema u razvoju tržišta električne energije, in Proc. 36. Savetovanje *Fleksibilnost elektroenergetskog sistema*, CIGRE Srbija, Zlatibor, 22-26. Maj 2023.

AUTORI/AUTHORS

Dunja Grujić, Elektro distribucija Srbije d.o.o. Beograd, dunja.grujic@ods.rs, ORCID [0000-0001-9298-6249](https://orcid.org/0000-0001-9298-6249)
Miloš Kuzman, Udruženje za pravo energetike Srbije, milos.kuzman@upes.rs, ORCID [0000-0002-9769-9713](https://orcid.org/0000-0002-9769-9713)
dr Željko Đurišić, vanredni profesor, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, djurisic@etf.rs, ORCID [0000-0003-2048-0606](https://orcid.org/0000-0003-2048-0606)

Realizacija postrojenja za detekciju i izdvajanje metala na transportnoj traci na dopremi uglja u TE „Kostolac“

Realization of the Plant for Detection and Separation of Tramp Metal on the Conveyor Belt for the Delivery of Coal to TPP "Kostolac"

Željko V. Despotović, Dejan Đokić*, Boris Ilić*, Dragan Milisavljević**

Institut „Mihajlo Pupin“, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

* IMP Projekt Inženjering, Beograd, Srbija

** AD EPS TE „Kostolac“, Kostolac, Srbija

Rezime - U radu je prikazana realizacija tehničkog rešenja postrojenja za detekciju i izdvajanje metalnih delova na transportnoj traci broj 5 (UZ-5) na dopremi uglja sa površinskog kopa „Drmno“ (TE „Kostolac“). Osnovni elementi postrojenja su metal detektor i elektromagnetni separator. Svaki od ovih elemenata je montiran na robusnu mehaničku konstrukciju i poseduje sopstveni energetska orman i pripadajući upravljački sistem. Rad metal detektora i elektromagnetnog separatora je u tesnoj povezanosti i njihova realizacija je prilagođena tehničkim uslovima i zahtevima sistema za dopremu uglja. Elektromagnetni separator čine snažni elektromagnet 200Vdc/16kW i pripadajući kružni transporter pogonjen trofaznim asinhronim motorom snage 5,5kW. Napajanje elektromagneta je ostvareno putem trofaznog diodnog ispravljača izlaznog napona 200Vdc i maksimalne izlazne struje 100A. U radu su takođe opisani i problemi koji su se javili tokom puštanja u rad i u toku eksploatacije, kao i tehnička rešenja za njihovo prevazilaženje. Na kraju su dati prikazi i snimci pojedinih elemenata realizovanog postrojenja.

Ključne reči - termoelektre, elektromagnetni separator, metal detektor, transportna traka, doprema uglja

Abstract - The paper presents the realization of the technical solution of the plant for detection and separation of tramp metal (parts) on conveyor belt No5, for the delivery of coal from the surface mine „Drmno“ (TPP „Kostolac“). The basic elements of the plant are a metal detector and an electromagnetic separator. Each of these elements is mounted on a robust mechanical structure and has its own power cabinet and associated control system. The operation of the metal detector and the electromagnetic separator is closely related and their implementation is adapted to the technical conditions and requirements of coal delivery system. The electromagnetic separator consists of a powerful electromagnet 200Vdc/16kW and the associated circular conveyor driving by a 5.5kW three-phase asynchronous motor. The electromagnet is powered by a three-phase diode rectifier with an output voltage of 200Vdc and maximal output current of 80A. The paper also describes the problems that occurred during commissioning and exploitation

tests, as well as technical solutions to overcome them. At the end, there are views and shots of individual elements of the realized system.

Index Terms - Thermal power plants, Electromagnetic separator, Metal detector, Conveyor belt, Coal delivery

I UVOD

Tehnološka linija za proizvodnju, transport i preradu uglja, sistema (BTD) je jedinstvena proizvodna celina na površinskom kopu „Drmno“ koja je namenjena za neprekidan rad 24sati/7dana, tokom cele godine, osim u slučajevima planiranih i neplaniranih zastoja. Ceo sistem predstavlja jednu složenu celinu rudarskih mašina i objekata u nizu, čiji pojedinačni rad direktno zavisi od rudarske mašine/objekta koji je prethodio u odnosu na posmatrani, odnosno zaustavljanje jednog objekta u nizu, zaustavlja sve mašine/objekte iza njega [1, 2].

Zbog česte pojave otpada metalnih komada na transportnoj traci transporter, koji uglavnom nastaju radovima na održavanju mašina u kopu, postavljanjem samo detektora metala na određenoj transportnoj traci dolazi do njenog veoma čestog zaustavljanja i kao posledica ovoga svih delova sistema iza nje [3]. Ovo predstavlja veliki problem, jer ovi zastoji dovode do čestog startovanja transporter, koji je vremenski relativno dug. U stvari velika je inercija celog sistema, zbog zahteva za duže vreme zaletanja pokretnih masa. Kao posledica ovoga su gubici u vremenskom iskorišćenju sistema na godišnjem nivou relativno visoki [4]. Na osnovu prethodnih činjenica se nametnula potreba za postavljanjem izdvajča metala (uglavnom se radi o čeličnim delovima) na lokaciji što bližoj mašinama za iskop uglja (bagerima i etažnim transporterima), gde se i generiše najveći deo metalnog otpada.

U početnom tehničkom zahtevu odabrana lokacija za postavljanje izdvajča metala je bila presipno mesto između transporter UZ-3 (prijemni ili predajni deo), koja je jedna od bližih traka na izlazu iz kopa. Nakon detaljnih analiza, a pre svega iz tehničkih razloga, odustalo se od ove lokacije, obzirom na dimenzije magnetnog izdvajča. Naime, bilo bi potrebno iseći

glavne stubove koji nose pogonske agregate tračnog transportera stanice, kao i levak presipa, a samim tim i odbojnu ploču, što bi predstavljalo komplikovan zahvat. Takođe, iz razloga bezbednosti pogonske stanice, nisu dozvoljene nikakve intervencije, a pogotovo sečenje stubova koji nose pogonske agregate tračnog transportera [1, 2].

Sečenje odbojne ploče i levka, dovelo bi do toga da materijal u presipu, umesto da udara u odbojnu ploču, udara u traku izdvajача čime bi ona za kratko vreme bila pokidana. Dodatni problem je predstavljalo postavljanje klizne ploče kojom se izdvojeni komadi metala izbacuju van sistema, a koji se odnosi na činjenicu da nema dovoljno prostora po visini. Alternativni predlog je bio da se izdvajач i detektor metala postave na sistem UZ-3, ispred pogonske stanice. Međutim, zbog nagiba pod kojim se nalazi ovaj sistem i taj predlog je postao tehnički neprihvatljiv [1, 2].

Kao kompromisno rešenje prihvaćen je predlog da se detektor i izdvajач postave na sistem UZ-5 (koji ima traku B2000) ispred pogonske stanice. Prema zahtevu investitora, detektor i izdvajач bi trebalo da imaju gabarite tako da mogu bez problema rade na trakama širine od 1800 mm do 2000 mm. S obzirom da je projektom obezbeđen ovaj uslov, detektor je postavljen u prazan prostor između sekcija 25 i 26, a izdvajач između sekcija 9 i 10. Predlog je bio takođe, da se prostor bez metalnih delova, potreban za postavljanje izdvajача obezbedi pomeranjem sekcija 10, 11, i 12 prema kopu, umesto da se taj prostor obezbedi sečenjem jedne ili dve sekcije. Prednosti ove lokacije su prevashodno činjenice da se na ovaj način štiti ceo transportni put iz kopa. Na osnovu prethodnih činjenica sledi da ostaje samo jedna transportna deonica UZ-5. Na ovaj način se štiti pogonska stanica UZ-5. Napajanje postrojenja za detekciju i izdvajanje metala je dakle obezbeđeno sa stanice UZ-5.

Opšti zahtev za mašinski i elektro deo projekta je bio da se kompletna mašinska, elektroenergetska i elektronska oprema tretiraju tako da su deo jedne jedinstvene mobilne celine izdvajача sa detektorom metala, sa osnovnim komponentama fabričkog tipa i elementima koji su specifični za mesto ugradnje, odnosno za pogonsku stanicu transportera linije za transport uglja PK „Drmno“. Specifičnosti glavnih komponenta izdvajача sa detektorom i pratećom nosećom konstrukcijom de odnose na zahteve konkretnog mesta ugradnje [1, 2].

Opšti projektni zadatak je bio da pored funkcionalnosti ugrađene opreme, sve ugrađene komponente i delovi mehaničke konstrukcije ne remete redovne aktivnosti na pogonskoj stanici transportera u radu, montažu i demontažu komponenti pogonske stanice (pogonskog bubanja, pogonske grupe motor/reduktor, gazišta, gelendera i dr.): (1) zatvaranje prostora zahvata dizalica za pomenute aktivnosti, (2) smanjenje vidnog polja rukovaocima prema važnim delovima na pogonskoj stanici, (3) kretanje osoblja po stanici, (4) čišćenje prostora presipa na sledećem transporteru koji se obavlja ručno i (ili) mehanizacijom. U okviru mašinskog dela projekta su projektovane i statički proračunate noseća i potporna konstrukcija sa betonskim postoljem. Noseća konstrukcija izdvajача metala je projektovana da bude montažno-demontažna, tako da u slučaju da dođe do promene trase transportnog sistema, ona može jednostavno da se preseli. Takođe su projektovani izdvajач/separator metala,

detektor metala, rotirajući mehanički detektor maksimalnog gabarita otpadnog materijala u traci sa induktivnim digitalnim davačem kao detektorom stanja, zatim nosači elektroenergetskih i elektronskih ormara i ostala oprema [2].

U okviru sistema projektovanja je posebna pažnja bila posvećena projektovanju (nemagnetne odbojne ploče, kliznih staza izdvojenih metala, adaptacija sekcija za ugradnju detektora metala, delova za mehaničku zaštitu od udara materijala u tunelski detektor (grudvi uglja, komadi metala i sl.) [2].

U okviru elektroenergetskog i upravljačkog dela projekta su obuhvaćeni: (1) dimenzionisanje izbor snažnog elektromagneta i pripadajućeg transportera za samočišćenje elektromagnetnog separatora, (2) izbor energetskeg pretvarača za pobudu snažnog elektromagneta, (3) dimenzionisanje i izbor energetskeg kabla za napajanje postrojenja, (4) izbor signalnih kablova, (5) izbor upravljačke opreme i ormara za ugradnju upravljačkog PLC uređaja [1].

II TEHNIČKI OPIS MAŠINSKOG DELA I KONSTRUKCIJE

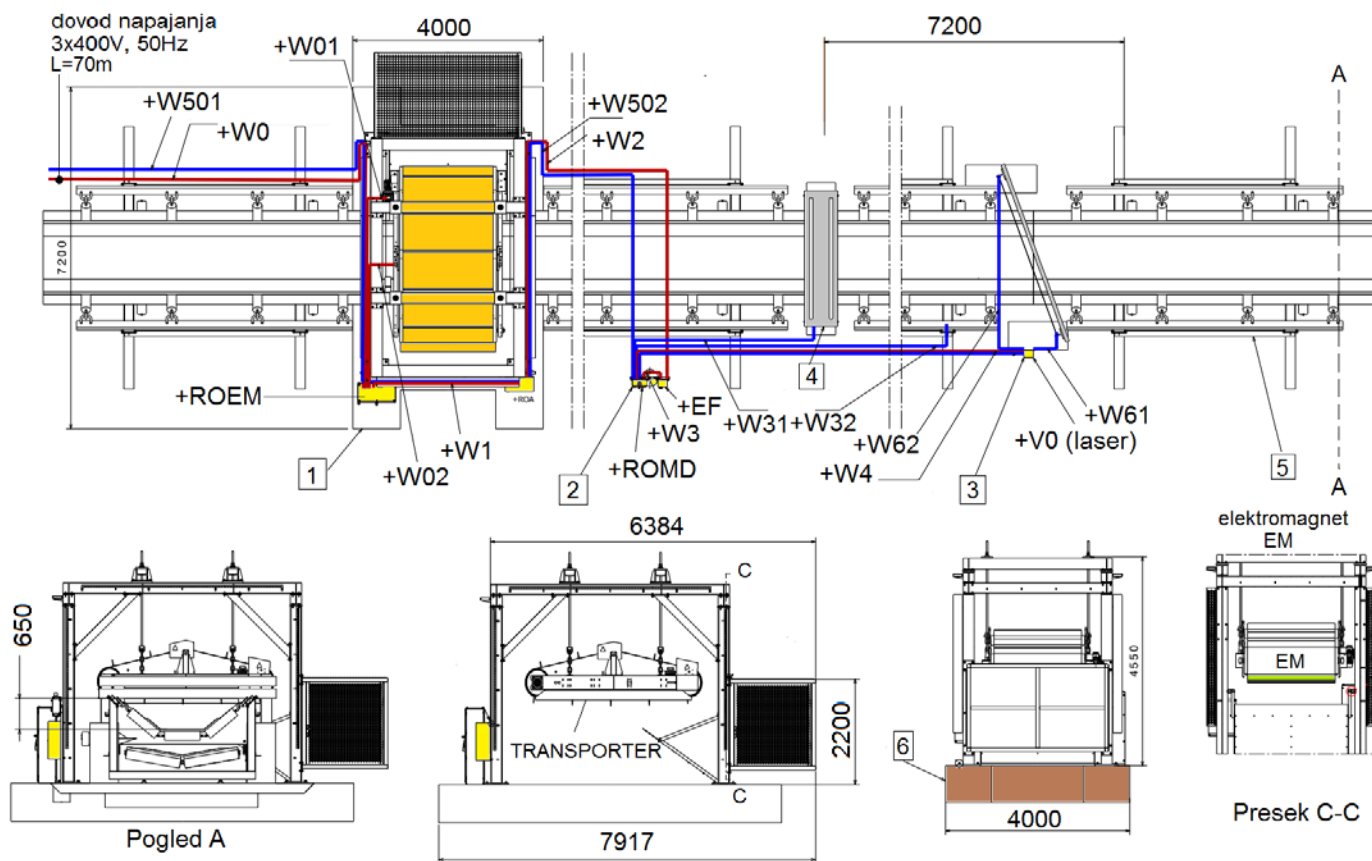
Na Slici 1 je prikazana dispozicija realizovanog sistema za elektromagnetnu separaciju sa dodatnim prikazom karakterističnih preseka. Na ovom prikazu su date sledeće pozicije: (1) stanica za izdvajanje metala, uključujući snažni elektromagnet i pripadajući energetskegi orman u kojem je smešten AC/DC pretvarač za pobudu elektromagneta, (2) stanica za detekciju metala, (3) mehanička zaštita opreme, (4) upravljački i energetskegi ormarić detektora metala, (5) transporter i (6) temelj.

Na dispozicionoj šemi na Slici 1 su takođe prikazane i kablovske trase energetskegi i signalnih kablova, kao i raspored i montaža energetskegi i upravljačkih ormara. Dovodnim kablom +W0 tipa EpN50 4x35mm² je obezbeđeno napajanje glavnog energetskegi ormara energetike snažnog elektromagneta +ROEM, u sklopu sistema za separaciju. Iz ovog ormara se kablom +W01 tipa EpN50 4x2,5mm² napaja pogon elektromotora transportera za samočišćenje elektromagneta, snage 5,5kW, a kablom +W02 tipa EpN50 4x16mm² se napaja snažni elektromagnet. Kablom +W1 tipa EpN50 3x2,5mm² se napaja orman automatike +ROA. Iz ormara automatike +ROA se kablom +W2 tipa EpN50 3x2,5mm² se napaja preko ormarića elektromagnetnog filtra za prigušenje mrežnih smetnji (označen sa +EF), razvodni ormarić metal detektora +ROMD. Iz ovog ormarića se kablom +W4 tipa EpN50 3x1,5mm² se napaja razvodni ormarić pretvarača emisionog lasera +VO. U sklopu sistema su postavljeni i signalni kablovi koji su takođe prikazani na dispozicionoj šemi na Slici 1. Signalni kabl +W501, tipa LIYCY 6x1mm²+širm, povezuje upravljački sklop elektromagneta u +ROEM sa nadređenim komandnim centrom. Signalni kabl koji povezuje upravljačke sklopove +ROEM sa upravljačkim sklopovima u +ROA i u +ROMD je označen sa +W502, tipa LIYCY 6x1mm²+širm. Veza između stanice za detekciju metala (2) i +ROMD je ostvarena signalnim kablom +W31 tipa LIYCY 4x0,75mm²+širm, a veza sa predajnikom kablom +W32 istog tipa kao i prethodni. Signalni kablovi +W61 i +W62 istog tipa se koriste u sklopu senzora za detekciju spojeva na transportnoj traci.

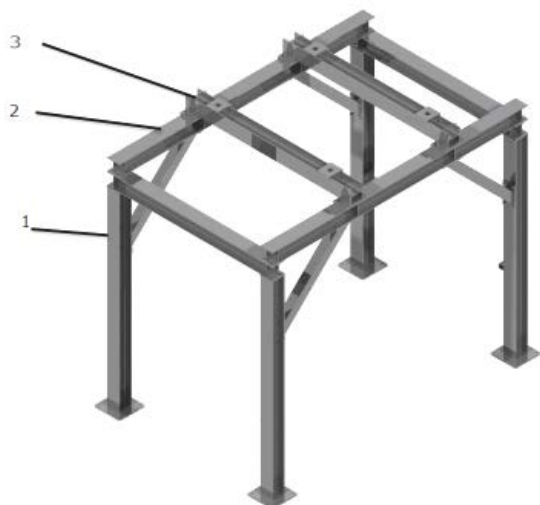
Prvi korak kod projektovanja noseće konstrukcije je bilo dimenzionisanje i usvajanje profila na osnovu mase opreme koja

se postavlja na nju. Iterativnim postupkom usvojen su profili HEB 240 i kvadratna cev 160x160x6 mm, kao i geometrija konstrukcije. Deformacije i naponi, koji se javljaju usled

opterećenja, proračunati su metodom konačnih elemenata. Na Slici 2 prikazana je čelična konstrukcija stanice za izdvajanje metala sa svojim elementima.

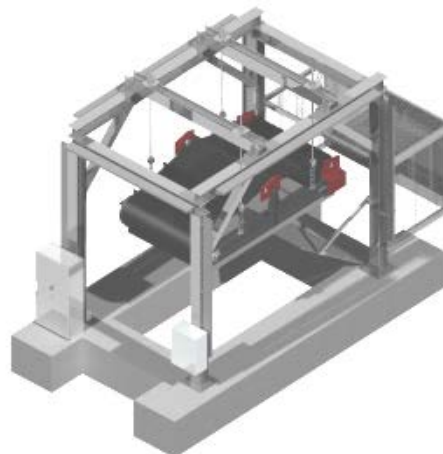


Slika 1. Dispozicija mašinske i elektroenergetske opreme, priključnih kablova (energetskih i signalnih), energetskih ormara i ormara automatike na sistemu za elektromagnetnu separaciju na površinskom kopu „Drmno“ u Kostolcu (sve dimenzije su u [mm]).



Slika 2. Čelična konstrukcija izdvajачa metala [2]

Pozicije na Slici 2 su date opisima: (1) predstavlja „П“ ram, profila HEB 240, (2) podužna greda, profili HEB 240, (3) poprečni nosač, profili HEB 240, (4) kosnik, kvadratna cev 160x160x6 [mm], (5) vezne ploče i (6) gnezdo sfernog ležaja.



Slika 3. Čelična konstrukcija izdvajачa metala[2]

Pri projektovanju čelične konstrukcije uzeto je u obzir da postojeća trasa transportnog sistem UZ-5 nije stalna i da je ona podložna promenama. Stoga je projektovana montažno-demontažna konstrukcija, kako bi usled promene trase transporta uglja mogla u kompletu da se preseli na novu lokaciju.

Vertikalni stubovi, koji formiraju „II“ ramove, na oba svoja kraja imaju zavarene vezne ploče, kako bi se spojevi sa temeljom, odnosno horizontalnim gredama „II“ ostvarile preko vijčanih veza. Na podužnim gredama zavarene su vezne ploče u kojima su urezani navoji M20 i na njih naležu poprečne grede, koje nose izdvajač metala.

Na Slici 3 prikazana je stanica za izdvajanje metala, gde se vidi da je pravac izbacivanja metala poprečan u odnosu na pravac transporta uglja. Kao mera bezbednosti ugrađeni su kavez (odbojna ploča) i kosa ravan, s obzirom da se delovi izbacuju pored trake, kako izdvojeni delovi ne bi bili nekontrolisano izbačeni. Na Slici 4 su detaljnije prikazani kavez i kosa ravan.



Slika 4. Kavez i kosa ravan [2]

III TEHNIČKI OPIS ELEKTROENERGETSKOG DELA SISTEMA

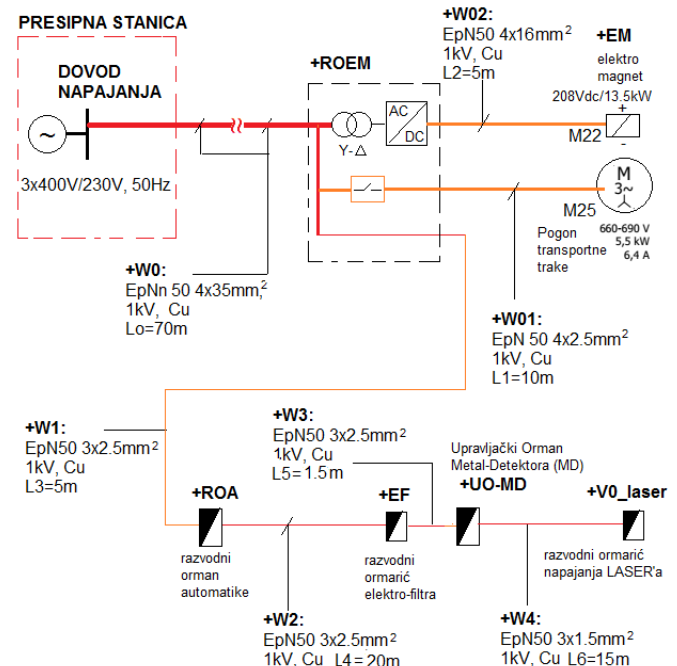
Jednopolna šema elektroenergetske instalacije je data na Slici 5, dok je plan šeme instalacije signalnih kablova dat na Slici 6.

Dovod glavnog energetskeg trofaznog napajanja 3x400V/230V, 50Hz je ostvaren iz tzv. *presipne stanice* (pogonska stanica UZ-5), rudarskim kablom EpN50 4x35mm², dužine oko 70m. Ovim napojnim kablom se u stvari napaja razvodni orman +ROEM elektromagneta M22, u sklopu koga se nalaze AC/DC energetske pretvarač (trofazni diodni ispravljač) sa pripadajućom energetskom i kontrolnom opremom, energetski deo za pokretanje elektromotora M25 transportne trake elektromagneta snage 5,5kW, kao i sklopna oprema za napajanje ostalih potrošača u sistemu (metal detektor, elektromagnetni filter za smetnje, merna, signalizaciona oprema i laserski sistem). Prikaz energetskog kablovskog razvoda sa specifikacijom energetskih kablova po pojedinim deonicama je prikazan na Slici 5.

Pored energetskih kablova predviđeni su montaža kablovskih trasa signalnih kablova. Blok šema merno-upravljačkog sistema sa pripadajućim signalnim kablovima je data na Slici 6.

Između razvodnog ormara +ROEM i upravljačkog ormara metal-detektora +ROMD je postavljen razvodni orman automatike +ROA, koji u stvari predstavlja glavni upravljački orman iz koga se putem PLC uređaja i grafičke HMI jedinice

ostvaruje upravljanje kompletnog sistema elektromagnetnog separatora. Ovo upravljanje može biti ručno ili automatsko i vrši se iz ormara automatike +ROA putem PLC uređaja.



Slika 5. Jednopolna šema elektroenergetske instalacije sa specifikacijom energetskih kablova [1]

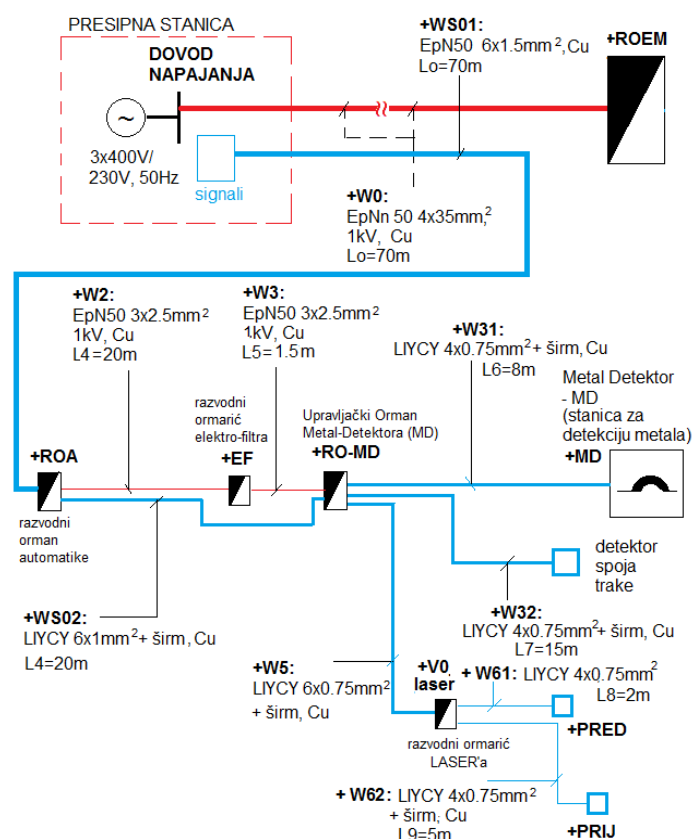
U toku mirovanja trake transportera UZ-5, magnetni izdvajač i pripadajuća traka su isključeni. Pre pokretanja transportera UZ-5, uključuje se zvučno upozorenje koje traje oko trideset sekundi. Ovaj signal se koristi za pokretanje izdvajača metala. Nakon završetka zvučnog signala, a pre samog pokretanja trake transportera UZ-5, uključuje se elektromagnet izdvajača i to u režimu pune snage, a potom i traka izdvajača. Elektromagnet i traka izdvajača rade u ovom režimu sve dok ispod magneta ne prođe traka transportera u dužini koja je jednaka rastojanju između detektora i izdvajača. Nakon ovoga traka izdvajača staje, a magnet nastavlja rad na 60% snage. Ova sekvenca osmišljena je zbog situacije da metalni predmet može da prođe kroz detektor u trenutku kada tračni transporter UZ-5 prestaje sa radom. U tom slučaju metalni predmet bi bio registrovan od strane detektora, ali ne bi stigao do izdvajača, jer bi se transporter UZ-5 zaustavio pre toga. Na ovaj način metalni predmet ostaje u prostoru između dva uređaja. Pri ponovnom kretanju UZ-5, metalni predmet bi jednostavno prošao ispod magneta. Da se ovo ne bi dogodilo, osmišljena je prethodno opisana sekvenca.

Drugi slučaj je da u toku rada transportera UZ-5, detektor registruje metalni predmet na traci. Ta informacija prosleđuje se do PLC uređaja, koji odmah uključuje traku izdvajača, a nakon toga podiže snagu magneta na 100%. Prelazak magneta sa snage od 60% na 100%, ne ostvaruje se momentalno, već kontrolni uređaj obezbeđuje odgovarajuće vremensko kašnjenje, odnosno interval čekanja da traka izdvajača izbaci eventualno sakupljene manje komade metala. Ovo je obezbeđeno iz razloga što je moguće da u trenutku preklapanja sa manje na veću snagu magneta može da dođe do ispuštanja prikupljenog materijala,

koji bi ponovo pao na traku UZ-5 i otišao prema stanici za drobljenje (tzv. „drobilani“). U ovom slučaju magnet izdvajača radi ovako sve dok ispod njega ne prođe traka transportera u dužini koja je jednaka rastojanju između detektora i izdvajača.

U situaciji kada detektor ne registruje nikakav metalni predmet, magnet stalno radi snagom od 60%, a traka izdvajača se uključuje periodično (približno na svakih sat vremena rada), tako da je ovim obezbeđeno tzv. „samočišćenje“ magnet, koje se veoma često primenjuje u praksi [3-5]

Poslednja situacija je kada tračni transporter UZ-5 prestaje sa radom. Magnetni izdvajač ne prestaje odmah sa radom, nego se primenjuje „samočišćenje“ magnetnih polova, sve dok ispod njih ne prođe traka transportera u dužini koja je jednaka rastojanju između detektora i izdvajača. Svi parametri potrebni za rad postrojenja podešavaju se na HMI jedinici i PLC uređaju koji su deo ormana automatike +ROA.



Slika 6. Jednopolna šema merno-upravljačkog sistema sa pripadajućim signalnim kablovima [1]

U sistemu su predviđene mere zaštite metal detektora i izdvajača od mehaničkog oštećenja. Predviđeno je da između sekcija broj 29 i 30 bude montiran mehanički čistač, koji bi skidao materijal sa transportera koji prelazi visinu od 0.65 [m]. U slučaju da i nakon toga materijal ima visinu veću od 0.65 [m], između sekcija broj 29 i 30, postavljen je laserski uređaj koji zaustavlja transporter UZ-5, pre nego što materijal udari antenu detektora i magnet izdvajača.

Električna šema pobude snažnog elektromagneta separatora i pogona tračnog transportera kojim se obezbeđuje odnošenje

izdvojenog materijala na elektromagnetu, tzv. „samočišćenje“, je prikazana na Slici 7. Sklopna i energetska oprema koja se odnosi na pobudu elektromagneta i pogon transportera za „samočišćenje“ je smeštena u energetske ormanu. Dovod napajanja ovog energetske ormana se ostvaruje na priključnim klemama –X1, pri čemu se napon 3x400V/230V, 50Hz uključuje posredstvom glavnog prekidača – Q20 (grebenasti prekidač). Sa priključaka iza ovog glavnog prekidača se napajaju eksterni potrošači van ovog energetske ormana: orman upravljanja sa PLC-om (+ROA) i orman metal detektora (+ROMD).

Napajanje elektromagneta M22 se ostvaruje preko trofaznog punotalasnog diodnog ispravljača Q22.1 u kombinaciji sa ispravljačkim transformatorom T22 koji je spregnut u spregu „zvezda-trougao“. Između primara i sekundara transformatora T22 je postavljen metalni ekran koji je uzemljen na zaštitnu sabirnicu PE. Primar transformatora T22 se napaja trofaznim naponom 3x400V/380V, 50Hz preko zaštitnog prekidača -F22.1 i kontaktora –Q31. Zaštitni prekidač –F22.1 u sebi sadrži prekostrujnu zaštitu i zaštitu od kratkog spoja. Kontaktor –Q31 se upravlja iz razvodnog ormana automatike +ROA, odnosno iz PLC kontrolera koji je smešten u njemu. Zaštita na sekundaru transformatora prema diodnom ispravljaču je ostvarena automatskim zaštitnim prekidačem –F22.2.

Transformator T22 je u stvari projektovan za nominalni napon primara od 400V, 50Hz ali pored izvoda za ovaj napon, na primaru postoje izvodi i za napone 380V (5% niži napon od nominalnog) i 420V(5% viši napon od nominalnog). Detaljan prikaz namotaja transformatora T22 je dat na Slici 8. Svaki od sekundara transformatora T22 su sekcionisani i sadrže četiri izvoda (sekcije), koji obzirom na spregu sekundara određuju fazne odnosno međufazne napone: izvod 40% (za fazni/međufazni napon od 58V), izvod 60% (za fazni/međufazni napon 87V), izvod 80% (za fazni/međufazni napon 116V) i izvod 100% (za fazni/međufazni napon od 145V). Na ovaj način je odgovarajućom topologijom kontaktora na sekundaru transformatora moguće dobiti četiri napona, odnosno obezbediti stepenastu regulaciju jednosmernog napona elektromagneta. Obzirom na spregu transformatora „zvezda-trougao“, za međufazni napon primara označen na Slici 8 sa V, međufazni (odnosno fazni) napon sekundara je jednak:

$$V'' = \frac{V / \sqrt{3}}{m} \cdot \frac{a(\%)}{100} \quad (1)$$

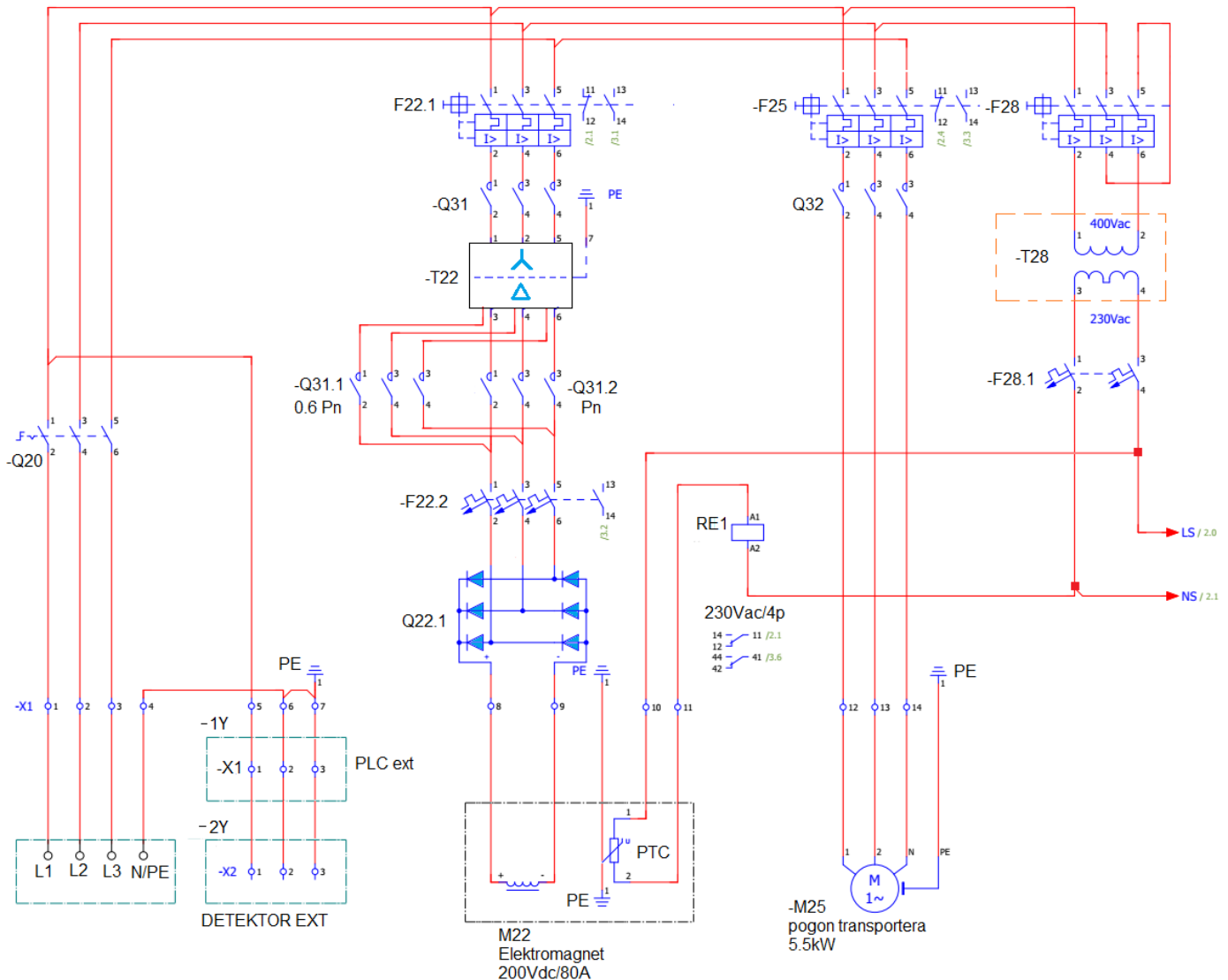
U jednačini (1), veličina m predstavlja fiksni prenosni odnos koji pri faznom naponu od 220V ($380V/1.73=220V$) i faznom naponu sekundara od 145V, iznosi $m = 220/145 = 1,52$. Veličina $a(\%)$ predstavlja procentualni koeficijent koji se odnosi na pojedini izvod na sekundaru i on određuje stvarnu vrednost faznog, odnosno međufaznog sekundarnog napona.

Za primarni međufazni napon od 380V, 50Hz i za vrednost $a(\%) = 100\%$, međufazni, odnosno fazni napon sekundara je 145V. Za istu vrednost primarnog napona i za vrednost $a(\%) = 80\%$, međufazni, odnosno fazni napon sekundara je 116V.

U ovom konkretnom slučaju, obzirom da je dovod napajanja udaljen na oko 70m od razvodnog ormana elektromagneta i da postoji odgovarajući pad napona, realna vrednost međufaznog

primarnog napona je 380V. Takođe u ovom konkretnom slučaju su korišćene dve sekcije sekundara, odnosno dvostepena regulacija napona elektromagneta korišćenjem dva izvoda 100% i 80%. Drugim rečima prvi izvod odgovara nominalnoj izlaznoj snazi $P_n=16\text{kW}$ elektromagneta, dok drugi izvod odgovara snazi elektromagneta $0,6P_n=9,6\text{kW}$. Koji namotaj će biti uključen

zavisi od statusa kontaktora –Q31.1, -Q31.2, koji se nalaze na sekundarnoj strani transformatora. Naime, za ulazni mrežni fazni napon od $380\text{V}/1,73=220\text{V}$ i kada je uključen kontaktor –Q31.2 na ulazu ispravljača se ima međufazni napon od 145V, dok pri istim uslovima i kada je uključen kontaktor –Q31.1 se na ulazu ispravljača ima međufazni napon od 87V.



Slika 7. Električna šema pobude elektromagneta M22 i pogona transportera M25 za samočišćenje

Na Slici 9 je dat prikaz povezivanja transformatora T22 i trofaznog diodnog ispravljača -Q22.1. Trofazni ispravljač se sastoji iz tri snažna diodna modula -Q21.1, -Q21.2 i -Q21.3. U svakom od modula se nalaze integrisane po dve energetske diode za struju od 150A i za probojni napon od 600V. Otpornost elektromagneta pri nominalnom radnom režimu je oko $2,4\Omega$.

Izlazni napon trofaznog punotalasnog diodnog ispravljača V_{dc} je jednak[6,7]:

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot V_{l-l} \quad (2)$$

gde je V_{l-l} efektivna vrednost trofaznog linijskog napona sa

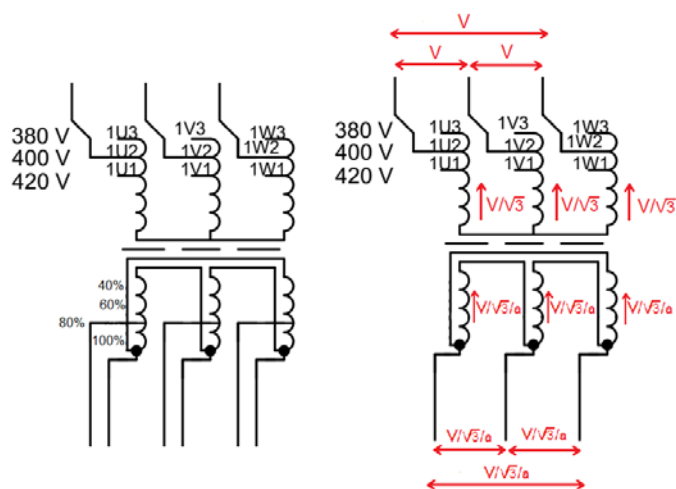
kojim se napaja trofazni punotalasni (6-pulsni) ispravljač.

Za vrednost sekundarnog linijskog napona od 145V jednosmerna vrednost napona V_{dc1} je jednaka:

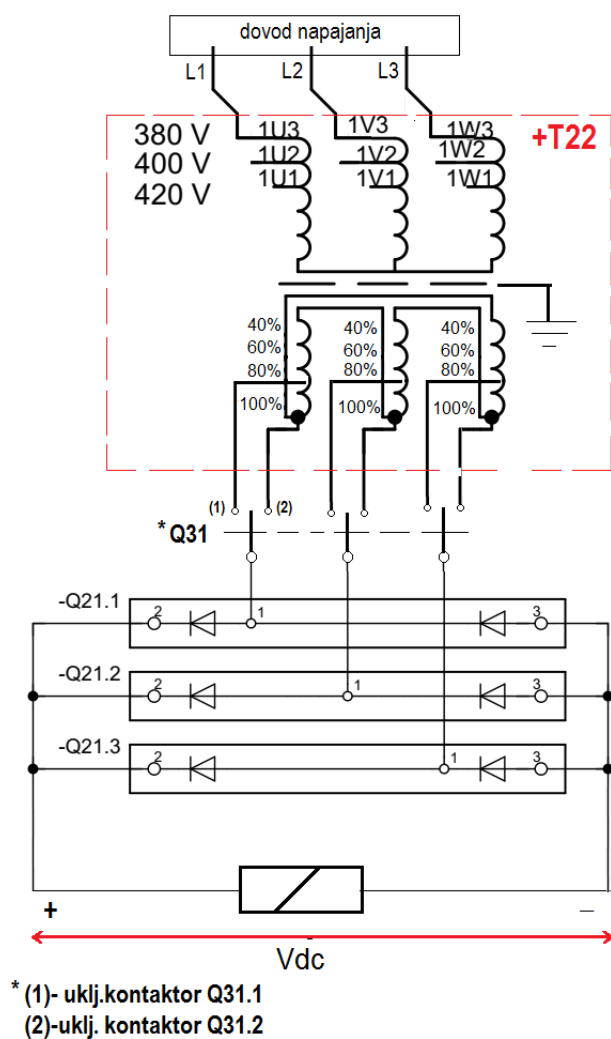
$$V_{dc1} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot 145 \text{ V} \approx 196 \text{ V}.$$

Za vrednost unutrašnje omske otpornosti elektromagneta $R_{dc1}=2,4\Omega$ (na radnoj temperaturi od 80°C) dobija se da je električna snaga elektromagneta jednaka:

$$P_{dc1} = P_n = \frac{V_{dc1}^2}{R_{dc1}} = \frac{(196 \text{ V})^2}{2,4\Omega} = 16 \text{ kW}.$$



Slika 8. Detaljan prikaz transformatora T22 sa podacima o prenosnom odnosu i naponskim odnosima primar/sekunar



Slika 9. Prikaz povezivanja transformatora T22 sa trofaznim diodnim ispravljačem i topologijom uključenja kontaktora -Q31.1 i -Q31.2.

U ovom režimu struja elektromagneta je jednaka:

$$I_{dc1} = \frac{P_{dc1}}{V_{dc1}} = \frac{16 \text{ kW}}{196 \text{ V}} = 81,6 \text{ A}.$$

Za vrednost sekundarnog linijskog napona od 116V, jednosmerna vrednost napona V_{dc2} je jednaka:

$$V_{dc2} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot 116 \text{ V} \approx 157 \text{ V}.$$

Za vrednost unutrašnje omske otpornosti elektromagneta $R_{dc2}=2.56\Omega$ dobija se da je električna snaga elektromagneta jednaka:

$$P_{dc2} = 0,6P_n = \frac{V_{dc2}^2}{R_{dc2}} = \frac{(157 \text{ V})^2}{2,56 \Omega} = 9,62 \text{ kW}.$$

U ovom režimu struja elektromagneta je jednaka:

$$I_{dc2} = \frac{P_{dc2}}{V_{dc2}} = \frac{9,6 \text{ kW}}{157 \text{ V}} \approx 61 \text{ A}.$$

U sklopu namotaja elektromagneta se nalazi PTC senzor koji ima ulogu zaštite od pregrevanja namotaja elektromagneta. U slučaju da temperatura ima tendenciju porasta iznad maksimalne radne temperature ($\theta > 120^\circ\text{C}$), tada dolazi do naglog porasta otpornosti PTC senzora i isključenja špulne relea RE1 koje sa svojim pomoćnim kontaktima blokira rad glavnih kontaktora – Q31.1 i –Q31.2 na sekundaru transformatora T22.

Pogon glavnog transportera kojim se obezbeđuje „samočišćenje“ elektromagneta se ostvaruje putem asinhronog elektromotora M25, snage 5,5kW. Uključenje ovog pogona se ostvaruje putem kontaktora –Q32 kojim se upravlja putem PLC kontrolera koji je smešten u +ROA. Zaštita od preopterećenja i kratkog spoja na ovom pogonu je ostvarena motorno–zaštitnim prekidačem F25.

Komandni napon u ovom sistemu je 230V, 50Hz i on je galvanski odvojen od napona 400V, 50Hz transformatorom T28 prenosnog odnosa 400V/230V. Na primarnoj strani (400V, 50Hz) se kao zaštitni prekidač od preopterećenja i kratkog spoja koristi F28. Na sekundarnoj strani T28 se kao zaštita od kratkog spoja koristi zaštitni prekidač F28.1.

U sklopu projektovanog sistema su predviđene odgovarajuće mere zaštite metal detektora i samog elektromagnetnog izdvajača od mehaničkog oštećenja.

Predviđeno je da između sekcija broj 29 i 30 bude montiran mehanički čistač, koji bi skidao materijal sa transportera koji prelazi visinu od 0,65 m. U slučaju da i nakon toga materijal ima visinu višu od 0,65 m, između sekcija broj 29 i 30, postavljen je laserski uređaj koji zaustavlja transporter UZ-5, pre nego što materijal udari u antenu detektora i elektromagnet magnet izdvajača [1, 2].

III REALIZACIJA SISTEMA ZA ELEKTROMAGNETNU SEPARACIJU

U ovom poglavlju su dati ključni rezultati realizacije sistema za detekciju i izdvajanje metala na transportnoj traci na PK „Drmno“ u Kostolcu.

Svi predviđeni radovi su izvedeni prema tekstualnoj i grafičkoj dokumentaciji projekta za izvođenje (PZI), kao i prema

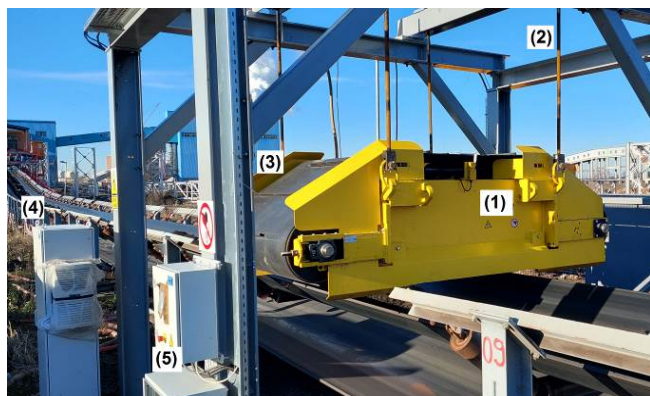
propisima koji su navedeni u posebnom prilogu o zaštiti na radu. Pri izgradnji sistema su ispoštovani svi važeći tehnički propisi, standardi, tehnički normativi i norme kvaliteta. U nedostatku nacionalnih propisa korišćene su važeće IEC norme i IEC standardi.

Na Slici 10 je prikazana dispozicija podstanice elektromagnetnog separatora, kao jednog od najbitnijih delova sistema za detekciju i odvajanje metala sa transportne trake na PK "Drmno" u Kostolcu. Na Slici 10 se uočavaju osnovni elementi podstanice elektromagnetnog separatora, označeni pozicijama (1)-(5):

- 1) transportna traka B2000 transporter UZ-5,
- 2) noseća konstrukcija elektromagneta,
- 3) elektromagnet 196Vdc/82A,
- 4) razvodni orman energetike i napajanja elektromagneta (+ROE),
- 5) razvodni orman automatike (+ROA).



Slika 10. Prikaz dispozicije podstanice elektromagnetnog separatora



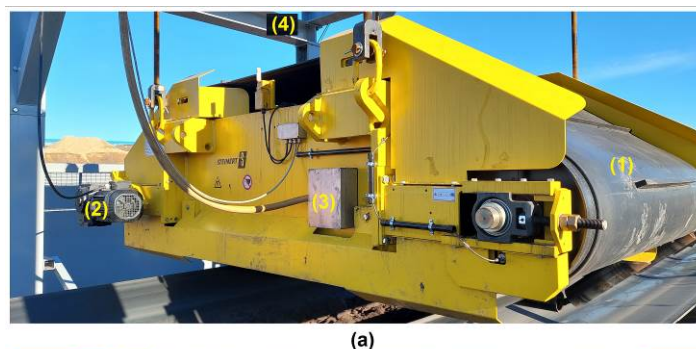
Slika 11. Prikaz konstrukcije snažnog elektromagneta i pripadajuće opreme u sklopu podstanice za elektromagnetnu separaciju

Na Slici 11 je prikazana konstrukcija snažnog elektromagneta i pripadajućih elemenata koji čini sastavni deo elektromagnetnog separatora. Glavni delovi elektromagnetnog separatora sa Slike 11 su:

- 1) elektromagnet 196Vdc/82A,
- 2) sistem za vešanje magneta na noseću konstrukciju,
- 3) transportna traka za „samočišćenje“ elektromagneta pogonjena asinhronim elektromotorom snage 5,5kW,
- 4) razvodni orman energetike i napajanja elektromagneta (+ROE),
- 5) razvodni orman automatike (+ROA).

Na Slici 12 je dat prikaz osnovnih elemenata snažnog elektromagneta. Na Slici 12(a) je prikazana konstrukcija elektromagneta zajedno sa pripadajućim transporterom za „samočišćenje“, dok je na Slici 12(b) prikazan deo transportne trake za „samočišćenje“ i deo magnetnih polova elektromagneta. Osnovni delovi prikazani na Slikama 12(a),(b) su dati po pozicijama:

- 1) transportna traka transportera za „samočišćenje“ elektromagneta,
- 2) pogonski asinhroni motor transportne trake za samočišćenje snage 5,5kW,
- 3) priključna kutija elektromagneta,
- 4) noseća konstrukcija elektromagneta,
- 5) deo transportne trake B2000 glavnog transporter UZ-5 na površinskom kopu.



(a)



(b)

Slika 12. Prikaz konstrukcije snažnog elektromagneta; (a) osnovni elementi, (b) transportna traka i polovi elektromagneta

Na Slici 13 je dat prikaz razvodnog ormana energetike +ROE iz koga se obezbeđuje napajanje snažnog elektromagneta karakteristike 196Vdc/82A i pogon pripadajućeg transporter snage 5,5kW koji služi za odvođenje prikupljenih metalnih delova sa polova elektromagneta. Na Slici 13(a) je dat bočni

izgled +ROE na kome je montiran hladnjak trofaznog diodnog ispravljača –Q22.1, dok je na Slici 13(b) dat bočni izgled +ROE na kome je montirana rashladna jedinica kojom se obezbeđuje potrebna klimatizacija opreme (temperatura i vlaga) u unutrašnjosti +ROE.



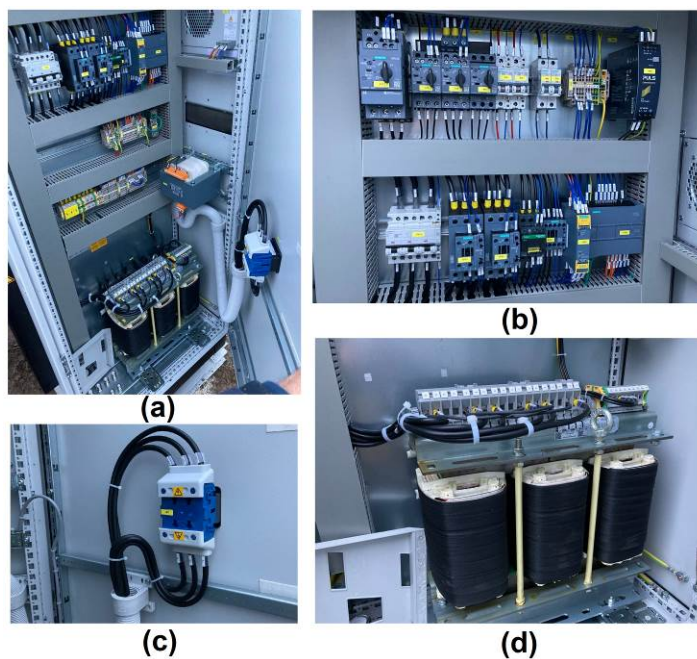
Slika 13. Prikaz razvodnog ormara energetike +ROE (napajanje snažnog elektromagneta i pripadajućeg pogona transportera); (a) bočni izgled +ROE na kome je montiran hladnjak trofaznog diodnog ispravljača, (b) bočni izgled +ROE na kome je montirana njegoa rashladna jedinica

Na Slici 14 je dat prikaz unutrašnjosti razvodnog ormara energetike sistema za detekciju i elektromagnetnu separaciju metalnih delova. Na Slici 14(a) je prikazana unutrašnjost +ROE sa svom potrebnom sklopnom, kontaktorskom i relejnom opremom, kao i mernim i upravljačkim modulima, koji su prikazani na Slici 14(b). Na Slici 14(c) je prikazan trofazni glavni prekidač –Q20 koji je montiran na prednjim vratima +ROE i sa kojim se on dovodi na napajanje 3x400V, 50Hz. Na Slici 14(d) je dat prikaz ispravljačkog transformatora T22 sprege „zvezda-trougao“ i sa višesekcijskim izvodima na sekundaru.

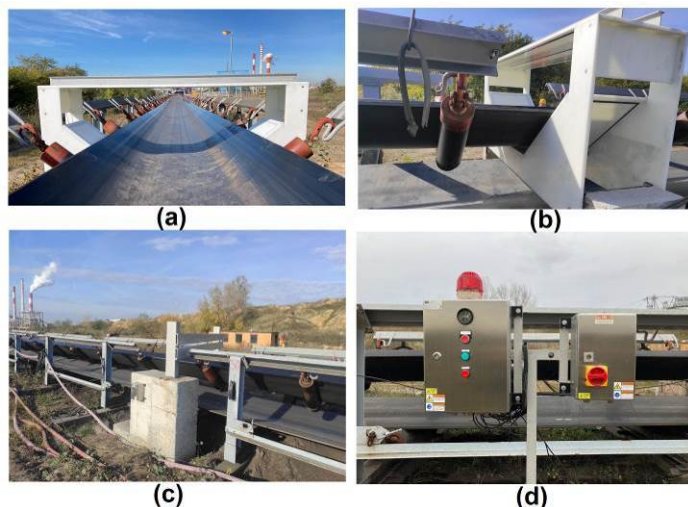
Na Slici 15 je dat prikaz konstrukcije metal detektora i pripadajuće pomoćne i napojne opreme. U okviru ovog projekta je izabran metal detektor proizvodnje ERIEZ, ser.br. 118026. Na Slici 15(a) je prikazan pogled na metal detektor sa prednje strane (neposredno iznad transportne trake B2000), dok je na Slici 15(b) prikazan bočni pogled na isti. Na Slici 15(c) je dat prikaz konstrukcije pomoćnog detektora koji se koristi za detekciju spojeva na traci B2000. Na Slici 15(d) je dat prikaz glavnog napojnog ormara metal detektora +EF sa glavnim prekidačem i upravljačkog ormara metal detektora +ROMD.

U sklopu glavnog napojnog ormara +EF se pored sklopne opreme nalazi i elektromagnetni filter za prigušenje smetnji koji

bi eventualno mogle doći iz napojne mreže i koje bi mogle ugroziti rad upravljačke elektronike metal detektora.



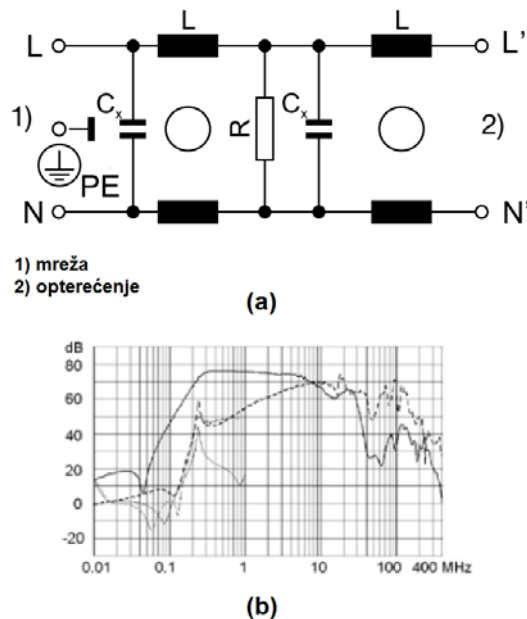
Slika 14. Prikaz unutrašnjosti +ROA; (a) unutrašnja montažna ploča sa svom pripadajućom opremom, (b) detalj prikaza skopne i merne opreme, (c) pozicija glavnog prekidača na vratima (d) prikaz ispravljačkog transformatora T22.



Slika 15. Prikaz konstrukcije metal detektora i pripadajuće opreme; (a) metal detektor iznad trake UZ-5, (b) bočni pogled na konstrukciju metal detektora, (c) prikaz pomoćnog detektora spojeva trake B2000, (d) glavni napojni ormar metal detektora +EF sa mrežnim filtrom i upravljački ormar metal detektora +ROMD sa pripadajućim komandnim tasterima.

Topologija i karakteristika ugrađenog elektromagnetnog filtra za prigušenje mrežnih smetnji su dati na Slici 16. Na Slici 16(a) je prikazana topologija samog elektromagnetnog filtra tip 3A/Dizajn C proizvodnje *Scheffner* (dvostruki induktivno - kapacitivni L-Cx, „Γ“ tipa, sa spregnutim induktivnostima) za

nominalnu struju 3A i za napon 125/230V, 50Hz/60Hz. Karakteristika slabljenja filtra izražena u decibelima [dB] u funkciji od učestanosti izražene u [MHz] je data dijagramom na Slici 16(b). Filtar je projektovan za rad u režimu „common mode“ sa karakterističnom impedansom 50Ω , tako da je odgovarajuća karakteristika data dijagramom na Slici 16(b), označenim punom linijom. Sa ovog dijagrama se uočava da je za ovaj slučaj maksimalno slabljenje od 80dB i za frekventni opseg 0,2MHz÷8MHz, što se pokazalo kao zadovoljavajuće rešenje u ovoj aplikaciji sa izabranim metal detektorom proizvodnje ERIEZ.



Slika 16. Elektromagnetni filter za prigušenje mrežnih smetnji na upravljačkom ormanu metal detektora; (a) topologija filtra, (b) karakteristika slabljenja

IV ZAKLJUČAK

U radu je predstavljena realizacija postrojenja i pripadajućih podсистema za detekciju i izdvajanje metala na transportnoj traci B2000 transportera UZ-5 za dopremu uglja sa PK „Drmno“ na blokove TE „Kostolac“. U okviru predstavljenog projekta su realizovani podsystemi elektromagnetnog separatora: (1) mehanička konstrukcija za fiksiranje i vešanje elektromagneta separatora (snažni elektromagnet 196Vdc/82A) i pripadajuće opreme, (3) transporter za „samočišćenje“ sa kontrolisanim elektromotornim pogonom snage 5,5kW, za odvajanje izdvojenih delova na polovima elektromagneta, (4) metal detektor sa pripadajućom energetskom i upravljačkom opremom, (5) razvodni orman energetike (+ROE), uključujući i

ispravljačku opremu za napajanje elektromagneta, (6) razvodni orman automatike (+ROA) iz koga se PLC uređajem obezbeđuje nadzor i kontrola celokupnog postrojenja za detekciju i izdvajanje metalnih delova.

Eksplotaciona ispitivanja, testiranje i puštanje u rad postrojenja sa dokazivanjem parametara su obavljani polovinom decembra 2022., dok su finalna ispitivanja i puštanja elektromagneta i metal detektora obavljani sredinom marta 2023.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Istraživanje u ovom radu je delom podržano kroz komercijalni projekat firme IMP-Projekt Inženjering sa PK. „Drmno“-Kostolac (broj Ugovora 20600-E.05.01-164239/1-2021 od 14.06.2021), a delom od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija, Republike Srbije kroz u krovni projekat pod Ugovorom br. 451-03-47/2023-01/200103.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Jevtović, A., Despotović, Ž. *Projekat izvedenog objekta postrojenja za detekciju i izdvajanje metala-4: projekat elektroenergetskih instalacija*, IMP-Projekt Inženjering, Beograd, 2022.
- [2] Jevtović, A., Đokić, D., Ilić, B. *Projekat izvedenog objekta postrojenja za detekciju i izdvajanje metala-6: projekat mašinskih instalacija*, IMP-Projekt Inženjering, Beograd, 2022.
- [3] Morgan, D.G. Magnetic separators for protection of process equipment, *Powder and Bulk Engineering*, Vol. 2, No. 7, p. 15, 1988.
- [4] Svoboda, J. *Magnetic Techniques for the Treatment of Materials*, Kluwer Academic Publishers, New York, 2004.
- [5] Despotović, Ž.V., Čupić, B., Lekić, Đ. Design and verification of 22kW / 220Vdc electromagnet for separation of steel parts from coal on conveyor belts for delivery, in *Proc. 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp. 1-6, 13. April 2022. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH53737.2022.9751300>
- [6] Dewan, S.B., Straughen, A. *Power Semiconductor Circuits*, Wiley, New York, 1975.
- [7] Ball, B.E., Deerson, J., Koppe, H., Monypenny A.F. *Rectifier Diodes-Application Book*, PHILIPS, Eindhoven, 1969.

AUTORI/AUTHORS

dr Željko V. Despotović - naučni savetnik, Institut “Mihajlo Pupin”, Univerzitet u Beogradu, zeljko.despotovic@pupin.rs, ORCID [0000-0003-2977-6710](https://orcid.org/0000-0003-2977-6710)

msr Dejan Đokić - master inženjer mašinstva, IMP-Projekt Inženjering, Beograd, Srbija, dejan.djokic@impprojekt.com, ORCID [0009-0003-9687-2419](https://orcid.org/0009-0003-9687-2419)

msr Boris Ilić - master inženjer mašinstva, IMP-Projekt Inženjering, Beograd, Srbija, boris.ilic@impprojekt.com, ORCID [0009-0009-6492-7060](https://orcid.org/0009-0009-6492-7060)

Dragan Milisavljević - dipl. inž. elektrotehnike, AD EPS TE „Kostolac“, Kostolac, Srbija, dragan.milisavljevic@te-ko.rs, ORCID [0009-0009-6187-2893](https://orcid.org/0009-0009-6187-2893)

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

621.3

ENERGIJA, ekonomija, ekologija : list Saveza
energetičara / glavni i odgovorni urednik Dušan Gordić
. - God. 1, br. 1 (1996)- . - Beograd : Savez energetičara,
1996- (Kragujevac : Mašinac). - 29 cm

Tromesečno. - Drugo izdanje na drugom medijumu:
Energija, ekonomija, ekologija (Online) = ISSN 2812-7528
ISSN 0354-8651 = Energija (Beograd)
COBISS.SR-ID 108696839



www.savezenergeticara.org