

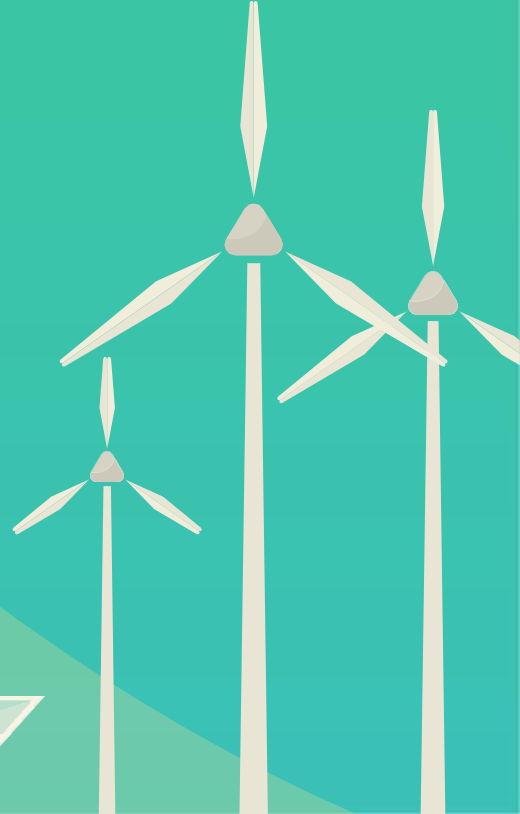
ISSN 0354-8651



List Saveza energetičara  
Broj 2 / Godina XXIV / Jun 2022.

# energija

| ekonomija | ekologija



# energija

| ekonomija | ekologija



**Energija / Ekonomija / Ekologija**

**Broj 2, Jun 2022**

**Izdavač:**

**Savez energetičara**  
**Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd**  
**e-mail: [info@savezenergeticara.org](mailto:info@savezenergeticara.org)**  
**<http://www.savezenergeticara.org>**

**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, Univerzitet u Kragujevcu**

**Uređivački odbor i izdavački savet:**

**prof. dr Željko Đurišić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu**  
**prof. dr Dejan Ivezić, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu**  
**prof. dr Mirka Komatina, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu**  
**prof. dr Željko Despotović, Institut Mihailo Pupin Beograd**  
**prof. dr Petar Đukić, Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu**  
**prof. dr Nenad Đajić, Akademija inženjerskih nauka Srbije**  
**prof. dr Damir Đaković, Fakultet tehničkih nauka u Novim Sadu**  
**prof. dr Nenad Đajić, Akademija inženjerskih nauka Srbije**  
**dr Vladimir Šiljkut, JP Elektroprivreda Republike Srbije**  
**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 Ćirić, 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:**  
**100**

**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] Filip KULIĆ, Ilija KAMENKO, Vladimir BUGARSKI, Perica NIKOLIĆ  
**Određivanje biometanskog potencijala za različite vrste sirovina /**  
Determination of Biomethane Potential for Different Materials
  
- [06] Andreja STEFANOVIĆ  
**Vertikalne fasade solitera kao lokacije za instalaciju fotonaponskih**  
**panela / Vertical Facades of the High-Rise Buildings as Locations for the**  
Photovoltaic Panels Installation
  
- [13] Milica MLADENović, Dragoljub DAKIĆ, Nevena PETROV  
**Potencijal reindustrializacije Republike Srbije uz korišćenje biomase**  
**kao obnovljivog vida goriva / The Potential for Reindustrialization of the**  
Republic of Serbia with the Use of Biomass as a Renewable Fuel
  
- [19] Nikola KRSTIĆ, Dragan TASIĆ, Dardan KLIMENTA  
**Poboljšanje rada distributivne mreže u uslovima velikih opterećenja**  
**korišćenjem fotonaponskih i sistema za skladištenje energije /**  
Improving the Operation of the Distribution Network in High Load  
Conditions Using Photovoltaic and Energy Storage Systems
  
- [28] Jovan ILIĆ, Aleksandar LATINOVIĆ, Dejan Ostojić  
Monitoring efikasnosti hidroelektrana kroz parametre SKADA sistema /  
**Monitoring of the Hydropower Plants Efficiency through SCADA**  
**Parameters**
  
- [33] Miroslav PAROVIĆ  
**Razvoj energetske zajednice kao aktivna mera za podsticaj pravedne**  
**energetske tranzicije u Republici Srbiji / Development of Energy**  
Communities as an Active Measure to Encourage a Just Energy Transition  
in the Republic of Serbia

- [40] Igor SHESHO, Monika ULER-ZEFIKJ, Risto FILKOSKI, Done TASHEVSKI  
**Značaj sistema daljinskog grejanja u periodima energetske krize: Studija slučaja za grad Skoplje / The Importance of District Heating Systems in Periods of Energy Crisis: Case Study for the City of Skopje**
  
- [46] Radoslav RAKOVIĆ, Sanja Petrović BEĆIREVIĆ  
**Energetski menadžment i ciljevi održivog razvoja / Energy Management and Sustainable Development Goals**
  
- [54] Predrag JOVANČIĆ, Dragan IGNJATOVIĆ, Stevan ĐENADIĆ, Miloš TANASIJEVIĆ, Filip MILETIĆ  
**Koncept prediktivnog održavanja 4.0 (PdM) u energetici - konekcija sa budućom primenom Industrije 5.0 / The Concept of Predictive Maintenance 4.0 (PdM) in Energy Sector - Connection with Future Application of Industry 5.0**
  
- [61] Aleksandar LATINOVIĆ, Milan ĐORĐEVIĆ, Dragan SURUDŽIĆ, Vladimir ŠILJKUT  
**Povećanje učešća obnovljivih izvora energije u sistemima za daljinsko grejanje / Increasing the Share of Renewable Energy Sources in District Heating Systems**
  
- [68] Jasmina MANDIĆ-LUKIĆ, Đorđina MILOVANOVIĆ, Maja STIPIĆ, Radoslav RAKOVIĆ, Sanja PETROVIĆ-BEĆIROVIĆ  
**Energetska tranzicija – inteligentna, pravedna i ekološki prihvatljiva / Energy Transition – Smart, Green and Just Transition**
  
- [75] Đorđe DUKANAC  
**Optimalno podešavanje rezolucije registra električne energije pametnog brojila / Optimal Adjustment of the Resolution of the Electricity Register of the Smart Meter**

# Određivanje biometanskog potencijala za različite vrste sirovina

## Determination of Biomethane Potential for Different Materials

Filip Kulić, Ilija Kamenko, Vladimir Bugarski, Perica Nikolić

Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

**Rezime** - Projektovanje i konstrukcija anaerobnih reaktora za širok interval različitih substrata iz jednog ili više izvora zahtevaju dobro razumevanje fizičkih i biohemijskih karakteristika svakog pojedinačnog substrata. Testovi biološkog ili biohemijskog metanskog potencijala (Biochemical Methane Potential - BMP), tj. analize anaerobne biorazgradljivosti, koriste se za određivanje anaerobne biorazgradljivosti i krajnjeg metanskog potencijala otpada ili biomase, kao i brzine biodegradacije u laboratorijskim uslovima. U ovom radu je prikazana upotreba automatizovanog sistema za testiranje potencijala za proizvodnju metana (Automated Methane Potential Test System - AMPTS). AMPTS je razvijen za on-line merenja ultra-niskih protoka biogasa i bio-metana proizvedenih iz anaerobne fermentacije bilo kojeg biološki razgradivog supstrata (i čvrstog i tečnog oblika) na laboratorijskom nivou. Konkretna merenja i analiza rezultata je izvršena za različite tipove sirovina: mulj iz prerađene otpadne vode, životinjski stajnjak, kukuruzna silaža, slama i njihove kombinacije.

**Ključne reči** - biogas, biometanski potencijal, sirovine

**Abstract** - The design and construction of anaerobic reactors for a wide range of substrates from one or more sources require a good understanding of each substrate's physical and biochemical characteristics. Tests of biological or biochemical methane potential (BMP), i.e., anaerobic biodegradability analyses, are used to determine anaerobic biodegradability and total methane potential of waste or biomass, as well as the velocity of the process in laboratory conditions. This paper presents the use of an automated methane production potential testing system (AMPTS). AMPTS was developed for online measurements of ultra-low flows of biogas and bio-methane produced from the anaerobic fermentation of any biodegradable substrate (both solid and liquid form) at the laboratory level. Specific measurements and analysis of the results were performed for different raw materials: sludge from treated wastewater, animal manure, corn silage, straw, and their combinations.

**Index Terms** - Biogas, Biomethane Potential, Raw Materials

### 1 UVOD

Biogas je vrsta gasovitog biogoriva koje se dobija anaerobnom razgradnjom ili fermentacijom organskih materija, uključujući đubrivo, kanalizacioni mulj, komunalni otpad ili bilo koji drugi biorazgradivi otpad (ostatak od biljne i

životinjske proizvodnje i prerade, organski otpad iz industrijske proizvodnje i sl.)[1]. Svaka od prethodno navedenih sirovina ima svoje osobenosti u pogledu potrebnih uslova za proizvodnju biogasa, a sam proces je strogo definisan u pogledu tehničko-tehnoloških uslova (vrsta mikroorganizama koji vrše fermentaciju, temperatura i pH vrednost) i veoma malo tolerantan na njihovu promenu. Iz prethodno navedenog se vidi da je kombinovanje različitih vrsta sirovina u jednom fermentoru veoma zahtevan posao i težak zadatak [2]. Mešanje različitih vrsta sirovina (koje zahtevaju npr, različite vrste bakterija za fermentaciju i različitu pH vrednost) u fermentoru, bez unapred poznate recepture (međusoban odnos komponenti za proizvodnju biogasa), može prouzrokovati različita neželjena stanja kao što je naglo i nekontrolisano razbuktavanje procesa ili njegovo potpuno zamiranje. Iz tog razloga je potrebno poznavati karakteristike potencijalnih sirovina za proizvodnju biogasa, kao i njihove međusobne uticaje kada se nađu zajedno u fermentoru [3]. Ovo je od posebnog značaja kada se ima u vidu da su fermentori veliki objekti, od po više hiljada m<sup>3</sup>, i da neoprezno rukovanje i eksperimentisanje može da dovede do velikih materijalnih i novčanih gubitaka i prouzrokuje značajno zagađenje životne sredine u okruženju u kome se nalaze.

Konvencionalni BMP test obezbeđuje preliminarnu indikaciju biorazgradljivosti podloge i njenog potencijala za proizvodnju metana putem anaerobne digestije. Metode zasnovane na merenju krajnjeg gasovitog proizvoda (bio-metana) su razvijene i registrovane kao standardizovane procedure na raznim eksperimentalnim sistemima. Normalna procedura za utvrđivanje metanogene aktivnosti podrazumeva inokulaciju određenog broja bočica koje sadrže malu količinu ciljnog medijuma anaerobnim inokulumom, inkubiranje na kontrolisanoj temperaturi, periodično proveravanje proizvodnje metana ručnim uzorkovanjem, određivanjem zapremine ispuštenog gasa i analizu sastava gasa primenom gasne hromatografije (GC). Nažalost, gore opisane procedure ne zahtevaju samo skupu laboratorijsku opremu (npr. GC), već su takođe veoma vremenski zahtevni i radno intenzivni zbog velikog broja flašica i sličnih posuda koje se obično koriste i prilično dugih perioda inkubacije (npr. preko jednog meseca). Proizvedeni biogas i njegov sadržaj metana mogu se meriti samo periodično, što onemogućava dobijanje zadovoljavajućih podataka radi potpunog razumevanja dinamike biološke degradacije sirovine za proizvodnju biogasa. Takođe, teško je izvršiti test na zadovoljavajući način u okviru normalne radne rutine laboratorije. Iz tog razloga, postoji potreba za visoko automatizovanim sistemom za test biometanskog

potencijala koji omogućava sakupljanje visokokvalitetnih podataka, koji su manje radno intenzivni i gde nije potrebna skupa laboratorijska oprema za izvođenje testa.

Pored finalnog rezultata koji čini ukupan biometanski potencijal određene sirovine, jako je bitna i dinamika odvijanja procesa. Komercijalna proizvodnja biogasa pored ukupne količine i kvaliteta biogasa zahteva i određenu dinamiku. Obzirom da se biogas proizvodi skoro istom dinamikom kako se i troši (slično kao i električna energija) potrebno je obezbediti tekuće dovoljne količine za pogon kogenerativnih postrojenja. Iz tog razloga je bitno poznavanje dinamike proizvodnje biogasa određene sirovine.

Poznavanje dinamike proizvodnje biogasa je jedno od najbitnijih ali ne i jedino pitanje od interesa za komercijalnu proizvodnju biogasa. Neka od bitnih pitanja su na primer: koji su optimalni uslovi za rad postrojenja? Kolika je maksimalna količina i brzina proizvodnje biogasa? Da li se u fermentoru mogu kombinovati različite vrste sirovina? Ako mogu, koje su to sirovine, koje su količine (međusobni odnosi) pojedinih sirovina i pod kojim uslovima se one mogu mešati? Kako da se optimizuje proizvodnja u dužem vremenskom periodu (kroz različite sezone) i da se izvuče maksimalna korist (profit) iz postrojenja? Odgovori na ova ali i mnoga druga pitanja se mogu dobiti kroz primenu laboratorijskog postrojenja za proizvodnju biogasa.

U ovom radu je prikazana upotreba automatizovanog sistema za testiranje potencijala za proizvodnju metana (Automated Methane Potential Test System - AMPTS). AMPTS je razvijen za online merenja ultra niskih protoka biogasa i biometana proizvedenih iz anaerobne fermentacije bilo kojeg biološki razgradivog supstrata (i čvrstog i tečnog oblika) na laboratorijskom nivou. Konkretna merenja i analiza rezultata je izvršena za različite tipove sirovina: mulj iz prerađene otpadne vode, životinjski stajnjak, kukuruzna silaža, slama, drvo i njihove kombinacije.

## II PRIPREMA LABORATORIJSKOG POSTROJENJA ZA ODREĐIVANJE BIOMETANSKOG POTENCIJALA

Sa stanovišta proizvođača biogasa, razumevanje potencijala sirovine za proizvodnju metana i njenog dinamičkog profila biološke degradacije značajno utiče na izbor organskog otpada / materijala za fermentaciju, kao i bolje razumevanje kvaliteta sirovog gasa proizvedenog u postrojenju za proizvodnju biogasa. Ovo poslednje za posledicu ima uticaj na ukupnu količinu kvalitetnijeg biometana koji se može proizvesti u komercijalnom biogasnom postrojenju. Razumevanje metanskog potencijala supstrata ima direktan uticaj na profitabilnost komercijalnog proizvođača biogasa, kao i na količinu proizvedenog biometana.

Test sistem za određivanje BMP (Slika 1) (Automated Methane Potential Test System - AMPTS) se sastoji iz tri celine. Prvi deo (jedinica A), u kome se vrši inkubacija je termostatsko vodeno kupatilo u kome se nalazi 15 staklenih fermentora zapremine 500 ml opremljenih poklopcima sa elektromotornim agitatorima. Drugi deo (jedinica B) je CO<sub>2</sub> apsorpciona jedinica koja se sastoji od 15 staklenih bočica zapremine 100 ml. Treći deo (jedinica C) je uređaj za merenje zapremine proizvedenog biogasa koji se sastoji od rezervoara za vodu u kome se nalazi 15

ćelija za merenje protoka i procesorske jedinica za upravljanje procesom i akviziciju podataka.



**Slika 1.** Deo laboratorijske opreme na kojoj su vršeni eksperimenti

AMPTS prati iste principe merenja kao i konvencionalni testovi metanskog potencijala [4–6], koji rezultate analize u potpunosti čini uporedivim sa standardnim metodama. Međutim, sa AMPTS, analiza i evidentiranje podataka su potpuno automatski tokom dugog perioda inkubacije, što značajno smanjuje zahteve za vremenom i radom tokom provođenja analize. Osim toga, može se dobiti visok kvalitet podataka koji se mogu koristiti za izdvajanje kinetičkih informacija o procesu degradacije. Ovo će zauzvrat omogućiti mnogo bolje razumevanje dinamike degradacije specifičnog supstrata biomase, što dalje dovodi do poboljšanog odvijanja procesa.

Postavka eksperimentalnog laboratorijskog postrojenja može se podeliti u tri celine: A, B i C, kako je navedeno u prethodnom tekstu.

U jedinici za inkubaciju uzorka (jedinica A), 15 reaktora koji sadrže male količine uzorka sa anaerobnim inokulumom se inkubiraju na željenoj temperaturi. Medij u svakoj bočici se meša lagano rotirajućom mešalicom. Biogas se kontinualno proizvodi, što je parametar koji se koristi za procenu aktivnosti biometanacije unutar svake bočice.

U jedinici za apsorpciju CO<sub>2</sub> (jedinica B), biogas koji se proizvodi u svakom reaktoru prolazi kroz pojedinačnu bočicu koja sadrži alkalni rastvor. Nekoliko frakcija kiselih gasova, kao što su ugljen dioksid (CO<sub>2</sub>) i vodonik sulfid (H<sub>2</sub>S), zadržane su hemijskom interakcijom sa natrijum hidroksidom (NaOH), dozvoljavajući samo da metan (CH<sub>4</sub>) prođe do uređaja za merenje zapremine gasa. Indikator pH se dodaje u svaku bočicu za kontrolu kapaciteta vezivanja kiseline za rastvor.

U uređaju za merenje zapremine gasa (jedinica C), zapremina metana (CH<sub>4</sub>) koji se oslobađa iz jedinice B se meri uređajem za merenje protoka vlažnog gasa sa višestrukim sistemom mernih ćelija (15 ćelija). Ovaj merni uređaj radi u skladu sa principom istiskivanja tečnosti i uzgona te može pratiti ultra niske protoke gasa; digitalni impuls se generiše kada određena zapremina gasa teče kroz uređaj. Integrisani mikroprocesorski sistem za

prikupljanje podataka se koristi za snimanje, prikaz i analizu rezultata [7].

Ovako koncipirana i opremljena laboratorija je u mogućnosti da u potpunosti reprodukuje svaki proces proizvodnje biogasa, detektuje nepravilnosti i probleme i proizvede preporuke i recepture za poboljšanje i deluje savetodavno u pravcu optimalne proizvodnje. Sve ovo omogućuje namenski birana i nabavljena oprema ali i petnaest fermentora koji svaki za sebe predstavlja nezavisan sistem za proizvodnju biogasa.

Pojedinačni eksperimenti su trajali od jedne do osam nedelja u zavisnosti od toga kojom se dinamikom odvijao proces te od ostalih uslova koji su uticali na duže ili kraće trajanje procesa.

Korištene su sledeće vrste sirovina: mulj iz prerade otpadnih voda, otpadna voda iz procesa prerade, kukuruzna silaža, pšenična slama, čvrsti goveđi stajnjak, drvena sečka, zelena i otpadna biomasa (trava, lišće).

Cilj istraživanja je bio ispitivanje mogućnosti izrade receptura za dopunjavanje industrijskog fermentora, koji trenutno koristi isključivo mulj iz prerade komunalnih otpadnih voda, drugim vrstama sirovina. U tu svrhu su ispitivane sledeće vrste sirovina i njihove kombinacije: kukuruzna silaža, biorazgradivi otpad (prehrambeni otpad), drvo (drvena sečka), silaža + drvo u odnosima 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 i 5:1, čvrsti goveđi stajnjak, stajnjak + silaža u odnosu 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, slama, slama + silaža u odnosu 1:3 i 1:1.

Svi eksperimenti su vršeni pod istim uslovima. Uslovi su usvajani u skladu sa parametrima realnog procesa u industrijskom fermentoru koji za sirovinu koristi mulj iz prerade komunalnih otpadnih voda. Temperatura u fermentorima je bila 35°C i pritisak 30 mbarg. Mešanje supstrata je vršeno mehaničkom mešalicom brzine obrtanja 48 o/min, sa periodima rada od 120 sec i pauzom 30 sec između dva uključanja. Pri svakom uključanju je menjan smer obrtanja mešalice. Pretpostavljeni sadržaj metana (CH<sub>4</sub>) je bio 60%. Svi su fermentori bili punjeni do 2/3 kapaciteta. Fermentori zapremine 600 ml su punjeni sa 400 ml supstrata dok su fermentori zapremine 10 l bili punjeni sa 6,6 l supstrata. Ispiranje sistema pre pokretanja eksperimenata radi ostvarivanja anaerobnih uslova je vršeno čistim azotom N<sub>2</sub> u trajanju od 60 sec. Tokom vršenja eksperimenata vršena je temperaturna i kompenzacija pritiska tako da su svi rezultati svedeni na 0°C i 1000 mbar. Inokulum za sve procese je bio aktivni mulj iz industrijskog fermentora.

Inokulum je materijal koji u sebi sadrži aktivne materije (bakterije) i služi za pokretanje procesa fermentacije u supstratu. Inokulum je u ovom slučaju mulj koji predstavlja ostatak nakon prerade komunalnih otpadnih voda izvađen iz fermentora (aktivni mulj). Mulj koji predstavlja ostatak nakon prerade komunalnih otpadnih voda pre ubacivanja u fermentor se naziva „sirovi mulj“.

### III EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE BIOMETANSKOG POTENCIJALA

Pokretanje eksperimenata za određivanje potencijala biogasa podrazumeva određene preliminarne pripreme radnje. Najvažniji pripremni rad je određivanje ukupne količine

organske suve materije u sirovini. Tabela 1 sadrži podatke o ukupnoj količini organske suve materije (VS – Volatile Substrat) u korišćenim sirovinama. U tabeli su prikazani minimalni (VSmin [%]), maksimalni (VSmax [%]) i prosečan (VSavg [%]) relativni sadržaj organske suve materije u sirovini. Podaci su utvrđeni eksperimentalno u laboratoriji i odnose se na specifične uzorke koji su korišćeni za realizaciju eksperimenata za određivanje biometanskog potencijala. To je razlog zašto određene količine odstupaju od uobičajenih teorijskih i tabelarnih vrednosti u literaturi. Za analizirane sirovine utvrđena je standardna devijacija, odnosno odstupanje vrednosti za pojedinačne uzorke od izračunate srednje vrednosti sadržaja organske suve materije. Vidi se da je standardna devijacija manja od 5%, što ukazuje na ujednačen kvalitet upotrebljenih sirovina u pogledu sadržaja organske suve materije.

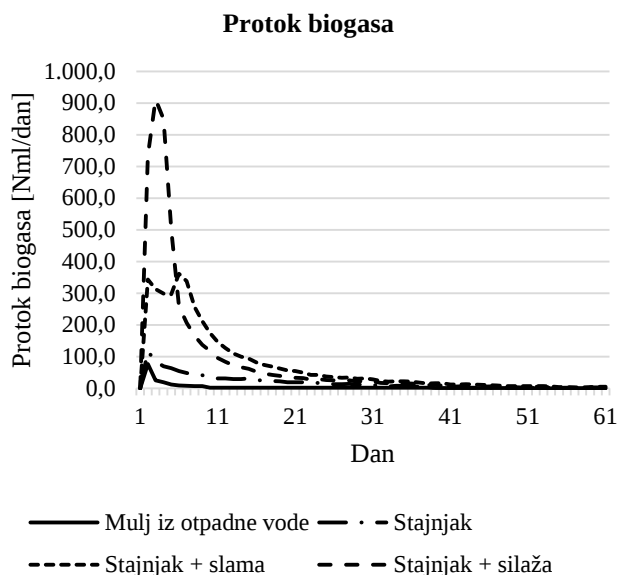
Na osnovu rezultata izvedenih eksperimenata formirana je tabela 2 koji sadrži podatke o biometanskom potencijalu pojedinih sirovina i njihovih kombinacija za proizvodnju biogasa: minimalna i maksimalna specifična proizvodnja biogasa i sadržaj metana (CH<sub>4</sub>) za različite sirovine i njihove kombinacije.

**Tabela 1.** Ukupna količina organske suve materije (VS) u korišćenim sirovinama

| No. | Sirovina                                | VSmin [%] | VSmax [%] | VSavg [%] | Standardna devijacija [%] |
|-----|-----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|
| 1.  | Mulj iz biogasnog postrojenja           | 2,1%      | 2,6%      | 2,4%      | 0,4%                      |
| 2.  | Mulj iz prerade otpadne vode            | 1,1%      | 1,5%      | 1,3%      | 0,3%                      |
| 3.  | Kukuruzna silaža                        | 29,8%     | 32,4%     | 31,1%     | 1,8%                      |
| 4.  | Biorazgradivi otpad (prehrambeni otpad) | 8,0%      | 12,0%     | 10,0%     | 2,8%                      |
| 5.  | Drvo (drvena sečka)                     | 65,0%     | 72,0%     | 68,5%     | 4,9%                      |
| 6.  | Silaža + drvo u odnosu 1:1              | 47,4%     | 52,2%     | 49,8%     | 3,4%                      |
| 7.  | Silaža+drvo u odnosu 2:1                | 41,5%     | 45,6%     | 43,6%     | 2,9%                      |
| 8.  | silaža+drvo u odnosu 3:1                | 38,6%     | 42,3%     | 40,5%     | 2,6%                      |
| 9.  | silaža+drvo u odnosu 4:1                | 36,8%     | 40,3%     | 38,6%     | 2,5%                      |
| 10. | silaža+drvo u odnosu 5:1                | 35,7%     | 39,0%     | 37,3%     | 2,4%                      |
| 11. | Čvrsti goveđi stajnjak                  | 13,6%     | 19,0%     | 16,3%     | 3,8%                      |
| 12. | stajnjak + silaža u odnosu 1:1          | 21,7%     | 25,7%     | 23,7%     | 2,8%                      |
| 13. | stajnjak + silaža u odnosu 2:1          | 19,0%     | 23,5%     | 21,2%     | 3,2%                      |
| 14. | stajnjak + silaža u odnosu 3:1          | 17,7%     | 22,4%     | 20,0%     | 3,3%                      |
| 15. | stajnjak + silaža u odnosu 4:1          | 16,8%     | 21,7%     | 19,3%     | 3,4%                      |
| 16. | slama                                   | 41,6%     | 46,5%     | 44,1%     | 3,5%                      |
| 17. | slama + silaža u odnosu 1:3             | 32,8%     | 35,9%     | 34,3%     | 2,2%                      |
| 18. | slama + silaža u odnosu 1:1             | 35,7%     | 39,5%     | 37,6%     | 2,7%                      |

**Tabela 2.** Minimalna i maksimalna specifična proizvodnja biogasa i sadržaj metana za različite sirovine i njihove kombinacije

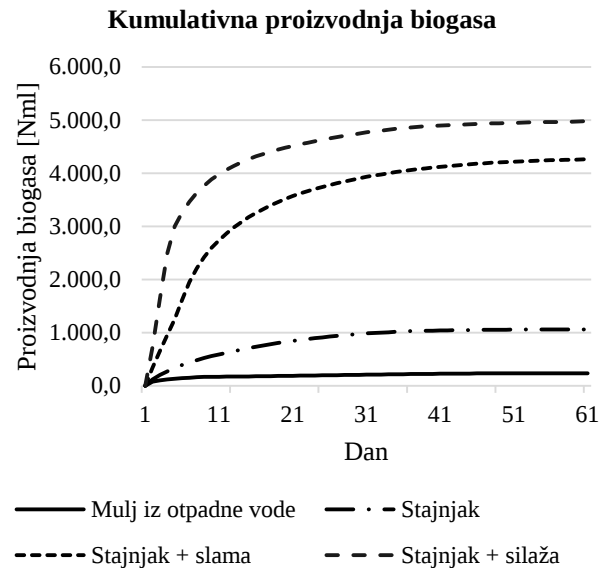
| No. | Sirovina                                | Proizvodnja biogasa [Nml/gVS] | Sadržaj CH <sub>4</sub> [%] |
|-----|-----------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1.  | Mulj iz biogasnog postrojenja           | 13,1 – 21,4                   | 62 - 69                     |
| 2.  | Mulj iz prerade otpadne vode            | 17,9 – 32,4                   | 57 – 65                     |
| 3.  | Kukuruzna silaža                        | 17,8 – 41,9                   | 59 - 68                     |
| 4.  | Biorazgradivi otpad (prehrambeni otpad) | 15,3 – 15,5                   | 51 – 59                     |
| 5.  | Drvo (drvena sečka)                     | 9,6 – 9,8                     | 55 - 57                     |
| 6.  | Silaža + drvo u odnosu 1:1              | 10,5 – 11,3                   | 54 - 59                     |
| 7.  | Silaža+drvo u odnosu 2:1                | 10,6 – 12,6                   | 55 – 61                     |
| 8.  | silaža+drvo u odnosu 3:1                | 12,4 – 24,4                   | 57 - 65                     |
| 9.  | silaža+drvo u odnosu 4:1                | 26,8 - 35,7                   | 61 - 66                     |
| 10. | silaža+drvo u odnosu 5:1                | 28,8 - 31,3                   | 58 - 68                     |
| 11. | Čvrsti goveđi stajnjak                  | 38,4 – 52,6                   | 63 - 70                     |
| 12. | stajnjak + silaža u odnosu 1:1          | 23,9 - 24,5                   | 55 - 66                     |
| 13. | stajnjak + silaža u odnosu 2:1          | 26,8 – 36,2                   | 58 - 67                     |
| 14. | stajnjak + silaža u odnosu 3:1          | 28,8 – 35,1                   | 61 - 69                     |
| 15. | stajnjak + silaža u odnosu 4:1          | 24,4 – 33,9                   | 60 - 66                     |
| 16. | slama                                   | 15,1 - 21,1                   | 63 - 67                     |
| 17. | slama + silaža u odnosu 1:3             | 24,2 – 29,3                   | 61 - 65                     |
| 18. | slama + silaža u odnosu 1:1             | 15,8 – 20,0                   | 57 - 68                     |



**Slika 2.** Protok biogasa tokom trajanja eksperimenta

Slika 2 prikazuje dinamiku proizvodnje biogasa pojedinih sirovina prikazani u normalizovanim ml dnevno [Nml/dan]. Prikazane su proizvodnje za mulj iz otpadne vode, čvrsti goveđi

stajnjak, mešavinu stajnjaka i kukuruzne silaže 1:1 i mešavinu stajnjaka i pšenične slame u odnosu 1:1. Grafikoni pokazuju da je maksimalna proizvodnja biogasa u prvih pet od sedam dana.



**Slika 3.** Kumulativna proizvodnja biogasa tokom trajanja eksperimenta

Slika 3 prikazuje kumulativni dijagram proizvodnje biogasa. Prikazane su proizvodnje za mulj iz otpadne vode, čvrsti goveđi stajnjak, mešavinu stajnjaka i kukuruzne silaže 1:1 i mešavinu stajnjaka i pšenične slame u odnosu 1:1. Sa grafikona se može videti da je najveći deo potencijala sirovine iskorišćen u prvih dvadeset dana fermentacije i da posle toga produkcija biogasa značajno opada.

Posmatrajući slike 2 i 3 može se primetiti da je mulj dobijen preradom komunalne otpadne vode veoma brzo izgubio potencijal, odnosno završio fermentaciju. To je i logično pošto je sadržaj organske suve materije u njemu i najniži, svega oko 2,4%, za razliku od čvrstog goveđeg stajnjaka 16,3% ili kombinacije stajnjaka i silaže u odnosu 1:1 sa čak 23,7%.

Tabela 3 prikazuje ukupnu proizvodnju biogasa za četiri vrste sirovina: mulj od prečišćavanja otpadnih voda, čvrsti goveđi stajnjak, mešavina goveđeg stajnjaka sa slamom i kukuruznom silažom. Eksperimenti su trajali 62 dana. Najbolja proizvodnja je bila za mešavinu čvrstog goveđeg stajnjaka i kukuruzne silaže, a najmanju proizvodnju davao je mulj iz otpadnih voda.

**Tabela 3.** Ukupna proizvodnja biogasa za pojedine vrste sirovina

| Sirovina                  | Mulj iz otpadnih voda | Čvrsti goveđi stajnjak | Stajnjak + slama | Stajnjak + silaža |
|---------------------------|-----------------------|------------------------|------------------|-------------------|
| VSavg [%]                 | 2,4                   | 16,3                   | 28,8             | 23,7              |
| Proizvodnja biogasa [Nml] | 234,3                 | 1.061,7                | 4.262,6          | 4.976,3           |

U skladu sa rezultatima prikazanim na grafikonima 2 i 3 i u tabeli 3 za očekivanje je da sirovina sa većim sadržajem suve organske materije ima i veći BMP, odnosno daje veću količinu biogasa po

jedinici suve organske materije. Međutim, to nije slučaj. Ako se pogleda tabela 1, može se primetiti da drvena sečka ima najveći sadržaj suve organske materije, prosečno čak 68,5% a da, prema tabeli 2, ima najmanji BMP, svega oko 9,7 [Nm/gVS]. Ovo je posledica velikog sadržaja celuloze koja bez prethodne pripreme ne može adekvatno biti prerađena u fermentoru. Takođe, značajne probleme u funkcionisanju fermentora može da prouzrokuje ubacivanje veće količine sveže biljne mase (pokošena trava, orezane grane drveća sa zelenim lišćem, ostaci čišćenja vodotokova...) koja sadrži veliku količinu azota što menja pH vrednost u fermentoru i utiče na osetljivu biološku ravnotežu procesa jer pojavljivanje veće količine amonijaka ( $\text{NH}_4$ ) može značajno da pveća pH vrednost supstrata.

#### IV ZAKLJUČAK

Obnovljivi izvori energije i održivi razvoj kao tema se susreću na svakom koraku. O tome se priča puno, zna nešto a koristi jako malo. Proizvodnja biogasa je veoma atraktivna u područjima intenzivne poljoprivredne proizvodnje, gde postoje velike količine biološkog otpada iz biljne i životinjske proizvodnje kao i značajne površine neplodnog zemljišta pogodnog za uzgoj energetskih biljnih kultura (npr. miscantus). U okviru ovog rada je prikazano određivanje biometanskog potencijala pojedinih sirovina za proizvodnju biogasa i njihovih kombinacija.

Analizom prikazanih rezultata može se zaključiti da prilaz problematici proizvodnje biogasa iz pojedinih sirovina nije jednostavan i jednoznačan. Nije moguće unapred postaviti kvalitetnu proceduru i recepturu za rad pojedinačnog fermentora bez poznavanja osobina i kvaliteta konkretnih sirovina koje će se koristiti za proizvodnju biogasa. Pre pokretanja procesa fermentacije potrebno je izvršiti analizu biometanskog potencijala i spremati recepturu za konkretno biogasno postrojenje i konkretne sirovine koje će se u njemu koristiti. Ako se procenjuje biohemijski metanski potencijal supstrata, najznačajniji parametar za procenu je količina proizvedenog gasa po gramu suve materije. Iz tog podatka se jasno vidi koja je sirovina u kojoj meri pogodna za proizvodnju.

Pokretanje procesa fermentacije je prvi deo celog procesa. Drugi deo je ostvarivanje kvaliteta, kvantiteta i dinamike proizvodnje biogasa, odnosno proizvodnja dovoljne količine biogasa zadovoljavajućeg kvaliteta u realnom vremenu, prema zahtevima potrošnje. Dakle, pored recepture u smislu količina i međusobnih odnosa sirovina za proizvodnju biogasa potrebno je definisati i dinamiku doziranja sirovina u fermentor kako bi se proizvodnja biogasa održala na zadovoljavajućem nivou a sa druge strane sprečilo da supstrat pre završetka fermentacije izlazi iz fermentora.

Rezultati ovog rada su u skladu sa poznatom teorijom i praksom funkcionisanja i eksploatacije biogasnih postrojenja. Ipak, mogu se izvući i neke specifičnosti kao što su procenat suve organske materije kod pojedinih sirovina ili ukupna proizvodnja biogasa po jedinici suve organske materije. Te specifičnosti su posledica konkretne lokacije i biologije biogasnog postrojenja. Biogasno postrojenje se snabdeva sirovinama iz svog okruženja koje su specifičnog kvaliteta za određeno područje. Takođe, unutar

fermentora se uspostavlja proces koji je posledica određene biološke ravnoteže (temperatura, vrsta i količina bakterija, pH vrednost...) koja je specifična za svaki fermentor.

Drugim rečima, opšta metodologija je dobro poznata ali je svako biogasno postrojenje po nečemu specifično i jedinstveno, te su partikularna podešavanja potrebna i poželjna.

Ovaj rad je pokušaj da se skrene pažnja na potrebu i koristi od analize kvaliteta sirovina, njihovog biometanskog potencijala i kvaliteta biogasa. Po mogućstvu, pre donošenja odluke o izgradnji komercijalnog biogasnog postrojenja.

#### ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Ovo istraživanje je podržano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja kroz projekat broj 451-03-68/2022-14/ 200156 "Inovativna naučna i umetnička istraživanja iz domena delatnosti FTN-a".

#### LITERATURA/REFERENCES

- [1] Atelge, M., Krisa, D., Kumar, G., Eskicioglu, C., Nguyen, D., Chang, S., Atabani, A., Al-Muhtaseb, A., Unalan, S. Biogas Production from Organic Waste: Recent Progress and Perspectives, Waste and Biomass Valorization Vol. 11, pp. 1019-1040, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00546-0>
- [2] Almasi, F., Soltanian, S., Hosseinpour, S., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Advanced Soft Computing Techniques in Biogas Production Technology. In: Tabatabaei M, Ghanavati H, editors. Biogas: Fundamentals, Process, and Operation, Cham: Springer International Publishing; 2018, p. 387–417. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77335-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77335-3_15)
- [3] Schnürer, A., Biogas Production: Microbiology and Technology. In: Anaerobes in Biotechnology, Hatti-Kaul R, Mamo G, Mattiasson B, editors. Cham: Springer International Publishing; 2016, p. 195–234. [https://doi.org/10.1007/10\\_2016\\_5](https://doi.org/10.1007/10_2016_5)
- [4] Ohemeng-Ntiamoah, J., Datta, T., Perspectives on variabilities in biomethane potential test parameters and outcomes: A review of studies published between 2007 and 2018, Science of The Total Environment, Vol. 664, pp. 1052–62, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.02.088>
- [5] Badshah, M., Lam, D., Liu, J., Mattiasson, B., Use of an automatic methane potential test system for evaluating the biomethane potential of sugarcane bagasse after different treatments, Bioresource Technology, Vol. 114, pp. 262–269, 2012. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2012.02.022>
- [6] Casaretto, R., Thomsen, F., Born, J., Holm-Nielsen, J., Determination of biogas process efficiency - a practice-oriented alternative to the biomethane potential test, Bioresource Technology Reports, Vol. 7:100201, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2019.100201>
- [7] Bugarski, V., Nikolić, P., Kulić, F., Matić, D., Kamenko, I., Trends in modern SCADA systems, Journal on Processing and Energy in Agriculture, Vol. 19, No. 3, pp.147–150, 2015. <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1821-4487/2015/1821-44871503147B.pdf> [pristupljeno 10.03.2022]

#### AUTORI/AUTHORS

**dr Filip Kulić** - redovni profesor, Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, [kulic@uns.ac.rs](mailto:kulic@uns.ac.rs), ORCID [0000-0002-0982-3017](https://orcid.org/0000-0002-0982-3017)  
**msr Ilija Kamenko**, Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, [kamenko@uns.ac.rs](mailto:kamenko@uns.ac.rs), ORCID [0000-0003-3352-7637](https://orcid.org/0000-0003-3352-7637)  
**dr Vladimir Bugarski** - docent., Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, [bugarski@uns.ac.rs](mailto:bugarski@uns.ac.rs), ORCID [0000-0001-6286-9287](https://orcid.org/0000-0001-6286-9287)  
**msr Perica Nikolić**, Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, [npero@uns.ac.rs](mailto:npero@uns.ac.rs), ORCID [0000-0001-7709-8139](https://orcid.org/0000-0001-7709-8139)

# Vertikalne fasade solitera kao lokacije za instalaciju fotonaponskih panela

## Vertical Facades of the High-Rise Buildings as Locations for the Photovoltaic Panels Installation

Andreja Stefanović

Datasmart, Kragujevac

**Rezime** - Fasade solitera predstavljaju alternativnu lokaciju za instalaciju fotonaponskih panela, koji se najčešće postavljaju na krovove objekata. Specifičan prostorni oblik solitera, sa relativno malom površinom osnove u odnosu na visinu objekata, pruža mogućnost iskorišćenja vertikalnih fasada ovih objekata, koje su često u lošem stanju. Fotonaponski paneli postavljeni na ovakvim lokacijama, osim generisanja električne energije, mogu imati estetski i urbanistički uticaj na gradski prostor. U ovom radu je izvršena simulacija generacije električne energije iz fotonaponskih panela, lociranih na vertikalnim fasadama solitera grada Kragujevca, korišćenjem softvera EnergyPlus. Sprovedena je analiza dobijenih rezultata za realne prostorne orijentacije fasada, pri čemu je modelirano i okruženje solitera koje stvara osenčenje fasada, kao što su okolni objekti i visoko drveće. Dobijene godišnje vrednosti generisane električne energije su upoređene sa energijom koje se troši za grejanje ovih građevinskih objekata.

**Ključne reči** - soliter, fotonaponski paneli, simulacija, EnergyPlus

**Abstract** - Vertical high-rise buildings facades are an alternative location for the installation of photovoltaic panels, which are most often placed on the roofs of buildings. The specific spatial shape of the high-rise building, with a relatively small surface area in relation to the height of the building, enables usage of the building vertical facades, which are often in poor condition. Photovoltaic panels installed in such locations, in addition to generating electricity, can have an aesthetic and urban impact on the city space. In this paper, a simulation of electricity generation from photovoltaic panels located on the vertical facades of high-rise buildings in the city of Kragujevac was performed using the EnergyPlus software. The analysis of the obtained results for the real spatial orientations of the facades was conducted, with modelled surroundings that create the shading of the facades, such as the buildings and tall trees. The obtained annual values of generated electricity were compared to the energy consumed for building heating.

**Index Terms** - high-rise building, photovoltaic panels, simulation, EnergyPlus

### I UVOD

Za građevinski fond se vezuje potrošnja od više od 30% ukupne svetske finalne energije, od čega se 74% troši u stambenim zgradama i 26% u nestambenim zgradama [1]. Sa druge strane, danas 50% ljudi živi u urbanom okruženju i smatra se da će do 2100. godine stanovništvo u urbanim područjima predstavljati 80% ukupne svetske populacije [2]. Pretpostavlja se da je trenutno u urbanom okruženju prosečna godišnja potrošnja električne energije po stanovniku 3,1 MWh [3].

Kontinuirani rast svetske populacije i stalna migracija ljudi iz ruralnih područja u velike gradove uveliko su povećali potražnju za električnom energijom u urbanim sredinama. Ova potrošnja je do danas uglavnom bila omogućena sagorevanjem neobnovljivih fosilnih goriva u elektranama, koje negativno utiče na održivi razvoj i životnu sredinu. Očigledna je potreba za prelaskom na sistem proizvodnje električne energije koji ne zagađuje životnu sredinu i koji je iz obnovljivih izvora. U tom smislu, solarni fotonaponski paneli, koji koriste obnovljivu energiju Sunca i tokom rada ne emituju gasove sa efektom staklene bašte, predstavljaju važan doprinos rešenju energetskeg problema u urbanim sredinama. Urbani prostor gradova sadrži velike površine zgrada koje mogu biti iskorišćene za postavljanje ovih sistema.

### II OPRAVDANOST FASADA ZGRADA KAO LOKACIJA ZA INSTALACIJU FOTONAPONSKIH SISTEMA

Najčešća lokacija za postavljanje fotonaponskih sistema su krovovi, pri čemu se fasade obično zanemaruju zbog njihovog neoptimalnog ugla nagiba panela. Ipak, krovne površine često ne mogu biti dovoljne da obezbede potrebnu obnovljivu energiju potrebnu zgradi, a i sve više se koriste za postavljanje zelenih površina, koje smanjuju uticaj urbanog toplotnog ostrva, poboljšavaju upravljanje atmosferskim vodama i povećavaju urbani biodiverzitet. Zgrade imaju različite arhitektonske i energetske zahteve, što može dovesti do korišćenja relevantnog dela njihove krovne površine za druge funkcije i strukture i/ili opremu, kao što su sistemi za klimatizaciju i komunikacije. Kada analiziramo urbanistički izgled grada, primećujemo da zgrade postaju generalno više visoke nego široke. Očekuje se da će se ovaj trend vertikalnog urbanizma zadržati i u budućnosti, i zato će površina vertikalnih fasada u budućim gradovima znatno

premašiti površinu krovova, predstavljajući važan deo površine zgrada koju treba uzeti u obzir kada se bavimo solarnim potencijalom grada.

Fasade postaju predmet sve većeg interesovanja arhitekata i urbanista koji žele da stvore inovativne i privlačne objekte, koji su u isto vreme i efikasni generatori električne energije. Dok su rani fotonaponski sistemi bili korišćeni samo kao uređaji za generisanje električne energije, bez posebnih estetskih razmatranja, današnja tehnologija je dovela fotonaponske panele na nivo na kome ovi sistemi postaju deo omotača zgrade. Bez obzira da li se fotonaponski paneli montiraju na postojeće zgrade ili su integrisani kao funkcionalni arhitektonski elementi, korišćenje tipično tamnoplavih i pravougaonih panela, ali i alternativnih boja panela, tekstura, oblika i nivoa transparentnosti može omogućiti izazovnije estetske urbanističke zahteve.

Visoke zgrade ili soliteri zauzimaju posebno mesto u istraživanju vertikalnih fasada kao lokacija za instalaciju fotonaponskih panela i to iz dva osnovna razloga. Prvi razlog su velike površine vertikalnih fasada koje povećavaju mogućnosti korišćenja solarne obnovljive energije. Drugi razlog je što su zbog svoje visine i izdvajanja iz urbanističkog okruženja fasade solitera direktnije izložene sunčevom zračenju u odnosu na fasade ostalih zgrada, a što je glavna mana njihove primene. Soliteri i energija su najčešće u naučnim radovima proučavani u istraživanjima mera energetske efikasnosti za smanjenje potrošnje energije [2, 4], optimizacije potrošnje energije [5] i uticaja različitih parametara na potrošnju energije, kao što su prirodna ventilacija [6], ponašanje stanara [7] i raspored i energetska interakcija individualnih stambenih jedinica [8-9]. Solarni potencijal solitera je takođe istraživao, u opštijem obliku [10-11] ili u temama korišćenja fotonaponskih panela na fasadama solitera komercijalne i stambene namene [12-14].

### III SOLARNI POTENCIJAL FASADA ZGRADA

Procena potencijala solarne energije na površinama zgrada u urbanom okruženju je osnovni preduslov za investiciju u fotonaponske sisteme. Procena solarnog potencijala fasada postojećeg građevinskog fonda može biti veliki izazov iz različitih razloga [15]:

- neoptimalni nagib i prisustvo senki zbog zgrada u okruženju,
- prisustvo senki zbog vegetacije i drveća, i
- prisustvo dodatnih arhitektonskih elemenata.

Osnovne mane vertikalnih fasada kao lokacije za fotonaponske panele su da dobijaju manje sunčevog zračenja, posebno u letnjim mesecima, pošto je ugao upada sunčevog zračenja daleko od optimalnog i da na njih više utiče kompaktnost urbanog rasporeda zgrada.

Sa druge strane, maksimalna energija koju proizvode solarni paneli na svakoj vertikalnoj fasadi zgrade se dostiže u različito doba dana, tako da se proizvodnja energije raspoređuje ravnomernije tokom dana, pošto će zgrada obično imati četiri, ili najmanje dve fasade okrenute ka suprotnim stranama sveta. Tako solarni doprinos fasada zgrada koje su orijentisane bliže pravcu istok-zapad može biti značajan za pokrivanje povećanja potrošnje električne energije u jutarnjim i popodnevним satima

kada je Sunce niže na nebu. Pored toga, vertikalne fotonaponske fasade će proizvoditi relativno više energije zimi nego u letnjim mesecima, takođe usled položaja Sunca na nebu. Ovo može biti veoma značajno pošto će po isteku državnih podsticajnih mera za integraciju obnovljivih izvora energije, isplativost investiranja u solarne elektrane zavisiti dominantno od usklađenosti dijagrama proizvodnje i promenljivih cena energije na slobodnom tržištu električne energije [16]. Paneli ugrađeni u vertikalne fasade mogu imati i značajan uticaj na poboljšanje energetskih performansi omotača zgrade.

Zahvaljujući velikom poboljšanju računarske snage i tehnikama modeliranja, solarni potencijal u gradskom okruženju danas se može proceniti na makro skali, pomoću alata koji su u stanju da manipulišu velikim količinama georeferenciranih podataka. Najčešće tehnike za identifikaciju odgovarajućih oblasti sa povoljnim solarnim potencijalom na krovovima i fasadama su one koje koriste detaljne 3D modele, kao što su LiDAR (Light Detection And Ranging) [17–19] i GIS (Geographic information systems) [15, 20-21].

U ovom radu je izvršena direktna procena solarnog potencijala simulacijom generisane električne energije u programu EnergyPlus na mikro nivou solitera, u njihovom najbližem okruženju. Ovo je bilo moguće pošto postoji samo šest različitih arhitektonskih tipova solitera, jer je spoljašnjost određenog broja solitera međusobno identična. Ova činjenica je značajno smanjila vreme utrošeno za modeliranje i simulaciju svakog posmatranog solitera, a što bi u slučaju velikog broja različitih zgrada bilo neracionalno.

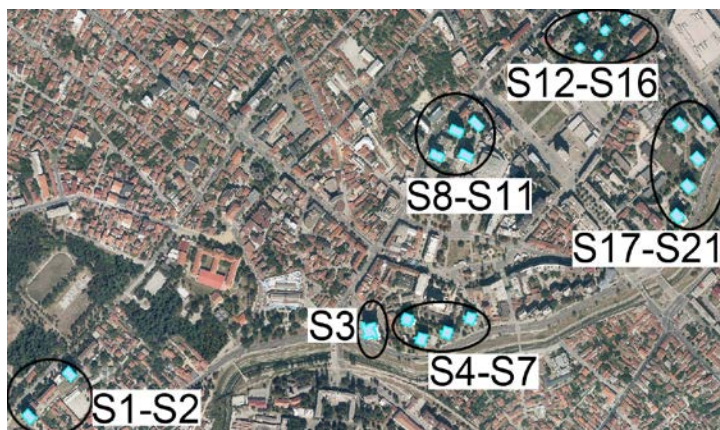
### IV PREDMET PROUČAVANJA

Istraživanje obuhvata procenu solarnog potencijala simulacijom generisane električne energije iz fotonaponskih panela postavljenih na vertikalne fasade solitera u gradu Kragujevcu u Srbiji. Korišćena je definicija solitera kao slobodno stojećeg objekta velike spratnosti – više od deset spratova, na zasebnoj parceli, koji se ne graniči sa susednim objektima ni sa jedne strane [22]. Ovakvih visokih zgrada u Srbiji nema mnogo; i one su karakteristika perioda izgradnje od druge polovine šezdesetih, pa do kraja osamdesetih godina.

Period 1946-1960. godine je period kada počinju da se grade soliteri i oni čine 1% ukupno izgrađenih objekata u ovom periodu. U periodu 1961-1970. godine soliteri su zastupljeni sa 5%, dok su u periodu 1971-1980. godine bili zastupljeni sa 11%. U periodu izgradnje 1981-1990. godine zabeležen je pad u izgradnji solitera sa svega 3% zastupljenosti, dok u periodu 1991-2012. godine soliteri nisu građeni [22]. Ova promena je uslovljena izmenom opredeljenja daljeg urbanističkog razvoja gradova i ograničavanja ukupne visine novih objekata, kao i ekonomskom moći investitora. Ovakav trend održao se sve do pred sam kraj perioda, kada, pod pritiskom uslova savremenog tržišta, dolazi do ponovnog otvaranja mogućnosti planiranja i građenja visokih objekata, naročito u Beogradu.

Predmet istraživanja je dvadeset jedan soliter u jezgru grada Kragujevca. Pošto je u periodima izgradnje obično građeno više solitera sa identičnim spoljašnjim omotačem na određenim lokacijama, proučavani soliteri su podeljeni u šest grupa u kojima se nalaze soliteri sa identičnim spoljašnjim dimenzijama i

rasporedom prozora na spoljašnjim zidovima (Slika 1).



**Slika 1.** Grupisani soliteri u jezgru grada Kragujevca

Oznaka grupe solitera, broj solitera u grupi, period izgradnje, kao i površina osnove i broj spratova pojedinačnih solitera u grupi, predstavljani su Tabeli 1.

**Tabela 1.** Osnovne karakteristike formiranih grupa solitera

| Oznaka grupe | Broj solitera u grupi | Period izgradnje | Površina osnove pojedinačnog solitera (m <sup>2</sup> ) | Broj spratova pojedinačnog solitera |
|--------------|-----------------------|------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| S1-S2        | 2                     | 1975             | 407                                                     | 16                                  |
| S3           | 1                     | 1966             | 691                                                     | 15                                  |
| S4-S7        | 4                     | 1968-1976        | 407                                                     | 14                                  |
| S8-S11       | 4                     | 1963-1966        | 412                                                     | 15                                  |
| S12-S16      | 5                     | 1962-1964        | 207                                                     | 11                                  |
| S17-S21      | 4                     | 1972-1974        | 429                                                     | 14                                  |

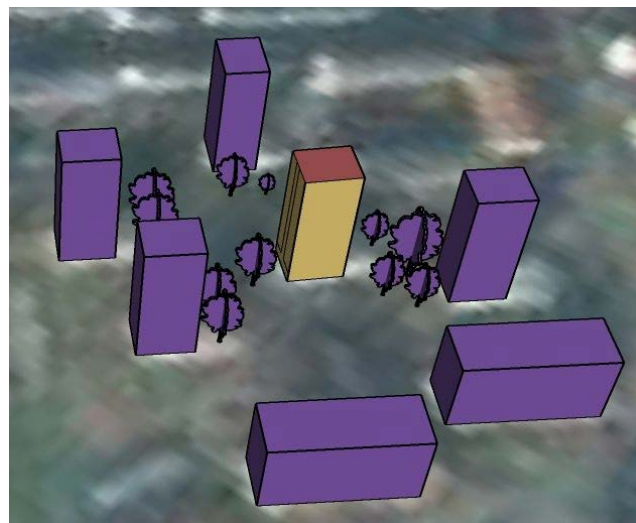
#### V MODELIRANJE SOLITERA I NJIHOVOG OKRUŽENJA

Za modeliranje solitera i njihovog okruženja korišćen je program Sketchup (zajedno sa plug-in programom Legacy OpenStudio) i koji predstavlja grafički editor za fajlove koji su ulazni podaci za simulacije u programu EnergyPlus. U programu Sketchup ucrтана je geometrija zgrada i izvršeno je pozicioniranje zgrade u prostornom okruženju.

Do podataka neophodnih za modeliranje solitera i njihovog okruženja došlo se na dva načina: korišćenjem dostupnih digitalnih podataka (3d modeli i poligoni osnova solitera i zgrada) i prikupljanjem podataka na terenu (raspored prozora na omotaču objekata i lokacija i visina drveća).

Soliteri su predstavljeni njihovim konstrukcionim omotačem, uz isticanje površina na fasadama koje su pogodne za instalaciju fotonaponskih panela. Pozicioniranje solitera u prostornom okruženju je izvršeno tako što je soliter postavljen na svoju realnu poziciju u prostoru na mapi učitanoj iz web servisa Google Maps. Na istoj mapi, u realnoj veličini, ucrтane su i okolne zgrade i drveće, kao objekti koji generišu senke na modelima solitera (Slika 2). Objekti koji se nalaze na severnoj

strani sveta u odnosu na solitere nisu modelirani pošto oni na njima ne stvaraju senku.



**Slika 2.** Modeliran soliter i njegovo okruženje u programu Sketchup

#### VI SIMULACIJA GENERISANE ELEKTRIČNE ENERGJE IZ FOTONAPONSKIH SISTEMA INSTALISANIH NA VERTIKALNIM FASADAMA SOLITERA

Simulacija proizvedene električne energije iz fotonaponskih panela izvršena je u softveru EnergyPlus. Ovaj program je opsežno potvrđen [23, 24] i pokazao se kao jedan od najpodobnijih simulacionih alata u istraživanju koje su sprovela grupa autora [25], gde su upoređivane sposobnosti velikog broja simulacionih programa. Ovaj alat se koristi u širokom spektru istraživanja i u fazi je aktivnog razvoja, što znači da je svaka nova verzija programa funkcionalnija i poboljšana.

Spoljašnjost izučavanih solitera je takva da su dve suprotne fasade potpuno pokrivene prozorima, dok se ostale dve sastoje od po dve slobodne površine razdvojene jednom kolonom prozora. Ovo znači da su na svim soliterima osim na soliteru S3 fotonaponski paneli postavljeni na četiri površine od kojih se po dve nalaze na fasadama koje su na suprotnim stranama sveta (Slika 3).



**Slika 3.** Jugozapadno orijentisane fasade solitera S4-S7

Jedino je kod solitera S3 svaka od četiri površine, na koju se postavljaju fotonaponski paneli, orijentisana ka različitoj strani sveta (Slika 4). Pošto se paneli postavljaju direktno na spoljašnje

zidove solitera, to znači da je ugao nagiba panela iznosio 90°. Optimalan ugao nagiba panela je parametar sistema sa značajnim uticajem na generisanje električne energije i kao takav je tema opsežnih istraživanja [26-28]. U ovom radu on nije proučavan pošto bi efekat senki u fotonaponskim sistemima značajno uticao na složenost modeliranja i simulacije i smanjio korisnu površinu na fasadama za postavljanje panela. Broj panela je izabran tako da se maksimalno iskoriste površine fasada, uz vođenje računa o dodatnoj površini potrebnoj za izvođenje radova na instalaciji i održavanju sistema.



**Slika 4.** Jugoistočno i severoistočno orijentisane fasade solitera S3

Simulacija je sprovedena za period cele godine i koristi fajl klimatskih podataka za grad Kragujevac koji je dobijen korišćenjem programa Meteonorm [29]. Fajl klimatskih podataka dobijen je interpolacijom podataka iz tri meteorološke stanice na rastojanjima 38 km (Čuprija i Smederevska Palanka) i 40 km (Kraljevo) od grada Kragujevca. Vrednosti parametara za temperaturu izabrane su iz perioda 2000-2009. godine, dok su parametri za radijaciju izabrani iz perioda 1991-2010. godine.

Model fotonaponskog panela koji je korišćen u svim simulacijama je Kyocera KD325GX-LFB, sa karakteristikama prikazanim u Tabeli 2.

**Tabela 2.** Tehnički podaci za fotonaponski panel Kyocera KD325GX-LFB [30]

|                                             |         |
|---------------------------------------------|---------|
| Nominalna izlazna snaga                     | 325 W   |
| Nominalni napon                             | 40,3 V  |
| Nominalna struja                            | 8,07 A  |
| Napon u otvorenom kolu                      | 49,7 V  |
| Struja kratkog spoja                        | 8,69 A  |
| Dužina panela                               | 1662 mm |
| Širina panela                               | 1320 mm |
| Visina panela                               | 46 mm   |
| Masa panela                                 | 27,5 kg |
| Broj ćelija po panelu                       | 80      |
| Maksimalni napon sistema jednosmerne struje | 600 V   |

Opcija „Sandia“ je iskorišćena kao model za predviđanje proizvodnje električne energije iz fotonaponskih panela. Objekat „PhotovoltaicPerformance: Sandia“ u softveru EnergyPlus

opisuje performanse jednog tipa modula i zasnovan je na radu istraživača u laboratoriji “Sandia National Lab”, Albuquerque, United States. Veliki broj empirijskih koeficijenata potrebnih za upotrebu modela Sandia su dobijeni nakon opsežnih merenja i redukcije podataka [31].

## VII REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati dobijeni simulacijom generisane električne energije iz fotonaponskih sistema instalisanih na vertikalnim fasadama dvadeset jednog solitera u gradu Kragujevcu prikazani su u Tabelama 3-8.

U tabelama su prikazane orijentacije, površina panela, simulirana godišnja generisana električna energija i specifična godišnja simulirana generisana električna energija za četiri fasade svakog solitera na kojima su postavljani paneli. U tabelama su sumirani podaci koji se odnose na površinu panela i simuliranu godišnju generisanu električnu energiju po grupi solitera.

**Tabela 3.** Simulirana generisana električna energija za grupu solitera S1-S2

| Oznaka        | Strana sveta | Površina panela (m <sup>2</sup> ) | Simulirana godišnja generisana električna energija (kWh/a) | Specifična godišnja simulirana generisana električna energija (kWh/m <sup>2</sup> a) |
|---------------|--------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| S1            | Ji           | 164,54                            | 22.282,70                                                  | 135,43                                                                               |
|               | Ji           | 164,54                            | 22.282,70                                                  | 135,43                                                                               |
|               | Sz           | 164,54                            | 12.811,31                                                  | 77,86                                                                                |
|               | Sz           | 164,54                            | 12.811,31                                                  | 77,86                                                                                |
| S2            | Ji           | 164,54                            | 22.282,70                                                  | 135,43                                                                               |
|               | Ji           | 164,54                            | 22.282,70                                                  | 135,43                                                                               |
|               | Sz           | 164,54                            | 12.803,57                                                  | 77,82                                                                                |
|               | Sz           | 164,54                            | 12.801,84                                                  | 77,81                                                                                |
| <b>UKUPNO</b> |              | <b>1.316,32</b>                   | <b>140.358,9</b>                                           |                                                                                      |

Najveći solarni potencijal u grupi solitera S1-S2 imaju četiri jugoistočne fasade na oba solitera i on iznosi 22.282,7 kWh/a, dok je najefikasnije iskorišćenje prostora na istim ovim fasadama i iznosi 135,43 kWh/m<sup>2</sup>a. Ukupni solarni potencijal ove grupe solitera iznosi 140.358,9 kWh/a (Tabela 3).

Najveći solarni potencijal na soliteru S3 ima južna fasada i on iznosi 39.962,22 kWh/a, dok je najefikasnije iskorišćenje prostora na istoj fasadi i iznosi 138 kWh/m<sup>2</sup>a. Ukupni solarni potencijal ove grupe solitera iznosi 118.161,94 kWh/a (Tabela 4).

**Tabela 4.** Simulirana generisana električna energija za soliter S3

| Oznaka        | Strana sveta | Površina panela (m <sup>2</sup> ) | Simulirana godišnja generisana električna energija (kWh/a) | Specifična godišnja simulirana generisana električna energija (kWh/m <sup>2</sup> a) |
|---------------|--------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| S3            | I            | 289,58                            | 25.767,60                                                  | 88,98                                                                                |
|               | J            | 289,58                            | 39.962,22                                                  | 138,00                                                                               |
|               | Z            | 289,58                            | 35.061,39                                                  | 121,08                                                                               |
|               | S            | 289,58                            | 17.370,82                                                  | 59,99                                                                                |
| <b>UKUPNO</b> |              | <b>1.158,32</b>                   | <b>11.8161,94</b>                                          |                                                                                      |

Najveći solarni potencijal u grupi solitera S4-S7 ima jedna od jugozapadno orijentisanih fasada na soliteru S5 i on iznosi 29.207,22 kWh/a, dok je najefikasnije iskorišćenje prostora na istoj fasadi i iznosi 138,68 kWh/m<sup>2</sup>a. Ukupni solarni potencijal ove grupe solitera iznosi 315.487,8 kWh/a (Tabela 5).

**Tabela 5.** Simulirana generisana električna energija za grupu solitera S4–S7

| Oznaka | Strana sveta | Površina panela (m <sup>2</sup> ) | Simulirana godišnja generisana električna energija (kWh/a) | Specifična godišnja simulirana generisana električna energija (kWh/m <sup>2</sup> a) |
|--------|--------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| S4     | JZ           | 210,61                            | 26.843,33                                                  | 127,46                                                                               |
|        | JZ           | 210,61                            | 25.962,41                                                  | 123,28                                                                               |
|        | SI           | 210,61                            | 12.697,96                                                  | 60,29                                                                                |
|        | SI           | 210,61                            | 12.713,20                                                  | 60,37                                                                                |
| S5     | JZ           | 210,61                            | 29.204,72                                                  | 138,67                                                                               |
|        | JZ           | 210,61                            | 29.207,22                                                  | 138,68                                                                               |
|        | SI           | 210,61                            | 10.938,84                                                  | 51,94                                                                                |
|        | SI           | 210,61                            | 10.806,00                                                  | 51,31                                                                                |
| S6     | JZ           | 210,61                            | 27.896,11                                                  | 132,46                                                                               |
|        | JZ           | 210,61                            | 28.540,56                                                  | 135,52                                                                               |
|        | SI           | 210,61                            | 11.242,28                                                  | 53,38                                                                                |
|        | SI           | 210,61                            | 11.454,73                                                  | 54,39                                                                                |
| S7     | JZ           | 210,61                            | 26.278,96                                                  | 124,78                                                                               |
|        | JZ           | 210,61                            | 27.615,07                                                  | 131,12                                                                               |
|        | SI           | 210,61                            | 11.780,06                                                  | 55,93                                                                                |
|        | SI           | 210,61                            | 12.305,92                                                  | 58,43                                                                                |
| UKUPNO |              | 3.369,76                          | 315.487,8                                                  |                                                                                      |

**Tabela 6.** Simulirana generisana električna energija za grupu solitera S8–S11

| Oznaka | Strana sveta | Površina panela (m <sup>2</sup> ) | Simulirana godišnja generisana električna energija (kWh/a) | Specifična godišnja simulirana generisana električna energija (kWh/m <sup>2</sup> a) |
|--------|--------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| S8     | JI           | 228,16                            | 25.590,87                                                  | 112,16                                                                               |
|        | JI           | 228,16                            | 24.276,37                                                  | 106,40                                                                               |
|        | SZ           | 228,16                            | 19.657,26                                                  | 86,16                                                                                |
|        | SZ           | 228,16                            | 20.075,08                                                  | 87,99                                                                                |
| S9     | JI           | 228,16                            | 25.788,31                                                  | 113,03                                                                               |
|        | JI           | 228,16                            | 26.065,21                                                  | 114,24                                                                               |
|        | SZ           | 228,16                            | 20.340,01                                                  | 89,15                                                                                |
|        | SZ           | 228,16                            | 20.037,81                                                  | 87,83                                                                                |
| S10    | JI           | 228,16                            | 25.309,88                                                  | 110,93                                                                               |
|        | JI           | 228,16                            | 25.309,55                                                  | 110,93                                                                               |
|        | SZ           | 228,16                            | 16.138,32                                                  | 70,73                                                                                |
|        | SZ           | 228,16                            | 15.332,30                                                  | 67,20                                                                                |
| S11    | JI           | 228,16                            | 27.248,99                                                  | 119,43                                                                               |
|        | JI           | 228,16                            | 27.899,44                                                  | 122,28                                                                               |
|        | SZ           | 228,16                            | 19.037,75                                                  | 83,44                                                                                |
|        | SZ           | 228,16                            | 19.425,53                                                  | 85,14                                                                                |
| UKUPNO |              | 3.650,56                          | 357.532,5                                                  |                                                                                      |

**Tabela 7.** Simulirana generisana električna energija za grupu solitera S12–S16

| Oznaka | Strana sveta | Površina panela (m <sup>2</sup> ) | Simulirana godišnja generisana električna energija (kWh/a) | Specifična godišnja simulirana generisana električna energija (kWh/m <sup>2</sup> a) |
|--------|--------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| S12    | JZ           | 131,63                            | 17.291,77                                                  | 131,37                                                                               |
|        | JZ           | 175,50                            | 22.931,57                                                  | 130,66                                                                               |
|        | SI           | 175,50                            | 12.098,51                                                  | 68,94                                                                                |
|        | SI           | 131,63                            | 8.913,51                                                   | 67,72                                                                                |
| S13    | JI           | 131,63                            | 15.471,36                                                  | 117,54                                                                               |
|        | JI           | 175,50                            | 20.835,20                                                  | 118,72                                                                               |
|        | SZ           | 175,50                            | 13.802,17                                                  | 78,64                                                                                |
|        | SZ           | 131,63                            | 10.351,63                                                  | 78,64                                                                                |
| S14    | JZ           | 131,63                            | 17.001,94                                                  | 129,17                                                                               |
|        | JZ           | 175,50                            | 22.959,01                                                  | 130,82                                                                               |
|        | SI           | 175,50                            | 12.013,95                                                  | 68,45                                                                                |
|        | SI           | 131,63                            | 9.335,64                                                   | 70,92                                                                                |
| S15    | JZ           | 131,63                            | 16.068,58                                                  | 122,08                                                                               |
|        | JZ           | 175,50                            | 21.464,52                                                  | 122,30                                                                               |
|        | SI           | 175,50                            | 12.053,13                                                  | 68,68                                                                                |
|        | SI           | 131,63                            | 8.551,38                                                   | 64,97                                                                                |
| S16    | JZ           | 131,63                            | 15.248,41                                                  | 115,84                                                                               |
|        | JZ           | 157,95                            | 18.425,55                                                  | 116,65                                                                               |
|        | SI           | 157,95                            | 12.020,21                                                  | 76,10                                                                                |
|        | SI           | 131,63                            | 10.038,64                                                  | 76,27                                                                                |
| UKUPNO |              | 3.036,2                           | 296.876,4                                                  |                                                                                      |

**Tabela 8.** Simulirana generisana električna energija za grupu solitera S17–S21

| Oznaka | Strana sveta | Površina panela (m <sup>2</sup> ) | Simulirana godišnja generisana električna energija (kWh/a) | Specifična godišnja simulirana generisana električna energija (kWh/m <sup>2</sup> a) |
|--------|--------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| S17    | JZ           | 157,95                            | 20.500,69                                                  | 129,79                                                                               |
|        | JZ           | 157,95                            | 20.718,65                                                  | 131,17                                                                               |
|        | SI           | 157,95                            | 12.225,37                                                  | 77,40                                                                                |
|        | SI           | 157,95                            | 11.937,30                                                  | 75,57                                                                                |
| S18    | JZ           | 157,95                            | 20.989,88                                                  | 132,89                                                                               |
|        | JZ           | 157,95                            | 20.907,14                                                  | 132,36                                                                               |
|        | SI           | 157,95                            | 10.233,64                                                  | 64,79                                                                                |
|        | SI           | 157,95                            | 11.410,14                                                  | 72,24                                                                                |
| S19    | JZ           | 157,95                            | 20.174,84                                                  | 127,73                                                                               |
|        | JZ           | 157,95                            | 19.237,04                                                  | 121,79                                                                               |
|        | SI           | 157,95                            | 12.116,39                                                  | 76,71                                                                                |
|        | SI           | 157,95                            | 11.625,05                                                  | 73,60                                                                                |
| S20    | JZ           | 157,95                            | 20.224,84                                                  | 128,04                                                                               |
|        | JZ           | 157,95                            | 18.811,42                                                  | 119,09                                                                               |
|        | SI           | 157,95                            | 12.228,42                                                  | 77,42                                                                                |
|        | SI           | 157,95                            | 12.053,06                                                  | 76,31                                                                                |
| S21    | JZ           | 157,95                            | 18.061,86                                                  | 114,35                                                                               |
|        | JZ           | 157,95                            | 18.647,81                                                  | 118,06                                                                               |
|        | SI           | 157,95                            | 12.736,26                                                  | 80,63                                                                                |
|        | SI           | 157,95                            | 12.736,26                                                  | 80,63                                                                                |
| UKUPNO |              | 3.159                             | 317.576,1                                                  |                                                                                      |

Najveći solarni potencijal u grupi solitera S8-S11 ima jedna od jugoistočno orijentisanih fasada na soliteru S11 i on iznosi 27.899,44 kWh/a, dok je najefikasnije iskorišćenje prostora na istoj fasadi i iznosi 122,28 kWh/m<sup>2</sup>a. Ukupni solarni potencijal ove grupe solitera iznosi 357.532,5 kWh/a (Tabela 6).

Najveći solarni potencijal u grupi solitera S12-S16 ima jedna od jugozapadno orijentisanih fasada na soliteru S14 i on iznosi 22.959,01 kWh/a, dok je najefikasnije iskorišćenje prostora na jednoj od jugozapadno orijentisanih fasada na soliteru S12 i iznosi 131,37 kWh/m<sup>2</sup>a. Ukupni solarni potencijal ove grupe solitera iznosi 296.876,4 kWh/a (Tabela 7).

Najveći solarni potencijal u grupi solitera S17-S21 ima jedna od jugozapadno orijentisanih fasada na soliteru S18 i on iznosi 20.989,88 kWh/a, dok je najefikasnije iskorišćenje prostora na istoj fasadi i iznosi 132,89 kWh/m<sup>2</sup>a. Ukupni solarni potencijal ove grupe solitera iznosi 317.576,1 kWh/a (Tabela 8).

Ukupan solarni potencijal svih fasada posmatranih solitera grada Kragujevca iznosi 1.545.994 kWh/a uz ukupno 15.690,16 m<sup>2</sup> solarnih panela.

Rezultati očekivano pokazuju da se, na istom soliteru, generiše značajnije više električne energije na fasadama orijentisanim ka jugoistoku i jugozapadu, u odnosu na fasade na suprotnoj strani sveta. Međutim, ovaj odnos varira kako od grupe do grupe solitera, tako i među soliterima iste grupe. Ovo je posledica orijentacije samog solitera a zatim i senki koje stvaraju objekti i drveće iz okruženja. Od objekata iz okoline, zbog svoje visine, na proizvodnju električne energije najviše utiču okolni soliteri iz grupe.

Kod solitera iz grupe S1-S2 na fasadama sa jugoistočne strane sveta se generiše 1,7 puta više električne energije u odnosu na fasade na severozapadnoj strani sveta, dok se u grupi solitera S4-S7 na fasadama sa jugozapadne strane sveta generiše 2,1-2,7 puta više električne energije u odnosu na fasade na severoistočnoj strani sveta. Soliteri iz grupe S8-S11 na fasadama sa jugoistočne strane sveta generišu 1,3-1,6 puta više električne energije u odnosu na fasade na severozapadnoj strani sveta, dok soliteri iz grupe S12-S16 na fasadama sa jugozapadne strane sveta generišu 1,5-1,9 puta više električne energije u odnosu na fasade na severoistočnoj strani sveta. U grupi solitera S17-S21 na fasadama sa jugozapadne strane sveta se generiše 1,4-1,9 puta više električne energije u odnosu na fasade na severoistočnoj strani sveta. Kod solitera S3 sve četiri fasade su orijentisane ka suprotnim stranama sveta i na južnoj fasadi se generiše 2,3 puta više električne energije nego na severnoj. Ovo je izuzetak u odnosu na ostale solitere kod kojih su fasade orijentisane u pravcima severoistok-jugozapad i severozapad-jugoistok. Rezultati pokazuju da je veća razlika u generisanoj električnoj energiji suprotno orijentisanih fasada solitera u slučaju kada se one nalaze u pravcu severoistok - jugozapad.

Pošto je u izučavanim soliterima, od svih vrsta energije, najveća potrošnja toplotne energije za grejanje prostora, izvršeno je poređenje ove energije sa energijom koja bi se generisala upotrebom fotonaponskih sistema. Podaci o godišnjoj potrošnji toplotne energije u soliterima dobijeni su korišćenjem energetskog modela, koji na osnovu izmerene realne potrošnje u dva solitera predviđa potrošnju toplotne energije u svim ostalim

soliterima [32]. Toplotna energija potrebna za zagrevanje solitera, izražena u kWh/a, upoređena je sa simuliranom godišnjom električnom energijom, da bi se odredilo koliki deo toplotnog kapaciteta bi mogao teorijski da bude pokriven iz solarne energije. Ovo bi takođe značilo da bi van grejne sezone generisana električna energija bila predata u sistem distribucije električne energije, a u grejnoj sezoni bi bila preuzeta iz sistema. Analiza pokazuje da energija dobijena iz fotonaponskih sistema predstavlja 10,1-26,9% energije potrebne za grejanje, pri čemu je ovaj procenat najveći kod solitera sa najmanjom površinom osnove i najmanjim brojem spratova – grupa solitera S12-S16. Očigledno je da je energija potrebna za grejanje dosta veća od energije koja se može generisati fotonaponskim panelima. Ovakva potrošnja toplotne energije se objašnjava velikom zapreminom prostora koji se greje, nedovoljnom toplotnom izolacijom u termičkom omotaču, velikim brojem prozora, kao i velikim ventilacionim gubicima koji su karakteristični za solitere.

Generisana električna energija se može prodavati kao električna energija iz obnovljivih izvora, ako za to postoje uslovi, ili se pre svega koristiti od strane stanara solitera, zbog tendencije konstantnog rasta cene ovog energenta.

Proučavanje investicije u sisteme fotonaponskih panela kao i ostalih finansijskih pokazatelja isplativosti je jedna od najbitnijih tema u procesu odlučivanja o ulaganju u ove sisteme obnovljive energije. Iako ovim istraživanjem nije obuhvaćena procena finansijske isplativosti ulaganja u fotonaponske sisteme, proračunom godišnje specifične generisane električne energije je utvrđeno na kojim fasadama je najveće iskorišćenje prostora za postavljanje fotonaponskih panela, tj. gde je najveći solarni potencijal po jedinici površine. Solarni potencijal veći od 130 kWh godišnje po jedinici površine fotonaponskih panela od posmatranih osamdeset četiri fasada, ima njih dvanaest, i one predstavljaju mesta na soliterima na kojima je najveća moguća proizvodnja električne energije po jedinici površine ovih sistema.

Instalacija fotonaponskih sistema na samo jednoj spoljašnjoj fasadi solitera može pokrenuti pitanje estetike i zadovoljavanja urbanističkih zahteva. Ipak, ravnotežu između urbanizma i finansijske isplativosti investicija treba pronaći u dijalogu predstavnika gradskih uprava za urbanizam, stanara solitera i investitora, koji mogu biti i sami stanari.

## VIII ZAKLJUČAK

Za dvadeset i jedan soliter u jezgru grada Kragujevca, formirane su maksimalno iskorišćene površine na vertikalnim fasadama i određen je njihov solarni potencijal simulacijom generisane električne energije iz fotonaponskih panela u programu EnergyPlus. Simulacije su sprovedene uz ograničavajuće faktore senki koje stvaraju objekti i drveće iz okruženja, a naročito okolni soliteri. Za svaku od četiri fasade na svakom soliteru, podobne za instalaciju fotonaponskog sistema, određena je godišnja generisana električna energija, kao i specifična godišnja generisana električna energija po jedinici površine fotonaponskih panela.

Ukupan solarni potencijal svih fasada posmatranih solitera u gradu Kragujevcu iznosi 1.545.994 kWh/a, uz ukupno 15.690,16 m<sup>2</sup> solarnih panela, dok najefikasnije iskorišćenje prostora na jednoj od fasada iznosi 138,68 kWh/m<sup>2</sup>a.

Rezultati dobijeni ovim istraživanjem mogu biti veoma korisni za investitore jer pružaju podatke o mogućoj godišnjoj količini električne energije koja se može generisati na fasadama posmatranih solitera, kao i o površinama sa najvećim solarnim potencijalom, odnosno najvećom generisanom električnom energijom po jedinici površine fotonaponskih panela.

#### LITERATURA/REFERENCES

- [1] Stefanovic, A., Gordic, D. Modeling methodology of the heating energy consumption and the potential reductions due to thermal improvements of staggered block buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 125, pp. 244-253, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.058>
- [2] Alves, T., Machado, L., de Souza, R. D., de Wilde, P. Assessing the energy saving potential of an existing high-rise office building stock, *Energy and Buildings*, Vol. 173, pp. 547-561, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.044>
- [3] Freitas, S., Brito, M. C. Solar façades for future cities, *Renewable Energy Focus*, Vol. 31, pp. 73-79, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2019.09.002>
- [4] Wang, Y., Mauree, D., Sun, Q., Lin, H., Scartezini, J. L., Wennersten, R. A review of approaches to low-carbon transition of high-rise residential buildings in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 131, 109990, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109990>
- [5] Giouri, E. D., Tenpierik, M., Turrin, M. Zero energy potential of a high-rise office building in a Mediterranean climate: Using multi-objective optimization to understand the impact of design decisions towards zero-energy high-rise buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 209, 109666, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109666>
- [6] Weerasuriya, A. U., Zhang, X., Gan, V. J. L., Tan, Y. A holistic framework to utilize natural ventilation to optimize energy performance of residential high-rise buildings, *Building and Environment*, Vol. 153, pp. 218-232, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.027>
- [7] Qin, H., Pan, W. Energy use of subtropical high-rise public residential buildings and impacts of energy saving measures, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 254, 120041, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120041>
- [8] Gan, V. J. L., Wong, H. K., Tse, K. T., Cheng, J. C. P., Lo, I. M. C., Chan, C. M. Simulation-based evolutionary optimization for energy-efficient layout plan design of high-rise residential buildings, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 231, pp. 1375-1388, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.324>
- [9] Jang, H., Kang, J. An energy model of high-rise apartment buildings integrating variation in energy consumption between individual units, *Energy and Buildings*, Vol. 158, pp. 656-667, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.047>
- [10] Lotfabadi, P. Analyzing passive solar strategies in the case of high-rise building, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 52, pp. 1340-1353, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.189>
- [11] Lotfabadi, P. Solar considerations in high-rise buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 89, pp. 183-195, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.044>
- [12] Chen, X., Yang, H., Peng, J. Energy optimization of high-rise commercial buildings integrated with photovoltaic facades in urban context, *Energy*, Vol. 172 pp. 1-17, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.112>
- [13] Kosorić, V., Lau, S., Tablada, A., Lau, S. S. General model of Photovoltaic (PV) integration into existing public high-rise residential buildings in Singapore – Challenges and benefits, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 91, pp. 70-89, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.087>
- [14] Ghazali, A., Salleh, E. I., Haw, L. C., Mat, S., Sopian, K. Performance and Financial Evaluation of Various Photovoltaic Vertical Facades on High-rise Building in Malaysia, *Energy and Buildings*, Vol. 134, pp. 306-318, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.003>
- [15] Saretta, E., Bonomo, P., Frontini, F. A calculation method for the BIPV potential of Swiss façades at LOD2.5 in urban areas: A case from the Ticino region, *Solar energy*, Vol. 195, pp. 150-165, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.062>
- [16] Lazović, Đ., Džodić, K., Đurišić, Ž., Analiza ekonomske opravdanosti investiranja u solarnu elektranu sa vertikalno postavljenim bifacijalnim fotonaponskim modulima u perspektivnim uslovima slobodnog tržišta, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. XXIII, No. 3, pp. 37-44, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.37L>
- [17] Brito, M. C., Freitas, S., Guimarães, S., Catita, C., Redweik, P. The importance of facades for the solar PV potential of a Mediterranean city using LiDAR data, *Renewable Energy*, Vol. 111, pp. 85-94, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.085>
- [18] Suomalainen, K., Wang, V., Sharp, B. Rooftop solar potential based on LiDAR data: Bottom-up assessment at neighbourhood level, *Renewable Energy*, Vol. 111, pp. 463-475, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.025>
- [19] Martínez-Rubio, A., Sanz-Adan, F., Santamaría-Peña, J., Martínez, A. Evaluating solar irradiance over facades in high building cities, based on LiDAR technology, *Applied Energy*, Vol. 183, pp. 133-147, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.163>
- [20] Zhong, Q., Tong, D. Spatial layout optimization for solar photovoltaic (PV) panel installation, *Renewable Energy*, Vol. 150, pp. 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.099>
- [21] Mishra, T., Rabha, A., Kumar, U., Arunachalam, K., Sridhar, V. Assessment of solar power potential in a hill state of India using remote sensing and Geographic Information System, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Vol. 19, 100370, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100370>
- [22] Jovanović Popović, M., Ignjatović, D., Radivojević, A., Rajčić, A., Đukanović Lj., Čuković N., Nedić M. *Atlas višeporodičnih zgrada Srbije*, Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Beograd, 2013.
- [23] Henninger, R., Witte, M., Crawley, D. Analytical and comparative testing of EnergyPlus using IEA HVAC BESTEST E100-E200 test suite, *Energy and Buildings*, Vol. 36, pp. 855-863, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.025>
- [24] US DOE, EnergyPlus: Testing and Validation, <https://energyplus.net/testing> [pristupljeno 02.01.2022.]
- [25] Crawley, D.B., Hand, J.W., Kummert, M., Griffith, B.T. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, *Building and Environment*, Vol. 43, pp. 661-673, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027>
- [26] Yadav, S., Hachem-Vermette, C., Panda, S. K., Tiwari, G.N., Mohapatra, S.S. Determination of optimum tilt and azimuth angle of BiSPVT system along with its performance due to shadow of adjacent buildings, *Solar Energy*, Vol. 215, pp. 206-219, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.033>
- [27] Mukisa, N., Zamora, R. Optimal tilt angle for solar photovoltaic modules on pitched rooftops: A case of low latitude equatorial region, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 50, 101821, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101821>
- [28] Krstić, N., Klimenta, D., Tasić, D., Radosavljević, D., Određivanje optimalnih nagibnih uglova fotonaponskih panela uz uvažavanje smanjenja direktne komponente iradijacije usled efekata senki u fotonaponskim sistemima, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 3, pp. 45-53, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.45K>
- [29] Meteororm Software, <https://meteororm.com/en/> [pristupljeno 02.01.2022.]
- [30] Kyocera KD 300-80 F Series, <https://www.ervsolar.com/shared/pdf/Kyocera/KD320GX-LFB.pdf> [pristupljeno 02.01.2022.]
- [31] Input Output Reference, <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-6/input-output-reference/overview.html#input-output-reference> [pristupljeno 02.01.2022.]
- [32] Stefanović, A., *Optimizacija potrošnje energije za grejanje višeporodičnog stambenog građevinskog fonda grada korišćenjem energetskog modela*, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, 2016.

AUTORI/AUTHORS

dr Andreja Stefanović, andreja2202@gmail.com, ORCID [0000-0003-3641-1074](https://orcid.org/0000-0003-3641-1074)

# Potencijal reindustrijalizacije Republike Srbije uz korišćenje biomase kao obnovljivog vida goriva

## The Potential for Reindustrialization of the Republic of Serbia with the Use of Biomass as a Renewable Fuel

Milica Mladenović, Dragoljub Dakić, Nevena Petrov

University of Belgrade, VINČA Institute of Nuclear Sciences - National Institute of the Republic of Serbia,  
Laboratory of Thermal Engineering and Energy

**Rezime** - U kontekstu savremene geopolitičke situacije i energetske neizvesnosti, cilj rada je da jače afirmiše upotrebu biomase kao domaćeg energenta i da ukaže na smernice za njeno pravilno i efikasno iskorišćenje. Prema zvaničnim podacima Ministarstva rudarstva i energetike Republike Srbije, biomasa predstavlja ubedljivo najveći potencijal obnovljive energije u zemlji. Preko 60% procenjenog potencijala obnovljive energije u Republici Srbiji pripada biomasi (ne računajući velika hidroenergetska postrojenja). Mogućnost energetskog iskorišćenja biomase, pri tome, ne zavisi od vremenskih prilika, doba dana ili godišnjeg doba, za razliku od drugih izvora obnovljive energije poput energije vetra i sunca. Pored ove i drugih prednosti koje biomasa kao jedino ugljenično - CO<sub>2</sub> - neutralno obnovljivo gorivo ima, potrebno je istaći i to da su postrojenja za konverziju energije iz biomase putem sagorevanja relativno jednostavna i u celosti se mogu proizvoditi u našoj zemlji. Ukoliko bi se ova postrojenja koristila u sistemima daljinskog grejanja uz mogućnost korišćenja toplotne energije i za tehnološke procese u uzgoju i preradi poljoprivrednih proizvoda i van grejne sezone, potencijali se šire. Postrojenja za preradu i doradu poljoprivrednih proizvoda (poput sušara) takođe se u velikoj meri mogu proizvoditi u Republici Srbiji. Prednosti i stepen iskorišćenja biomase kao obnovljivog energenta još više dolaze do izražaja pri njenoj upotrebi u kogenerativnim postrojenjima. Kad se sve navedeno uzme u obzir može se zaključiti da primena biomase može zauzeti značajno mesto u sveobuhvatnoj reindustrijalizaciji naše zemlje, o čemu će više reći biti u ovom radu. U radu je, takođe, ukazano na neke od prepreka za realizaciju ovih napora kao i primeri dobre prakse.

**Ključne reči** - sagorevanje biomase, daljinsko grejanje, obnovljivi izvori energije

**Abstract** - In the context of the current geopolitical situation and energy uncertainty, the aim of the paper is to affirm the use of biomass as a domestic energy source and to point out guidelines for its proper and efficient use. According to the official data of the Ministry of Mining and Energy of the Republic of Serbia, biomass represents by far the greatest potential for renewable energy in the country. Over 60% of the estimated potential of renewable energy in the Republic of Serbia belongs to biomass

(not counting large hydropower plants). The possibility of energy use of biomass, further, does not depend on weather conditions, time of day or season, unlike other renewable energy sources such as wind and solar energy. In addition to this and other advantages that biomass as the only carbon - CO<sub>2</sub> - neutral renewable fuel has, it should be noted that facilities for the conversion of energy from biomass through combustion are relatively technologically simple and can be produced entirely in our country. If these facilities were used in district heating systems with the possibility of using thermal energy for technological processes in the cultivation and processing of agricultural products even out of the heating season, the potentials and effects of biomass utilization would increase. Facilities for processing and finishing agricultural products (such as dryers) can also be largely produced in the Republic of Serbia. Advantages and the degree of utilization of biomass as a renewable energy source are even more pronounced when used in cogeneration plants. When all the above is considered, it can be concluded that the use of biomass can take a significant place in the overall reindustrialization of our country, which will be discussed in more detail in this paper. The paper also points out some of the obstacles to the realization of these efforts as well as examples of good practice.

**Index Terms** - Biomass combustion, District heating, Renewable energy sources

### I UVOD

Najveći potencijal obnovljive energije u Republici Srbiji je u biomasi, kojoj pripada ≈63% od ukupnog potencijala obnovljive energije [1,2], od čega oko 60% pripada poljoprivrednoj biomasi dok se na šumsku odnosi ≈40%.

Postoji više načina konverzije energije iz biomase:

- neposredno sagorevanje radi dobijanja toplotne/električne energije,
- digestija – prerada otpada životinjskog i biljnog porekla u biogas,
- prerada u alkohol (etanol) kao zamena za benzin,
- proizvodnja biljnih ulja kao zamena za dizel.

Prva dva načina konverzije su tradicionalna, dok je za druga dva novija veoma upitna energetska i ekološka svrishodnost takve upotrebe biomase (etanol i biodizel se proizvode upravo iz hrane, pa se takva primena biomase mora vrlo ozbiljno analizirati sa stanovišta strateške energetske logike i etike). Stoga poslednje navedeni načini upotrebe biomase neće biti predmet ovog rada.

Pod **poljoprivrednom biomasom** se podrazumeva onaj deo poljoprivredne proizvodnje koji se ne koristi u ljudskoj i stočnoj ishrani i koji se tretira kao ostatak/otpad iz proizvodnje. To su: ostaci ratarske proizvodnje, drvena masa iz voćarske i vinogradarske proizvodnje, ostaci iz prerade voća i povrća, stajsko đubrivo itd. Od navedenih ostataka poljoprivredne proizvodnje najzastupljeniji su oni koji se mogu sakupljati u formi bala, odnosno ostaci ratarske proizvodnje (slame i stabljike ratarskih kultura: pšenica i druga žita, kukuruz, soja, suncokret, uljana repica itd). Tome treba dodati i mogućnost sakupljanja u formi bala i dobar deo energetskih biljaka (gajene isključivo u cilju zadovoljenja energetskih potreba). Energetske biljke se mogu gajiti na utrinama i devastiranim zemljištima.

Pod **šumskom biomasom** se podrazumeva ogревно drvo, pelet i drvena sečka. Dok se ogревно drvo tradicionalno najviše koristi u domaćinstvima, pelet je, u novije vreme, našao široku primenu i u etažnim i u daljinskim sistemima grejanja, zbog olakšane manipulacije, mogućnosti automatizovanog doziranja u ložišta sa velikim stepenom iskorišćenja (preko 85%). Bez obzira na komfor pri korišćenju, moraju se naznačiti i veliki energetske gubici pri proizvodnji peleta (priprema drvne sečke, sušenje, mlevenje, presovanje). Krajnja energetska efikasnost upotrebe peleta, u odnosu na polaznu sirovinu - drvo je 55-65% [3], zavisno od početne vlažnosti sirovine. Dakle, sa stanovišta da više od trećine ukupnog energetskog potencijala drveta otpada na pripremu peleta, mnogo je povoljnija direktna upotreba drvne sečke. Krajnja energetska efikasnost pri upotrebi drvne sečke je od 75-80 % početne sirovine, uz napomenu da je upotreba drvne sečke praktično moguća samo u termoeenergetskim postrojenjima nešto veće snage (većim od 150kW).

Biogasna postrojenja su sve aktuelnija u skladu sa merama Republike Srbije za otkup električne energije proizvedene iz **biogasa** (2009. god.) uredbom o merama podsticaja za proizvodnju električne energije korišćenjem obnovljivih izvora energije i kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije. Ova postrojenja koriste pretežno životinjski stajnjak uz neki drugi biootpad kao supstrat za proizvodnju biogasa. Tehnologija biogasnih postrojenja je uveliko dovedena do industrijske primene i njihova primena je ekološki posebno važna jer se umanjuje mogućnost emisije metana nastalog razlaganjem stajnjaka. Mana ovih postrojenja je što se mogu koristiti samo u sklopu velikih životinjskih farmi gde je stajnjak koncentrisan i lako se može sakupljati, što se može prevazići udruživanjem manjih farmi u zadruge, gde farmeri zajedno prikupljaju potrebne sirovine za zajedničko biogas postrojenje. Pored toga manu može predstavljati korišćenje zelene mase, npr. deteline ili silažnog kukuruza, kao sirovinske baze za rad biogasnih postrojenja. Korišćenje takve sirovine mora se smatrati kao korišćenje hrane, što je u najmanju ruku neetički.

## II MOGUĆNOST PRIMENE BIOMASE KAO OBNOVLJIVOG VIDA ENERGIJE

Biomasa, kao obnovljiv vid energije, se može koristiti u sistemima grejanja, kogenerativnim postrojenjima, za dobijanje toplote za uzgoj biljaka i životinja, za industrijsku preradu poljoprivrednih proizvoda itd. [4,5].

Autonomna pokrajina Vojvodina (APV) je ravničarska i deo je Panonske nizije koji pripada Republici Srbiji. Zbog svog geografskog položaja i konfiguracije terena u njoj je poljoprivredna proizvodnja dominantna. U APV se nalazi 6 gradova, 52 gradska naselja i 457 sela [6,7]. Stečeno nasleđe Austro-Ugarske vladavine je da su sva naselja urbanizovana. Na teritoriji Republike Srbije se nalaze i druge ravničarske regije kao što su Posavina i Pomoravlje za koje važe slične konstatacije kao za APV. Konfiguracija ovih regija i mesta je idealna za toplifikaciju. U nekim od pomenutih mesta ili je izvršena, ili se vrši gasifikacija. Alternativa gasifikaciji je pomenuta toplifikacija. Preduslov za toplifikaciju je da su mesta urbanizovana kako bi se u perifernim naseljima, na obodu urbanih sredina izgradile toplane za daljinsko grejanje. Toplane na periferijama mogu koristiti ostatke poljoprivredne proizvodnje (otpadnu biomasu – onu koja nije namenjena za ishranu) iz neposredne okoline kao energetske sirovine. Grejanje na biomasu je održivo ako se ona skuplja u neposrednoj blizini mesta upotrebe, a preporučena udaljenost varira od 25 – 50 km za postrojenja zavisno od kapaciteta postrojenja (maksimalna distanca za postrojenja do 2 MW) [8,9].

Prosečna angažovana snaga toplana u Srbiji, tokom grejne sezone, je 45-50% od ukupno instaliranih kapaciteta. Ako se pomenuti podatak svede na celu godinu to znači da je raspoloživa snaga toplane, koja se može iskoristiti za druge potrebe sem grejanja, veća od 75% instaliranih kapaciteta. Poslednji podatak je osnovni preduslov da se u okviru pomenutih toplana mogu graditi i male industrijske zone za uzgoj, preradu i čuvanje poljoprivrednih proizvoda i druge industrijske/tehnološke potrebe. Skoro da ne postoji tehnologija uzgoja, prerade i čuvanja poljoprivrednih proizvoda koja nema potrošnju energije. Na sadašnjem nivou razvoja tehnologije toplotna energija se može koristiti i u sistemima hlađenja za čuvanje poljoprivrednih proizvoda. Na osnovu navedenog može se zaključiti da dobrom organizacijom poljoprivredne proizvodnje i prerade poljoprivrednih proizvoda, toplana na biomasu može raditi tokom cele godine, što sa druge strane garantuje brži povraćaj uložene investicije u ovakvo postrojenje.

Slična konstatacija se može odnositi i na šumsku biomasu. Zbog veće razućenosti naselja u brdsko planinskim oblastima preporučuje se primena nešto manjih postrojenja koja su prilagođena za preradu proizvoda dostupnim u tim oblastima (bobičasto i jagodičasto voće, svo drugo voće, mini mlekare, obrada drveta, sušenje i ekstrakcija iz lekovitog bilja i slično). Ukoliko se toplotna postrojenja grade u blizini većih mesta mogu se koristiti u sistemima daljinskog grejanja, pod uslovom ne previše razućene toplovodne mreže. Tu je opet potrebno favorizovati, sa stanovišta ekonomske i energetske efikasnosti, upotrebu drvne sečke naspram peleta, ukoliko su termoeenergetska postrojenja veće snage (veća od 150kW).

Kogenerativna postrojenja su postala atraktivna investitorima nakon uvođenja povlašćene cene električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora, u Republici Srbiji 2013. godine. Kad se govori o kogenerativnim postrojenjima značajno je istaći primenu ORC sistema (Organic Rankine Cycle) koji se bazira na radu sa parama silikonskih ulja. Ovi sistemi su veoma pogodni za postrojenja manje snage  $\approx 0,2-2$  MWel. To podrazumeva rad sa toplotnim agregatima snage od  $\approx 1-10$  MW. Prednost ovih sistema je u tome što u njima toplotni agregati predstavljaju nisko pritisne vrelouljne kotlove koji ne zahtevaju visokostručne rukovaoce. Turbinski deo postrojenja se kupuje u inostranstvu u formi „crne kutije“ koja ima priključke za dovod i odvod vrelog ulja i elemente za vezu sa dalekovodima za isporuku proizvedene električne energije. Energija izlaznog ulja iz turbinskog postrojenja se dalje koristi za dobijanje toplotne energije za rad drugih tehnoloških celina.

Na početku ovog poglavlja je rečeno da je u pojedinim mestima, potencijalnim lokacijama za primenu toplifikacije na bazi biomase, izvršena ili se planira gasifikacija. Gasifikacija ne isključuje mogućnost toplifikacije. Naprotiv, upotreba ta dva moguća vida energetskog izvora mogu se idealno dopunjavati. Elem, u slučaju nepovoljnih vremenskih prilika (sušne ili preterano kišne godine) kvalitet i količina biomase može varirati, pa korišćenje gasa može u mnogome pomoći. Sa druge strane, zbog novonastale geopolitičke krize, mogu se očekivati znatna poskupljenja svih uvoznih energenata, a pogotovo prirodnog gasa, tako da biomasa može biti idealno alternativno gorivo gasu. Kod primene biomase drastična poskupljenja nisu realna, sem povećanja onih troškova koji se odnose na korišćenje tečnih goriva u pripremi biomase.

### III STANJE DOMAĆE INDUSTRIJE IZ DOMENA PROIZVODNJE TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA

U Republici Srbiji je, do devedesetih godina prošlog veka, bilo više velikih industrijskih subjekata koji su se, između ostalog, bavili proizvodnjom termoelektrične opreme kao: MINEL KOTLOGRADNJA AD Beograd, Ivo Lola Ribar (ILR) Beograd, GOŠA INDUSTRIJA DOO Smederevska Palanka, Janko Lisjak Beograd, CER Čačak, MIN TEHNOLOGIJE DOO SUBOTICA i drugi. Svi su oni imali svoje razvojne centre a neki od njih i svoje Institute (GOŠA, ILR). Svi pomenuti industrijski subjekti praktično više ne postoje ali i dalje postoje određena stečena znanja. Deo stečenih znanja sada se koristi u nizu manjih radionica ili fabrika proisteklih iz gore pomenutih preduzeća. Od većih fabrika preostali su samo ALFA PLAM –Vranje i MBS-Smederevo i to zahvaljujući svom asortimanu proizvoda koji se oslanja na mala postrojenja – peći i kotlove namenjene domaćinstvima. Sa druge strane, nije mnogo bolja situacija ni među potencijalnim korisnicima termotehničkih uređaja i termoelektrične opreme. Mnogi veliki poljoprivredni kombinati i prerađivači poljoprivrednih proizvoda su dovedeni do ruba propasti. Stoga se celokupna strategija razvoja i reindustrializacije zemlje mora usmeriti u pravcu favorizovanja JAVNO/PRIVATNOG partnerstva koje bi obezbedilo formiranje većeg broja preduzeća, dovoljno velikih da mogu opstati na tržištu, a da se u isto vreme za njihovu izgradnju mogu naći, prvenstveno domaći, investitori. Postojeći domaći proizvođači termotehničke opreme, koliko god su mali, i dalje su sposobni da

u velikoj meri proizvode opremu za manja termotehnička postrojenja, bilo da se radi o proizvodnji toplotnih postrojenja (prvenstveno kotlova) ili opreme za uzgoj i prerađu poljoprivrednih proizvoda.

### IV POTREBNI PRAVCI DELOVANJA

Na nivou države moraju se prepoznati pravci reindustrializacije zemlje uz korišćenje biomase kao obnovljivog izvora energije. Po definisanju pravaca razvoja potrebno je odrediti subvencije za podršku tog razvoja. Subvencije domaćim proizvođačima opreme i korisnicima iste moraju biti jasno definisane i po mogućstvu znatno veće nego što su subvencije koje se daju/ili su davane stranim investitorima. Subvencije stranim investitorima su bile i jesu neophodne u vreme oporavka domaće industrije. Zašto je važno podržati domaće proizvođače? Domaća proizvodnja podrazumeva i domaću pamet i domaći razvoj. Inostrane kompanije koje ulažu u nove fabrike kod nas, iz oblasti termoelektrike, ne ulažu i u naš razvoj. Oni razvoj organizuju u svojim matičnim zemljama, a kod nas koriste relativno jeftinu radnu snagu i tržište. To je apsolutno opravdano sa stanovišta stranih ulagača. Jedan od primera istinitosti iznete tvrdnje su i mnogobrojni pokušaji konkurisanja Laboratorije za termotehniku i energetiku (LTE) Instituta Vinča na međunarodnim konkursima koji su se odnosili na problematiku obnovljivih energenata. Ni na jednom konkursu na kom je participirano i koji se odnosio na razvoj određene tehnologije primene biomase kao obnovljivog izvora, LTE nije „prošla“ na konkursu. Prolazili su samo oni projekti koji su se odnosili na raznorazne analize, odnosno na definisanje pitanja koja olakšavaju potencijalnim inostranim investitorima pravac investiranja u našu zemlju. Kao što je rečeno, kratkoročno to je bilo korisno za našu zemlju, koja je bila u velikoj krizi, naročito posle posledica bombardovanja, sankcija, loše privatizacije i velike nezaposlenosti. Dugoročno gledano moramo se što više oslanjati na domaću privredu. Rad domaće privrede osigurava i domaći razvoj odnosno adekvatno školovanje i zapošljavanje domaćeg stručnog kadra.

Radi svega prethodno iznetog HITNO je potrebno:

- Formirati tim stručnjaka koji će definisati pravce razvoja.
- Formirati nekoliko demonstracionih projekata finansiranih od vlade koji mogu poslužiti kao dobri primeri primene biomase kao OIE. Potrebno je da budu zastupljeni projekti sa primenom i poljoprivredne i šumske biomase, kao i projekat kogenerativnog postrojenja.
- Prepoznati moguće proizvođače i korisnike energetske opreme i ukazati im na moguće subvencije države u razvoju, proizvodnji i primeni te opreme. Pod opremom se podrazumevaju: kotlovi (vodogrejni, parni, vrelouljni), sušare, sistemi grejanja i klimatizacije, razmenjivači toplote, ekstraktori itd. Ovde treba prepoznati i moguće proizvođače opreme za sakupljanje i pripremu biomase, kao energetskog izvora, kao što su proizvođači: balirki, utovarivača bala, seckalica drveta, sistemi za peletiranje, transportni sistemi, sistemi manipulacije i doziranja itd. Pri tome bilo bi izuzetno poželjno ukoliko bi se pristupilo i nekoj vrsti standardizacije gore pomenutih uređaja.
- Definirati učešće države u JAVNO/PRIVATNOM partnerstvu takvo da ohrabri domaće pa i strane investitore koji bi bazirali proizvodnju i razvoj opreme u

našoj zemlji. Pod ohrabrivanjem prvenstveno se misli na odobravanje povoljnih kredita sa određenim odloženim periodom otplate i pojednostavljenja administrativnih prepreka u izgradnji planiranih postrojenja, uz uslov da planirana postrojenja rade u skladu sa usvojenim normama o zaštiti životne sredine.

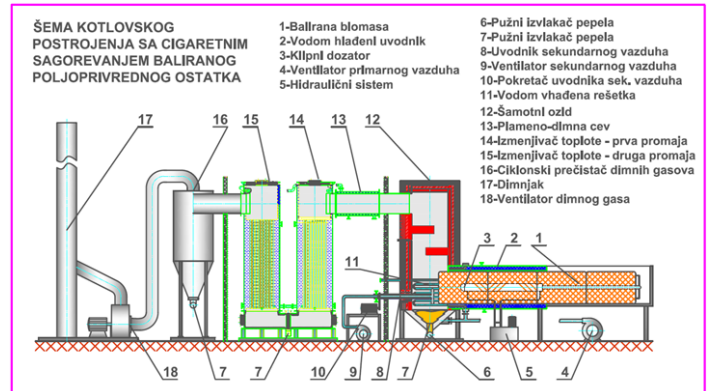
- Organizovanje tribina po selima na kojim bi se poljoprivrednim proizvođačima predočilo da uvođenjem toplifikacije naselja svoje grejanje ne moraju plaćati novcem već ostacima iz svoje poljoprivredne proizvodnje. U sklopu tih tribina ukazati na prednosti izgradnje uz toplane dodatnih kapaciteta za preradu poljoprivrednih proizvoda, tako da poljoprivrednici mogu svoju proizvodnju usmeriti ka onim kulturama koje donose veći prihod po hektaru, a koje se ne mogu gajiti ukoliko njihove prerade nema. Svaka prerada i dorada poljoprivrednih proizvoda u mnogome povećava cenu osnovne sirovine uz mogućnost zapošljavanja lokalnog stanovništva. Na taj način bi se podstakao ostanak mladih i sprečilo bi se odumiranje sela.
- Zbog složene celokupne problematike primene biomase kao OIE i velikog raspoloživog potencijala neophodno je u rešavanje svih iznetih problema uključiti u rad više ministarstava: Ministarstvo rudarstva i energetike, Ministarstvo poljoprivrede šumarstva i vodoprivrede, Ministarstvo prosvete nauke i tehnološkog razvoja, Ministarstvo privrede, Ministarstvo za rad, zapošljavanje, boračka i socijalna pitanja, Ministarstvo zaštite životne sredine, Kabinet ministra bez portfelja zaduženog za inovacije i tehnološki razvoj, Privredne komora Republike Srbije [10]. Iz dosadašnjih iskustava potpisnika ovog rada mislimo da je poslednja navedena tačka i najteža.

#### V PRIMER IZ PRAKSE KOJIM SE POKAZUJE DA JE SVE PRETHODNO PREDLOŽENO MOGUĆE

U okviru ranijih projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja razvijena je tehnologija cigaretnog sagorevanja baliranih ostataka poljoprivredne proizvodnje. Razvoj je išao od teoretskih razmatranja [11,12], laboratorijskih ispitivanja [13,14,15], izrade prototipnih postrojenja do izgradnje industrijskog postrojenja (kotla) snage 1,5-2MW [16-18]. Razvoj i izgradnja kotla je bila pod rukovodstvom Laboratorije za termotehniku i energetiku instituta Vinča. U razvoju su učestvovali i: Mašinski fakultet iz Beograda i njegov Inovacioni centar, Fakultet tehničkih nauka i Poljoprivredni fakultet iz Novog Sada, i Institut za zemljište iz Beograda. Razvijena tehnologija cigaretnog sagorevanja je patentirana (patent 51771-10.10.11). Ovde napominjemo da je tehnologija cigaretnog sagorevanja balirane biomase preporučena od strane EU instituta za energetiku iz Petena-Holandija kao najpovoljnija [19] za tu formu biomase. U prilog uspešnosti patentiranog i razvijenog rešenja navodimo da su pomenutu tehnologiju sagorevanja razvijale i nemačke i danske kompanije ali sa manje uspeha. Projekti u okviru kojih je pomenuta tehnologija sagorevanja razvijana svojevremeno su u kategoriji III (projekti - Integralna i Interdisciplinarna Istraživanja) i projektima Tehnološkog razvoja ocenjeni kao ubedljivo najbolji iz oblasti energetike. Projekat "Razvoj i unapređenje tehnologija za efikasno korišćenje

energije više oblika poljoprivredne i šumske biomase na ekološki prihvatljiv način, uz mogućnost kogeneracije", (Project III42011), je bio drugo plasirani od ukupno 120 projekata, a drugi "Unapređenje industrijskog postrojenja sa fluidizovanim slojem, u okviru tehnologije za energetski efikasno i ekološki izvodljivo sagorevanje raznih otpadnih materija u fluidizovanom sloju", (Projekat TR33042) je bio prvoplasirani od ukupno 320 projekata.

Izgrađeni kotao je služio za grejanje 1 ha plastenika u okviru nekadašnje PKB korporacije. Na slikama koje slede prikazana je šema kotla i nekoliko slika samog postrojenja (slike od 1 do 5), kao i izgled plastenika (slika 6).



Slika 1. Šema postrojenja sa cigaretnim sagorevanjem balirane slame

Na slikama 2, 3, 4 i 5 prikazano je izgrađeno postrojenje



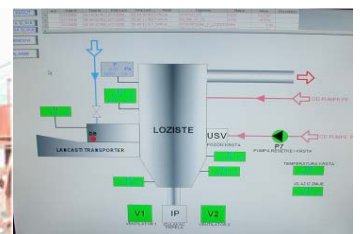
Slika 2. Kotlarnica sa akumulatorom toplote od 100 m3



Slika 3. Razmenjivač toplote (pozicije 13,14,15 sa slike 1)



Slika 4. Hidraulični dozator bala



Slika 5. Slika kontrolnog panela automatskog upravljanja

Prednost razvijene tehnologije cigaretnog sagorevanja je u tome

što primena biomasa u formi bala ne iziskuje nikakav naknadni tretman (rasturanje bala, seckanje biomase, međutransport i skladištenje) a samim tim donosi i veliku uštedu energije i smanjenje investicionih i eksploatacionih troškova.



Slika 6. 1 ha grejanih plastenika

Kotao je izgrađen zajedničkim zalaganjem pomenutih naučnih institucija i saradnjom sa firmama TIPO-kotlogradnja, UNBRA iz Beograda i Tremocentrom iz Čačka. Navedene firme su se praktično odrekle dobiti od izgradnje pomenutog kotla i aktivno su učestvovala u razvoju. Kotao je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja i Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede u odnosu  $\approx 50\%/50\%$ . Kompanija PKB je učestvovala u izgradnji zgrade kotlarnice i akumulatora toplote.

Uslov finansiranja izgradnje kotla bio je da kotao zadrži status eksperimentalnog i demonstracionog postrojenja. Konceptija eksperimentalnog postrojenja je trebao da bude u smislu mogućnosti ispitivanja karakteristika sagorevanja različitih baliranih biomasa (pšenična i druge slame, kukuruzovina, energetske biljke). Inače kotao je projektovan za rad sa balama sojine slame. Konceptija demonstracionog postrojenja je osmišljena u cilju da svi potencijalni korisnici pomenute tehnologije sagorevanja mogu na licu mesta da se uvere u rad kotla, prateće opreme i instalacije pre nego što se odluče za izgradnju takvog postrojenja. Bez zajedničkog zalaganja svih aktera u razvoju, proizvođača opreme, korisnika i finansijera do realizacije izgradnje ne bi ni došlo. Sinhronizovanje te saradnje je ujedno bio i najteži deo u ostvarivanju krajnjeg cilja. Zbog toga je ranije i naglašeno da u slučaju realizacije predloga iz ovog rada najveći teret će pasti na instituciju koja treba da sinhronizuje rad svih predviđenih aktera.

Kotao je radio više od 10 godina praktično bez ikakvih tehnoloških problema. Jedini problemi koji su se javljali u prvim godinama eksploatacije bili su vezani za kvalitet goriva. Zbog neadekvatne zaštite biomase od vremenskih uslova povremeno je dolazilo do korišćenja izuzetno vlažnih bala koje su otežano sagorevale. Vremenom su se stekla iskustva u zaštiti bala od vremenskih uslova pravilnim odlaganjem i skladištenjem, pa su ti problemi prevaziđeni. Sadašnje stanje kotla je katastrofalno. Nakon privatizacije PKB korporacije 2018., samo kotlovsko postrojenje, u užem smislu, je pripalo kompaniji ALDAHRA, dok su plastenici, zemljište i zgrada kotlarnice ostali u neprivatizovanom delu PKB korporacije. Rukovodstvo kompanije ALDAHRA je odlučilo da kotao iseče i proda u staro gvožđe umesto da se izvrši remont i sanacija nakon dve godine

nerada zbog nerešenih vlasničkih pitanja. Uništenjem kotla naneta je i nesaglediva šteta plastenicima u koje je uloženo i više nego u samo kotlovsko postrojenje. Pored toga one kompanije koje su kotao napravile, sa odricanjem od profita, ne mogu više novim potencijalnim kupcima da pokažu kako kotao radi u realnim uslovima, a naučne organizacije koje su kotao razvile nemaju više predviđenu eksperimentalnu bazu za ispitivanje sagorevanja različitih biomasa, a samim tim i definisanje tačnijih projektnih parametara budućih novih postrojenja sa cigaretnim principom sagorevanja.

## VIII ZAKLJUČAK

Svi pokazatelji izneti u ovom radu ukazuju na to da primena biomase kao obnovljivog vida goriva može pomoći u: reindustrijalizaciji Republike Srbije, podizanju nivoa poljoprivredne proizvodnje, podsticanju javno privatnog partnerstva, smanjenju nezaposlenosti, školovanju domaćeg kadra u poslovima razvoja termoelektričnih postrojenja, smanjenju uvoza fosilnih goriva i usmeravanju mogućih donacija i podsticajnih sredstava u pravcu koji ovaj rad sugeriše. Pored toga jasno je ukazano da se bez sinhronizovanog rada mnogih delova Vlade, proizvodnih kompanija, korisnika razvijenih tehnoloških postrojenja, i obrazovno/naučnih organizacija ne mogu očekivati željeni rezultati.

## ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Ovaj rad je podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije; Ugovor broj 451-03-9/2021-14/200017.

## LITERATURA/REFERENCES

- [1] Schneider, D.R., Duic, N., Raguzin, I., Bogdan, Z., Ban, M., Grubor, B., Stefanović, P., Dakić, D., Repić, B., Stevanović, Ž., Zbogar, A., Studović, M., Nemoda, S., Oka, N., Đurović, D., Kadić, N., Bakić, V., Belošević, S., Erić, A., Mladenović, R., Paprika, M., Delalić, N., Lekić, A., Bajramović, R., Teskeredžić, A., Smajević, I., Džaferović, E., Begić, F., Lučić, H., Metović, S., Petrović, S., Djugum, A., Kadric, D., Hodžić, N., Kulic, F., Kazagić, A., Gafić, A. Mapping the potential for decentralized energy generation based on RES in Western Balkans, *Thermal Science*, Vol. 11, No. 3, pp. 7-26, 2007. <https://doi.org/10.2298/TSCI0703007S>
- [2] Dakić, D. *Biomasa iz ratarske proizvodnje*, Demokratska stranka, Beograd, 2011.
- [3] Rajabi Hamedani, S., Colantoni, A., Gallucci, F., Salerno, M., Silvestri, C., Villarini, M. Comparative energy and environmental analysis of agro-pellet production from orchard woody biomass, *Biomass and Bioenergy*, Vol.129, 105334, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105334>
- [4] Čurčić, S., Vesković, M., Vujičić, M. Analiza zahteva za korišćenje otpadne drvine i biljne biomase u Srbiji u energetske svrhe, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 3, pp. 80-84, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.80C>
- [5] Čurčić, S. Mogućnosti korišćenja otpadne drvine i poljoprivredne biomase u Srbiji u kogeneracionim postrojenjima, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 2, pp. 26-30, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-2.26C>
- [6] Stevanovic, R. Cities of Republic of Serbia in the Population Censuses from 1948 to 2002, *Stanovništvo*, Vol. 38, pp. 1-4, 2004.
- [7] *Autonomous Province of Vojvodina - APV* [pristupljeno 10.03.2022]
- [8] Ruiz, J.A., Juárez, M.C., Morales, M.P., Muñoz, P., Mendiál, M.A. Biomass logistics: Financial & environmental costs. Case study: 2MW electrical power plants, *Biomass and bioenergy*, Vol. 56, pp. 260-267, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.014>
- [9] Đaković, D., Gvozdenac Urošević, B., Vasić, G. Logistika snabdevanja energetskog postrojenja biomasom, in *Proc. Zbornik Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji – Processing, [S.l.]*, Vol. 27, No. 1, 2017.

- <https://izdanja.smeits.rs/index.php/ptk/article/view/2341> [pristupljeno 10.03.2022]
- [10] Mladenović, M., Vučićević, B., Živković, G. Recommendations for organized and energy efficient use of biomass under the KeepWarm international project, in Proc. *19th International Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia-SIMTERM 2019*, Sokobanja, Srbija, 2019.
- [11] Eric, A., Dakić, D., Nemoda, S., Komatina, M., Repić, B. Experimental determination thermo physical characteristics of balled biomass, *Energy*, Vol. 45, No. 1, pp. 350-357, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.063>
- [12] Eric, A., Dakić, D., Nemoda, S., Komatina, M., Repić, B. Experimental method for determining Forchheimer equation coefficients related to flow of air through the bales of soy straw, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 54, pp. 19-20, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.05.015>
- [13] Repić, B., Dakić, D., Eric, A., Djurovic D., Mladenovic, M., Nemoda S. Experimental investigations of the combustion processes in the furnace for straw combustion, in Proc. *20th International Congress of Chemical and Process Engineering and PRES 2012, CHISA 2012 – 15th Conference PRES*, 2012.
- [14] Mladenovic, R., Belosevic, S., Paprika, M., Komatina M., Dakić, D., Eric, A., Djurovic D. Effects of air excess control in a heat storage solid fuel-fired household furnace, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, No. 13, pp. 2243-2251, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.01.016>
- [15] Marinkovic, A., Dakic, D., Mladenovic, M., Nemoda, S. Experimental determination of the effects of additives on agricultural biomass ash characteristics, *Contemporary Agricultural Engineering*, Vol. 37, No. 2, pp. 119-224, 2011. [https://www.researchgate.net/publication/277195007\\_Experimental\\_determination\\_of\\_the\\_effects\\_of\\_additives\\_on\\_agricultural\\_biomass\\_ash\\_characteristics](https://www.researchgate.net/publication/277195007_Experimental_determination_of_the_effects_of_additives_on_agricultural_biomass_ash_characteristics) [pristupljeno 10.03.2022]
- [16] Djurovic, D., Nemoda S., Dakic, D., Adzic M., Repic B.. Furnace for biomass combustion – Comparison of model with experimental data, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 55, Issue 15-16, pp. 4312-4317, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.03.079>
- [17] Mladenovic, R., Dakić, D., Erić, A., Mladenović, M., Paprika, M., Repić, B. The boiler concept for combustion of large soya straw bales, *Energy*, Vol. 34, No. 5, pp. 715-723, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.02.003>
- [18] Živković, G., Dakić, D., Rudonja, N., Repić, B. Experimental research of thermal processes in the thermal storage tank with a phase change medium, in Proc. *5th International Conference Power Plants 2012*, Zlatibor, Serbia, pp. 1138-1149, October 30–November 2, 2012.
- [19] Kavalov, B., Peteves, S. *Bioheat Applications in the European Union: An Analysis and Perspective for 2010*. 'Report No.' EUR 21401 EN European Commission in Joint Reserch Centre, Petten, The Netherlands, 2004. [Microsoft Word - EUR 21401 EN.doc \(eirc-foundation.eu\)](https://www.eur-21401.eu/) [pristupljeno 10.03.2022]

## AUTORI/AUTHORS

**dr Milica Mladenović** - viši naučni saradnik, University of Belgrade, VINČA Institute of Nuclear Sciences, Laboratory of Thermal Engineering and Energy, Belgrade, Serbia, mica@vin.bg.ac.rs, ORCID [0000-0003-1924-0437](https://orcid.org/0000-0003-1924-0437)

**dr Dragoljub Dakić** - naučni savetnik, University of Belgrade, VINČA Institute of Nuclear Sciences, Laboratory of Thermal Engineering and Energy, Belgrade, Serbia, dakicdr@vinca.rs

**msr Nevena Petrov** - istraživač pripravnik, University of Belgrade, VINČA Institute of Nuclear Sciences, Laboratory of Thermal Engineering and Energy, Belgrade, Serbia, npetrov@vin.bg.ac.rs, ORCID [0000-0002-4587-4751](https://orcid.org/0000-0002-4587-4751)

# Poboljšanje rada distributivne mreže u uslovima velikih opterećenja korišćenjem fotonaponskih i sistema za skladištenje energije

## Improving the Operation of the Distribution Network in High Load Conditions Using Photovoltaic and Energy Storage Systems

Nikola Krstić\*, Dragan Tasić\*, Dardan Klimenta\*\*

\* Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu

\*\* Univerzitet u Prištini sa sedištem u Kosovskoj Mitrovici, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici

**Rezime** - U ovom radu je razmatrano poboljšanje rada distributivne mreže korišćenjem fotonaponskih (PV) i sistema za skladištenje energije (ESS) u uslovima velikih opterećenja. Optimalne lokacije i snage PV sistema i ESS, u pogledu poboljšanja rada distributivne mreže, su određene metaheurističkom optimizacionom metodom genetskog algoritma (GA), pri čemu su gubici u distributivnoj mreži i njen naponski profil usvojeni kao indikatori kvaliteta rada distributivne mreže. Korišćena su dva pristupa prilikom određivanja optimalnih snaga PV sistema u toku dana, u zavisnosti od odnosa injektirane snage u mrežu od strane PV sistema i njegove maksimalne moguće snage u datom trenutku. Analizirani su slučajevi sa različitim vremenskim i prostornim raspodelama opterećenja u distributivnoj mreži, kao i slučajevi priključenja različitog broja PV sistema i ESS. Na osnovu dobijenih rezultata, pored određivanja nivoa poboljšanja rada distributivne mreže, dati su i zaključci koji se odnose na uticaj dijagrama opterećenja na broj, lokaciju i dimenzionisanje PV sistema i ESS.

**Ključne reči** - fotonaponski sistem, sistem za skladištenje energije, genetski algoritam, dijagram opterećenja, distributivna mreža

**Abstract** - This paper considers the improvement of distribution network operation in high load conditions using photovoltaic (PV) and energy storage systems (ESS). Optimal locations and powers of PV systems and ESS, considering the improvement of distribution network operation, are determined by metaheuristic optimization method of genetic algorithm (GA), where losses in distribution network and its voltage profile are used as quality indicators for distribution network operation. Two approaches are used to determine the optimal power of PV system during the day, depending on the ratio of injected power into the network by the PV system and its maximum available power at a given time. Cases with different load distributions in the distribution network are analyzed, as well as the cases with different number of connected PV systems and ESS. Based on the obtained results, in addition to determining the level of distribution network operation improvement, conclusions are given regarding the

impact of load diagram on the number, location and size of PV systems and ESS.

**Index Terms** - Photovoltaic system, Energy storage system, Genetic algorithm, Load diagram, Distribution network

### I UVOD

Distributivna mreža kao važan i neizostavni deo elektroenergetskog sistema, se mora suočiti i adekvatno odgovoriti na nove izazove i zahteve koji se pred nju postavljaju. Ovi zahtevi najčešće podrazumevaju poboljšanje rada distributivne mreže [1] i nesmetano napajanje sve većeg broja potrošača električnom energijom visokog kvaliteta, korišćenjem novih tehnoloških rešenja koja su ekološki prihvatljiva. U okviru ovih rešenja, kao jedna od najznačajnijih se ističu distribuirani obnovljivi izvori energije [2] i sistemi za skladištenje energije (ESS) [3]. Iako povoljni sa ekološkog aspekta, obnovljivi izvori energije u najvećem broju slučajeva imaju intermitentni karakter, zbog čega su zahtevni za upravljanje, mogu imati negativan uticaj na naponski profil mreže i često ne odgovaraju postojećem dijagramu opterećenja. Jedan od najefikasnijih načina za prevazilaženje ovih problema, posebno u uslovima velike distribuirane proizvodnje ili velikih opterećenja, jeste korišćenje ESS [3].

U ovom radu je korišćen fotonaponski (PV) sistem kao distribuirani obnovljivi izvor energije, koji u kombinaciji sa ESS utiče na poboljšanje rada distributivne mreže. Konkretno, razmatran je uticaj PV sistema i ESS na poboljšanje naponskog profila [4] i smanjenje gubitaka u distributivnoj mreži [5] u uslovima velikih opterećenja, kao osnovnih indikatora kvaliteta rada distributivne mreže.

Ideja je iskoristiti injektirane snage PV sistema i ESS i njima umanjiti snagu koja se povlači iz mreže, čime bi se rasteretili određeni delovi distributivnih vodova u periodu visokih opterećenja. Osnovna uloga PV sistema za vreme nižih opterećenja bi bila dopuna ESS, što bi u zavisnosti od njihovih lokacija opet za posledicu moglo imati smanjenje tokova snaga na distributivnim vodovima. Na ovaj način bi se smanjila i vremenski ujednačila snaga koja se prenosi distributivnim

vodovima, što bi pozitivno uticalo na poboljšanje naponskog profila [4] distributivne mreže i smanjenje gubitaka u njoj [6]. Step en efikasnosti realizacije pomenute ideje zavisi od pravilnog izbora lokacija i adekvatnog upravljanja injektiranim snagama [7] PV sistema i ESS, koji mora biti usklađen sa zadatim dijagramom opterećenja. U ovu svrhu je iskorišćena metaheuristička optimizaciona metoda genetskog algoritma (GA) [8][9], pomoću koje su određene optimalne lokacije i snage PV sistema i ESS [10]. Prilikom određivanja optimalnih snaga PV sistema korišćena su dva pristupa u zavisnosti od odnosa injektirane i maksimalne moguće snage PV sistema u datom trenutku. U prvom pristupu injektirana snaga prati maksimalnu moguću snagu PV sistema određenu sunčevom iradijacijom za dati trenutak u toku dana, dok u drugom to nije slučaj. Na ovaj način, u prvom pristupu su celokupni resursi PV sistema iskorišćeni za poboljšanje rada distributivne mreže [11], ali je time smanjena i sloboda prilikom određivanja njegove snage, koja mora da prati oblik dnevnog dijagrama sunčeve iradijacije. Drugi pristup pruža veću slobodu i u njemu PV sistem ne mora raditi sa maksimalnom mogućom snagom u datom trenutku, pa se mogu očekivati i nešto bolji rezultati, ali generalno zahteva PV sistem većih dimenzija.

ESS je u radu obuhvaćen kao idealni element sa jediničnim stepenom efikasnosti u režimu punjenja i pražnjenja, čiji nivo napunjenosti je isti na početku i na kraju posmatranog ciklusa rada, za svaki posmatrani slučaj. Tokovi snaga u distributivnoj mreži i naponi u njenim čvorovima su određeni iterativnom metodom za proračun tokova snaga u radijalnim distributivnim mrežama. Jasno je da rezultati, odnosno nivo poboljšanja rada distributivne mreže u velikoj meri zavisi od oblika dijagrama opterećenja, zbog čega se u radu razmatraju različite vremenske i prostorne raspodele opterećenja [1]. Takođe, rad sadrži i rezultate koji se odnose na priključenje različitog broja PV sistema i ESS. Svi rezultati su dobijeni Matlab simulacijama korišćenjem IEEE distributivne mreže sa 18 čvorova.

## II DEFINISANJE OPTIMIZACIONOG PROBLEMA

Poboljšanje naponskog profila distributivne mreže i smanjenje gubitaka u njoj korišćenjem PV sistema i ESS, predstavlja nelinearni optimizacioni problem sa ograničenjima. Nelinearnost proizilazi iz nelinearne zavisnosti gubitaka i kvaliteta naponskog profila distributivne mreže od snaga PV sistema i ESS. Uzimajući u obzir složenost nalaženja optimalnih vrednosti za lokacije i snage PV sistema i ESS, posebno zbog postavljenih ograničenja, za dobijanje rešenja optimizacionog problema korišćena je metaheuristička optimizaciona metoda GA. Prednost GA i metaheurističkih optimizacionih metoda uopšte je njihova fleksibilnost i mogućnost primene na širokom opsegu različitih optimizacionih problema.

Upravljačke veličine u ovom optimizacionom problemu su lokacije i srednje jednočasovne snage PV sistema i ESS. Ograničenja upravljačkih veličina su data sledećim relacijama:

$$i_{PV} \in \{i_1, i_2, \dots, i_n\} \quad (1)$$

$$i_{ESS} \in \{i_1, i_2, \dots, i_n\} \quad (2)$$

$$P_{PVmin} < P_{PV}^k < P_{PVmax}^k \quad (3)$$

$$P_{ESSmin} < P_{ESS}^k < P_{ESSmax} \quad (4)$$

gde je  $i_{PV}$  indeks čvora u distributivnoj mreži u kome je priključen PV sistem, a  $i_{ESS}$  indeks čvora u kome je priključen ESS, dok je  $\{i_1, i_2, \dots, i_n\}$  skup indeksa čvorova u kojima je moguće priključiti PV sistem i ESS.  $P_{PV}^k$  predstavlja srednju jednočasovnu snagu koju PV sistem injektira u mrežu u  $k$ -tom satu, dok je  $P_{ESS}^k$  srednja jednočasovna snaga koju injektira ESS u  $k$ -tom satu. Snage  $P_{ESSmax}$  i  $P_{ESSmin}$  predstavljaju maksimalnu snagu pražnjenja i minimalnu snagu punjenja ESS i njihove vrednosti usvojene u radu su takve da ne predstavljaju ograničavajući faktor za dobijanje optimalnog rešenja. Za razliku od graničnih snaga ESS koje imaju istu vrednost u toku celog dana, gornja granična vrednost snage PV sistema  $P_{PVmax}^k$  zavisi od rednog broja sata u danu  $k$ , i prati oblik dnevnog dijagrama sunčeve iradijacije. Donja granična vrednost za snagu PV sistema  $P_{PVmin}$  je jednaka nuli.

Zavisne veličine koje se pojavljuju u ovom optimizacionom problemu su nivo napunjenosti ESS, struja duž vodova distributivne mreže i napon u njenim čvorovima. Uzimajući u obzir da su u ovom radu korišćene srednje jednočasovne snage, nivo napunjenosti ESS na kraju  $k$ -tog sata, za vreme punjenja i pražnjenja se može odrediti iz relacija (5) i (6) respektivno:

$$SOC_k = SOC_{k-1} - \frac{\eta}{Q_{ESS}} P_{ESS}(k) \quad (5)$$

$$SOC_k = SOC_{k-1} - \frac{1}{\eta Q_{ESS}} P_{ESS}(k) \quad (6)$$

gde je:  $SOC_k$  – nivo napunjenosti ESS na kraju  $k$ -tog sata,  $SOC_{k-1}$  – nivo napunjenosti ESS na kraju  $k-1$ -og sata,  $P_{ESS}(k)$  – srednja jednočasovna snaga ESS u  $k$ -tom satu (ima vrednost manju od nule za vreme punjenja, a veću od nule za vreme pražnjenja ESS),  $Q_{ESS}$  – ukupni energetska kapacitet ESS,  $\eta$  – stepen efikasnost procesa punjenja i pražnjenja ESS.

Ograničenja zavisnih veličina su određena maksimalnom radnom strujom i dozvoljenim opsegom napona distributivnih vodova, kao i dozvoljenim opsegom nivoa napunjenosti ESS, što je dato relacijama:

$$I < I_{max} \quad (7)$$

$$V_{min} < V < V_{max} \quad (8)$$

$$SOC_{max} < SOC < SOC_{max} \quad (9)$$

gde su  $I$  i  $V$  struja i napon u distributivnoj mreži.

Kako bi dobijena rešenja bila održiva u vremenu, usvojeno je dodatno ograničenje vezano za nivo napunjenosti ESS:

$$SOC_{početak} = SOC_{kraj} \quad (10)$$

Ograničenjem datim u relaciji (10) se postiže da nivo napunjenosti na početku i kraju posmatranog ciklusa rada bude isti.

Rešenje optimizacionog problema treba da omogući poboljšanje rada distributivne mreže time što će poboljšati naponski profil i smanjiti gubitke u njoj. Iz ovog razloga je korišćena dvoparametarska kriterijumska funkcija, sastavljena od srednje dnevne snage gubitaka u distributivnoj mreži i indikatora kvaliteta naponskog profila u njoj. Kriterijumska funkcija je data

izrazom (11):

$$C = \frac{a}{24} \cdot \sum_{k=1}^{24} \sum_{j=1}^m 3I_{k,j}^2 R_j + \frac{b}{24} \cdot \sum_{k=1}^{24} \sum_{i=1}^n (V_{k,i} - V_{ref})^2 \quad (11)$$

Gde je:  $C$  – kriterijumska funkcija čiju minimizaciju je potrebno izvršiti,  $I_{k,j}$  – efektivna vrednost struje u  $k$ -tom satu na  $j$ -toj deonici distributivne mreže,  $R_j$  – aktivna otpornost  $j$ -te deonice distributivne mreže,  $V_{k,i}$  – srednja vrednost napona u  $k$ -tom satu  $i$ -tog čvora distributivne mreže,  $V_{ref}$  – referentna vrednost napona,  $m, n$  – ukupan broj deonica i čvorova u distributivnoj mreži, respektivno,  $a, b$  – težinski koeficijenti ukupnih gubitaka i kvaliteta naponskog profila distributivne mreže, respektivno.

### III UTICAJ PV SISTEMA I ESS NA GUBITKE I NAPONSKI PROFIL DISTRIBUTIVNE MREŽE

Gubici i naponski profil distributivne mreže direktno zavise od tokova snaga po njenim vodovima. Priključenjem PV sistema i ESS, pored snage i raspodele opterećenja, na tokove snaga po distributivnim vodovima utiče i injektirane snage ova dva sistema. Imajući ovo u vidu, pravilnim upravljanjem injektiranim snagama PV sistema i ESS moguće je smanjiti gubitke i poboljšati naponski profil distributivne mreže.

#### A. Uticaj PV sistema i ESS na gubitke u distributivnoj mreži

Kako bi odredili uticaj PV sistema i ESS na gubitke u distributivnoj mreži, krenuće se od izraza za izračunavanje njihove srednje dnevne vrednosti na nekoj deonici mreže.

$$P_{Lossj} = \frac{1}{24} \sum_{k=1}^{24} 3I_{k,j}^2 R_j \quad (12)$$

gde je:  $P_{Lossj}$  – srednja dnevna vrednost snage gubitaka na  $j$ -toj deonici distributivne mreže,  $I_{k,j}$  – efektivna vrednost struje u  $k$ -tom satu na  $j$ -toj deonici distributivne mreže,  $R_j$  – aktivna otpornost  $j$ -te deonice distributivne mreže.

Uvažavajući korelaciju između struje i snage, može se napisati relacija koja vezuje gubitke i snagu koja se prenosi  $j$ -tom deonicom distributivnog voda.

$$P_{Lossj} = \frac{1}{24} \sum_{k=1}^{24} C_{k,j} \cdot P_{k,j}^2 \quad (13)$$

gde je  $P_{k,j}$  efektivna vrednost snage u  $k$ -tom satu na  $j$ -toj deonici distributivne mreže, dok je  $C_{k,j}$  koeficijent proporcionalnosti gubitaka i kvadrata snage u  $k$ -tom satu na  $j$ -toj deonici distributivne mreže. Vrednost ovog koeficijenta se na osnovu napona na početku  $j$ -te deonice distributivne mreže ( $U_{k,i}$ ), njenog faktora snage u  $k$ -tom satu ( $\cos\varphi_{k,j}$ ) i aktivne otpornosti ( $R_j$ ) može odrediti kao:

$$C_{k,j} = \frac{R_j}{U_{k,i}^2 \cos^2\varphi_{k,j}} \quad (14)$$

Zanemarivanjem promene napona i faktora snage u vremenu, koeficijent proporcionalnosti dobija konstantnu vrednost u toku dana određenu posmatranom deonicom ( $C_j$ ). Ukoliko se snaga  $P_{k,j}$  iz izraza (13) predstavi preko svoje srednje dnevne vrednosti i odstupanja, i izvrši njeno kvadriranje, izraz (13) postaje:

$$P_{Lossj} = C_j \cdot \frac{1}{24} \sum_{k=1}^{24} (P_{srj}^2 + 2P_{srj}\Delta P_{k,j} + \Delta P_{k,j}^2) \quad (15)$$

gde je:  $P_{srj}$  – srednja dnevna vrednost efektivnih jednočasovnih

snaga na  $j$ -toj deonici distributivne mreže,  $\Delta P_{k,j}$  – odstupanje jednočasovne efektivne snage u  $k$ -tom satu od njene srednje dnevne vrednosti na  $j$ -toj deonici distributivne mreže.

Kako je suma drugog člana u zagradi izraza (15) jednaka nuli, srednja dnevna snaga gubitaka u distributivnoj mreži se može odrediti kao:

$$P_{Loss} = \sum_{j=1}^m C_j \cdot (P_{srj}^2 + \sigma_j^2) \quad (16)$$

gde je  $\sigma_j$  standardna devijacija efektivne jednočasovne snage na  $j$ -toj deonici distributivne mreže.

Usvajanjem da su snage opterećenja i injektirane snage PV sistema i ESS konstantne u jednočasovnom periodu, za efektivnu snagu iz izraza (13) se može pisati:

$$P_{k,j} = P_{Lk,j} - P_{DGk,j} \quad (17)$$

gde je:  $P_{Lk,j}$  – snaga koja se u  $k$ -tom satu prenosi  $j$ -tom deonicom distributivne mreže usled postojanja opterećenja,  $P_{DGk,j}$  – snaga koja se u  $k$ -tom satu prenosi  $j$ -tom deonicom distributivne mreže usled postojanja distribuirane proizvodnje.

Snaga distribuirane proizvodnje iz izraza (17) obuhvata snage injektiranja PV sistema i ESS, pri čemu na njenu vrednost utiče položaj posmatrane deonice distributivne mreže u odnosu na mesto priključenja ova dva sistema. Kako se radi o radijalnoj distributivnoj mreži injektirane snage PV sistema i ESS utiču samo na tokove snaga ispred mesta njihovog priključenja. U skladu sa time, snaga  $P_{DGk,j}$  može biti jednaka nuli, snazi injektiranja PV sistema, snazi injektiranja ESS ili zbiru snaga injektiranja PV sistema i ESS, u zavisnosti od toga da li je neki od ova dva sistema priključen iza posmatrane deonice. Sada, parametri u relaciji (16), se mogu odrediti kao:

$$P_{srj}^2 = (P_{Lsrj} - P_{PVsrj} - P_{ESSsrj})^2 \quad (18)$$

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{24} \cdot \sum_{k=1}^{24} (\Delta P_{Lk,j} - \Delta P_{PVk,j} - \Delta P_{ESSk,j})^2 \quad (19)$$

gde su  $P_{Lsrj}$ ,  $P_{PVsrj}$ ,  $P_{ESSsrj}$  srednje dnevne snage koje se prenose  $j$ -tom deonicom distributivne mreže usled postojanja opterećenja, PV sistema i ESS, respektivno, dok su  $\Delta P_{Lk,j}$ ,  $\Delta P_{PVk,j}$ ,  $\Delta P_{ESSk,j}$  odstupanja snaga koje se prenose  $j$ -tom deonicom usled opterećenja, PV sistema i ESS u  $k$ -tom satu od njihovih srednjih dnevnih vrednosti.

Važno je istaknuti da snage  $P_{PVsrj}$ ,  $P_{ESSsrj}$  kao i snage  $\Delta P_{PVk,j}$ ,  $\Delta P_{ESSk,j}$  imaju vrednost jednaku nuli ukoliko se odgovarajući sistem (PV sistem ili ESS) ne nalazi iza  $j$ -te deonice (posmatrane deonice). Takođe, u ovom radu je ESS posmatran kao idealni element sa jediničnom efikasnošću i istim nivoom napunjenosti na početku i kraju dana. Ovo za posledicu ima da srednja dnevna snaga koja se prenosi bilo kojom deonicom distributivne mreže usled postojanja ESS, bude jednaka nuli ( $P_{ESSsr} = 0$ ).

Na osnovu relacije (16) može se zaključiti da gubici u distributivnoj mreži direktno zavise od srednje efektivne vrednosti i varijabilnosti snage koja se prenosi njenim vodovima. Koristeći izraze (18) i (19), kao i činjenicu da je srednja snaga ESS jednaka nuli, može se konstatovati da PV sistem utiče na smanjenje gubitaka menjajući (smanjujući) i srednju vrednost i

varijabilnost snage distributivnih vodova, dok ESS to čini samo sa varijabilnošću. Ovde se mora imati u vidu da PV sistemi često rade maksimalnom snagom koja zavisi od sunčeve iradijacije i ne mora biti usklađena sa dijagramom opterećenja. Ovo dovodi do toga da se uticaj PV sistema na smanjenje gubitaka dominantno ostvaruje preko smanjenja srednje efektivne vrednosti snage distributivnih vodova, dok na smanjenje varijabilnosti, u daleko većoj meri utiče fleksibilniji ESS.

#### B. Uticaj PV sistema i ESS na naponski profil distributivne mreže

Kako bi se odredio uticaj PV sistema i ESS na naponski profil distributivne mreže krenuće se od izraza za izračunavanje vrednosti indikatora kvaliteta naponskog profila distributivne mreže, korišćenog u ovom radu.

$$VQI = \frac{1}{24} \cdot \sum_{k=1}^{24} \sum_{i=1}^n (V_{k,i} - V_{ref})^2 \quad (20)$$

gde je:  $VQI$  – indikator kvaliteta naponskog profila,  $V_{k,i}$  – srednja vrednost napona u  $k$ -tom satu  $i$ -tog čvora distributivne mreže,  $V_{ref}$  – referentna vrednost napona.

Veza između napona u nekoj tački distributivne mreže i snage koja se prenosi njenim vodovima je data u izrazu za pad napona:

$$\Delta V = \frac{PR+QX}{V} + j \frac{PX-QR}{V} \quad (21)$$

gde je  $\Delta V$  promena fazora napona  $V$  na deonici distributivne mreže sa aktivnom otpornošću  $R$  i reaktansom  $X$ , kojom se prenosi aktivna snaga  $P$  i reaktivna snaga  $Q$ . Zanemarivanjem poprečne komponente (imaginarnog dela) u izrazu za pad napona, napon  $i$ -tog čvora distributivne mreže u  $k$ -tom satu se može odrediti kao:

$$V_{k,l} = V_0 - \sum_{j=1}^l \frac{(P_{k,j}R_j + Q_{k,j}X_j)}{V_{k,j}} \quad (22)$$

gde je  $V_0$  napon napojnog čvora distributivne mreže,  $V_{k,l}$  i  $V_{k,j}$  srednje vrednosti napona u  $k$ -tom satu na kraju  $l$ -te i  $j$ -te deonice distributivne mreže, dok su  $P_{k,j}$  i  $Q_{k,j}$  aktivna i reaktivna snaga u  $k$ -tom satu na  $j$ -toj deonici koja ima aktivnu otpornost  $R_j$  i reaktansu  $X_j$ .

U ovom radu je za napon napojnog čvora distributivne mreže usvojena konstantna vrednost jednaka referentnoj ( $V_0 = V_{ref}$ ). Sada, zamenom relacije (22) u (20) za vrednost indikatora kvaliteta naponskog profila u čvoru na kraju  $l$ -te deonice distributivne mreže se dobija:

$$VQI_l = \frac{1}{24} \sum_{k=1}^{24} \left[ \sum_{j=1}^l \frac{P_{k,j}R_j + Q_{k,j}X_j}{V_{k,j}} \right]^2 \quad (23)$$

Relacija (23) se može napisati i u obliku:

$$VQI_l = \frac{1}{24} \sum_{k=1}^{24} \left[ \sum_{j=1}^l P_{k,j} C_{k,j} \right]^2 \quad (24)$$

Pri čemu se koeficijent  $C_{k,j}$  može odrediti iz relacije:

$$C_{k,j} = \frac{R_j + \frac{Q_{k,j}X_j}{P_{k,j}}}{V_{k,j}} \quad (25)$$

Zanemarujući promenu faktora snage i napona u vremenu, može se smatrati da koeficijent iz relacije (25) ima konstantnu vrednost

u toku dana koja zavisi samo od posmatrane deonice distributivne mreže ( $C_j$ ). Uz navedenu aproksimaciju, kvadriranjem sume iz relacije (24) ovaj izraz postaje:

$$VQI_l = \frac{1}{24} \sum_{k=1}^{24} \left( \sum_{j=1}^l P_{k,j}^2 C_j^2 + \sum_{i,j=1, i \neq j}^l P_{k,i} P_{k,j} C_i C_j \right) \quad (26)$$

Obzirom na to da svaki član sume u relaciji (26) zavisi od kvadrata ili proizvoda snaga koje se prenose distributivnim vodovima ( $P_{k,j}^2$  i  $P_{k,i}P_{k,j}$ ) i odgovarajućeg koeficijenta proporcionalnosti ( $C_j^2$  ili  $C_iC_j$ ), može se napraviti analogija sa relacijom (13) kod razmatranja gubitaka u distributivnoj mreži. Ovo bi značilo da za izabrani oblik indikatora kvaliteta naponskog profila, i činjenice da je napon napojnog čvora distributivne mreže jednak referentnom, njegova vrednost za određeni čvor zavisi na isti način od snaga injektiranja PV sistema i ESS kao što zavisi i snaga gubitaka na određenoj deonici. Imajući ovo u vidu, dalji postupak i svi zaključci izvedeni kod analize uticaja PV sistema i ESS na gubitke u distributivnoj mreži se mogu primeniti i kod analize uticaja ovih sistema na naponski profil distributivne mreže.

#### IV REŠAVANJE OPTIMIZACIONOG PROBLEMA

Rešavanje optimizacionog problema poboljšanja naponskog profila i smanjenja gubitaka u distributivnoj mreži korišćenjem PV sistema i ESS se svodi na nalaženje optimalnih lokacija i snaga ovih sistema u toku dana. U ovu svrhu je u ovom radu iskorišćena metaheuristička optimizaciona metoda GA [8].

Kao što je opšte poznato, GA je optimizaciona metoda koja se zasniva na principima prirodne selekcije. Drugim rečima, ova optimizaciona metoda oponaša proces evolucije u kome najbolje prilagođene jedinke imaju najveću šansu da ostave potomstvo i prenesu svoje gene, poboljšavajući kvalitet narednih generacija. Tri osnovne celine, odnosno etape u sklopu GA su selekcija, ukrštanje i mutacija. U prvoj celini, selekciji, određuju se parovi koji će se ukrstiti i ostaviti potomstvo, pri čemu kvalitetnije jedinke imaju veće šanse da budu izabrane. Druga celina određuje ishod ukrštanja i u njoj je definisan način na koji će izabrani roditelji preneti svoje gene potomstvu. Mutacija, sa određenom verovatnoćom, vrši nasumično menjanje genoma jedinke, čime se obezbeđuje raznovrsniji genetski sastav i ostvaruje mogućnost stvaranja kvalitetnijih jedinki. Ovo je ujedno i najvažniji mehanizam GA za napuštanje lokalnih optimuma. GA spada u populacione optimizacione metode. Populacija je sastavljena od velikog broja jedinki koje predstavljaju vektore upravljačkih veličina.

Konkretno, za posmatrani optimizacioni problem upravljačke veličine su lokacije i srednje jednočasovne snage PV sistema i ESS u toku dana. Prilikom određivanja srednje jednočasovne snage PV sistema, u radu su korišćena dva pristupa. U prvom pristupu, postoji sloboda izbora samo maksimalne snage (snage za vreme maksimalne sunčeve iradijacije), dok su snage u ostala 23 časa određene oblikom dnevnog dijagrama iradijacije, prema relaciji:

$$P_{PV}(h) = \frac{I_C(h)}{I_{Cmax}} P_{PVmax} \quad (27)$$

gde je:  $P_{PV}(h)$  - snaga PV sistema u  $h$ -tom satu,  $P_{PVmax}$  - snaga PV sistema u satu sa maksimalnom iradijacijom,  $I_C(h)$  - srednja

jednočasovna sunčeva iradijacija panela PV sistema u  $h$ -tom satu,  $I_{Cmax}$ - maksimalna srednja jednočasovna iradijacija panela PV sistema u toku dana.

Drugi pristup pruža slobodu izbora srednjih jednočasovnih snaga PV sistema za svaki od 24 sata u toku dana. Naravno, kao i kod prvog pristupa i ovde izabrane snage moraju biti u dozvoljenom opsegu, određenim graničnim vrednostima jednočasovnih snaga koje prate dnevni dijagram iradijacije. Ovo znači da za razliku od ESS čiji broj koordinata u vektoru upravljačkih veličina iznosi 25 (1 koordinata za lokaciju i 24 za snage), broj koordinata koje određuju PV sistem može biti 2 ili 25 u zavisnosti od toga da li se koristi prvi ili drugi pristup. Ukupan broj koordinata (dimenzija) vektora upravljačkih veličina je određen sabiranjem broja koordinata svakog korišćenog PV sistema i ESS.

U radu se pored indikatora koji određuju poboljšanje rada distributivne mreže (srednja snaga gubitaka i indikator kvaliteta naponskog profila) određuju i osnovni parametri potrebni za dimenzionisanje PV sistema i ESS. U ove parametre spadaju potrebna maksimalna snaga PV sistema i potreban energetska kapacitet ESS. Za slučaj korišćenja prvog pristupa maksimalna snaga PV sistema se direktno određuje na osnovu njenog izbora, dok se kod drugog pristupa ona određuje kao maksimalna vrednost maksimalne snage izračunate na osnovu izraza (27) za svaku jednočasovnu snagu u toku dana:

$$P_{PVmax} = \max\{I_{C(h)} P_{PV}(h)\} \quad (28)$$

Potreban energetska kapacitet ESS ( $\Delta Q_{ESS}$ ) se na osnovu računskog energetska kapaciteta ( $Q_{ESS}$ ), kao i minimalne ( $SOC_{min}$ ) i maksimalne vrednosti nivoa napunjenosti ESS ( $SOC_{max}$ ) u toku rada, može odrediti kao:

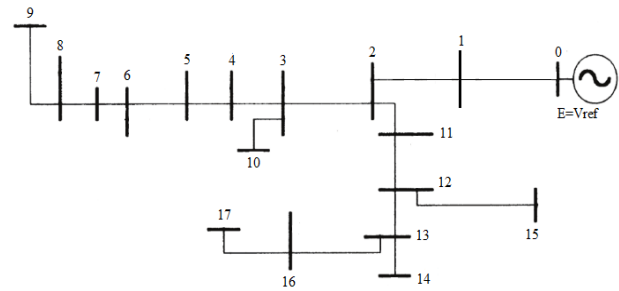
$$\Delta Q_{ESS} = Q_{ESS}(SOC_{max} - SOC_{min}) \quad (29)$$

Prilikom nalaženja optimalnog rešenja navedenog optimizacionog problema korišćena je populacija od 200 jedinki, pri čemu je za optimalno rešenje usvojeno ono najbolje, dobijeno nakon 100 iteracija (generacija).

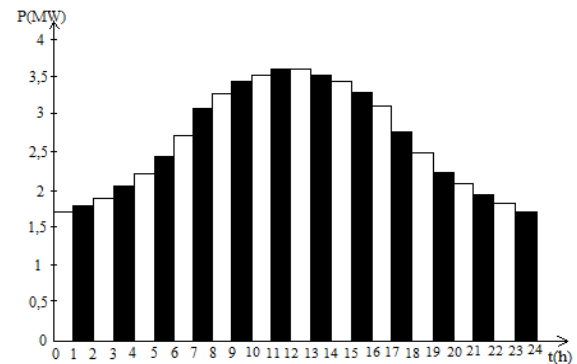
#### V PRIKAZ I ANALIZA REZULTATA

Svi rezultati dobijeni u ovom radu se odnose na IEEE radijalnu distributivnu mrežu sa 18 čvorova, prikazanu na slici 1. Usvojeno je isto rastojanje između svaka dva susedna čvora i ono iznosi 400 m. Ovo je urađeno radi jednostavnosti izvođenja opštih zaključaka. Inače, izloženi postupak omogućava uvažavanje različitih rastojanja između čvorova, čime se omogućava analiza u svakom konkretnom slučaju. Naponski nivo distributivne mreže je 10 kV, dok vrednosti podužne aktivne otpornosti i reaktanse iznose  $r = 0,648 \Omega/\text{km}$  i  $x = 0,372 \Omega/\text{km}$ .

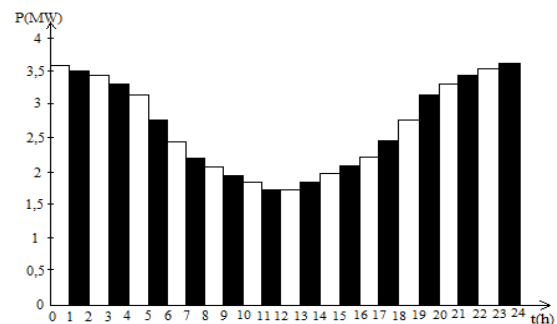
Razmatrane su dve različite vremenske i dve različite prostorne raspodele opterećenja u distributivnoj mreži. Ovime se postižu četiri različita slučaja opterećenja distributivne mreže. Prva dva slučaja se odnose na uniformnu i linearno rastuću prostornu raspodelu opterećenja po čvorovima mreže (gledano od početka ka kraju distributivnih vodova), za vremensku raspodelu opterećenja (dijagram opterećenja), prikazanu na slici 2.



Slika 1. IEEE18 distributivna mreža



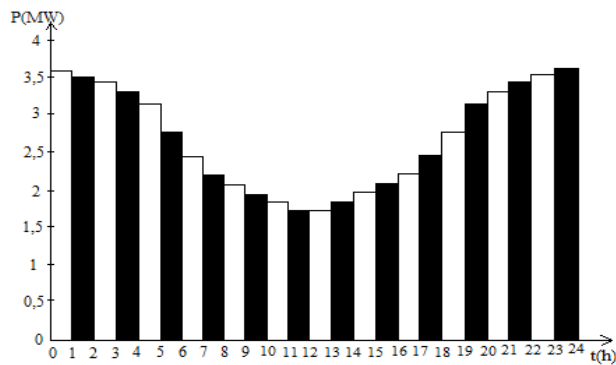
Slika 2. Prvi dijagram opterećenja distributivne mreže



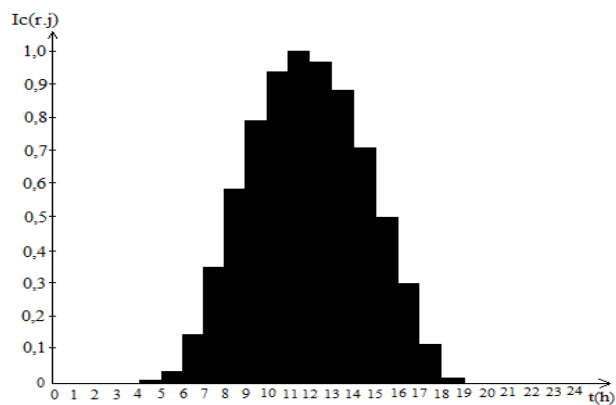
Slika 3. Drugi dijagram opterećenja distributivne mreže

Druga dva slučaja opterećenja mreže imaju prostorne raspodele kao i prva dva slučaja, pri čemu je korišćena druga vremenska raspodela opterećenja (drugi dijagram opterećenja), data na slici 3. Kao što se može videti sa slika 2 i 3, prvi i drugi dijagram opterećenja distributivne mreže imaju istu maksimalnu ( $P_{max} = 3,57MW$ ) i srednju snagu ( $P_{sr} = 2,628MW$ ). Važno je napomenuti da je u svakom razmatranom slučaju vremenska raspodela opterećenja svakog čvora ista i prati korišćeni dijagram opterećenja distributivne mreže. Takođe, faktor snage opterećenja je isti u toku celog dana i jedinstven na celoj distributivnoj mreži,  $\cos\varphi = 0.957$ . Dnevni dijagram sunčeve iradijacije panela PV sistema, korišćen pri određivanju snage PV sistema, izražen u relativnim jedinicama, dat je na slici 4.

Svo opterećenje u distributivnoj mreži je tipa konstantne snage i može se smatrati kao veliko, jer u periodima njegovih najvećih vrednosti dolazi do određenog preopterećenja napojnih deonica distributivne mreže (usvojena maksimalna trajno dozvoljena struja distributivnih vodova je 170A).



Slika 3. Drugi dijagram opterećenja distributivne mreže



Slika 4. Dnevni dijagram iradijacije panela PV sistema

Vrednosti težinskih koeficijenta u kriterijumskoj funkciji su određene tako da se smanjenje gubitaka i poboljšanje naponskog profila distributivne mreže uzima sa podjednakim značajem, i u razmatranim primerima iznose:  $a = 3 \frac{1}{w}$  i  $b = 1 \frac{1}{v^2}$ .

Tabela 1. Srednja snaga gubitaka i indikator kvaliteta naponskog profila pre priključenja PV sistema i ESS

| Slučaj opterećenja | $P_{gsr}[kW]$ | $VQI[(kV)^2]$ |
|--------------------|---------------|---------------|
| I                  | 61,531        | 0,33572       |
| II                 | 74,574        | 0,40825       |
| III                | 61,531        | 0,33572       |
| IV                 | 74,574        | 0,40825       |

U tabeli 1 su date vrednosti srednje snage gubitaka distributivne mreže ( $P_{gsr}$ ) i vrednosti indikatora kvaliteta naponskog profila ( $VQI$ ) za sva četiri navedena slučaja opterećenja distributivne mreže, pre priključenja PV sistema i ESS. Korišćenjem metaheurističke optimizacione metode GA, određene su optimalne lokacije (indeksi čvorova u distributivnoj mreži) i snage PV sistema i ESS u toku dana, kako bi se ostvarilo što veće poboljšanje rada distributivne mreže. Razmatrana su dva slučaja, u prvom je priključen jedan PV sistem i jedan ESS, dok su u drugom priključena dva PV sistema i dva ESS.

Kako dijagrami opterećenja imaju različito vremenski raspoređena ali ista satna opterećenja, dnevne vrednosti gubitaka i kvaliteta naponskog profila, prikazane u tabeli 1 za I i III, kao i II i IV slučaj su iste. Razlika u vrednostima između I i II kao i III i IV slučaja iz table 1 je posledica različite prostorne raspodele opterećenja u distributivnoj mreži, pri čemu se manji gubici i

bolji naponski profil ostvaruje u slučaju ravnomerne raspodele opterećenja po čvorovima mreže.

Tabela 2. pored rezultata koji se odnose na rad distributivne mreže (srednja snaga gubitaka i kvalitet naponskog profila) nakon priključenja jednog PV sistema i jednog ESS, sadrži i rezultate vezane za optimalnu lokaciju i dimenzionisanje ova dva sistema. U ove rezultate se ubrajaju indeksi čvorova u distributivnoj mreži u kojima su priključeni PV sistem i ESS ( $i_{PV}$ ,  $i_{ESS}$ ), potrebna maksimalna snaga PV sistema ( $P_{PVmax}$ ) i potreban energetska kapacitet ESS ( $\Delta Q_{ESS}$ ).

Tabela 2. Vrednosti karakterističnih pokazatelja i parametara u slučaju priključenja jednog PV sistema i jednog ESS

|                       | I                  | II                  | III                | IV                  |
|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| $P_{gsr}[kW]$         | 30,036<br>(25,142) | 38,695<br>(28,283)  | 31,982<br>(25,743) | 36,334<br>(29,358)  |
| $VQI[(kV)^2]$         | 0,0359<br>(0,0425) | 0,05678<br>(0,0539) | 0,0608<br>(0,0510) | 0,07014<br>(0,0627) |
| $i_{PV}$              | 3<br>(4)           | 4<br>(6)            | 3<br>(5)           | 5<br>(6)            |
| $P_{PVmax}[MW]$       | 9,412<br>(20,457)  | 8,560<br>(13,798)   | 8,451<br>(17,103)  | 7,682<br>(18,593)   |
| $i_{ESS}$             | 3<br>(4)           | 4<br>(6)            | 3<br>(5)           | 5<br>(6)            |
| $\Delta Q_{ESS}[MWh]$ | 32,012<br>(20,305) | 28,961<br>(18,304)  | 41,203<br>(29,683) | 39,302<br>(29,126)  |

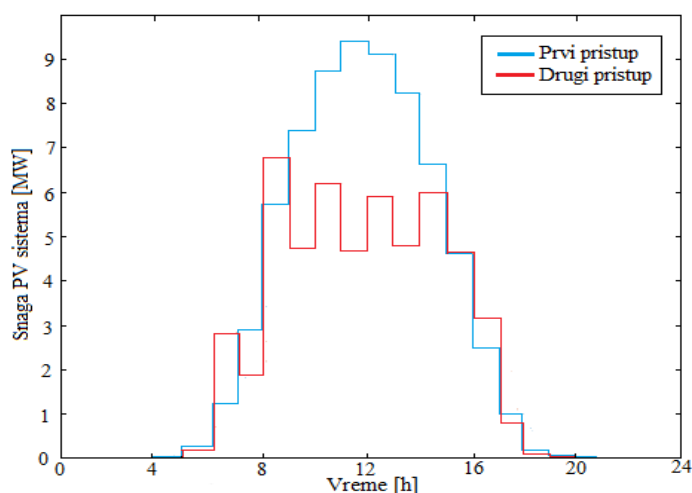
Tabela 3. Vrednosti karakterističnih pokazatelja i parametara u slučaju priključenja dva PV sistema i dva ESS

|                        | I                  | II                 | III                | IV                 |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $P_{gsr}[kW]$          | 15,542<br>(15,381) | 20,697<br>(18,097) | 16,830<br>(14,226) | 17,226<br>(15,959) |
| $VQI[(kV)^2]$          | 0,0204<br>(0,0170) | 0,0254<br>(0,0265) | 0,0375<br>(0,0196) | 0,0318<br>(0,0404) |
| $i_{PV1}$              | 5<br>(12)          | 6<br>(16)          | 6<br>(7)           | 7<br>(8)           |
| $P_{PVmax1}[MW]$       | 4,329<br>(7,655)   | 5,206<br>(5,280)   | 3,869<br>(7,935)   | 4,586<br>(10,747)  |
| $i_{PV2}$              | 12<br>(6)          | 12<br>(7)          | 13<br>(13)         | 16<br>(13)         |
| $P_{PVmax2}[MW]$       | 4,656<br>(9,497)   | 3,181<br>(7,647)   | 3,844<br>(7,757)   | 3,407<br>(13,357)  |
| $i_{ESS1}$             | 5<br>(6)           | 6<br>(7)           | 13<br>(13)         | 16<br>(8)          |
| $\Delta Q_{ESS1}[MWh]$ | 14,916<br>(14,147) | 16,712<br>(14,181) | 19,367<br>(17,391) | 16,717<br>(16,539) |
| $i_{ESS2}$             | 12<br>(2)          | 2<br>(2)           | 6<br>(7)           | 7<br>(13)          |
| $\Delta Q_{ESS2}[MWh]$ | 15,534<br>(9,027)  | 11,865<br>(7,444)  | 19,100<br>(16,812) | 22,426<br>(17,883) |

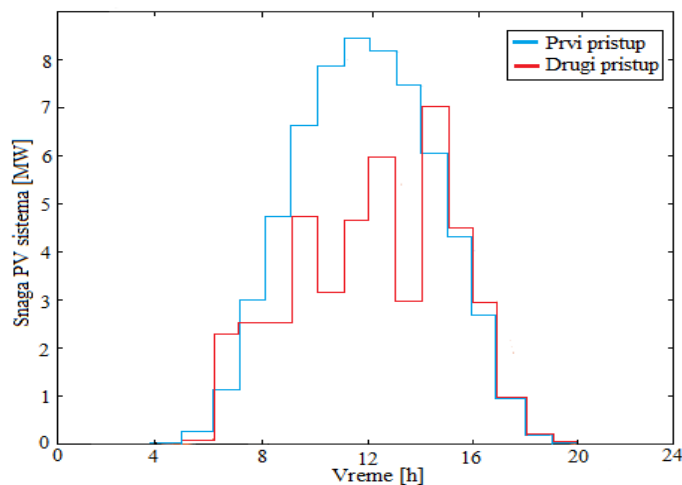
U tabeli 2 kao i u tabeli 3, za dobijanje vrednosti koje se ne nalaze u zagradama je korišćen prvi pristup u određivanju snaga PV sistema, dok su vrednosti koje se nalaze u zagradama određene korišćenjem drugog pristupa. Poređenjem rezultata iz tabela 1 i 2 može se zaključiti da se priključenjem PV sistema i ESS mogu znatno smanjiti gubici i poboljšati naponski profil distributivne mreže. Iz table 2 se može videti da se nešto veće poboljšanje rada distributivne mreže, kako sa aspekta gubitaka tako i naponskog profila, ostvaruje kod drugog pristupa u

određivanju snaga PV sistema, što je i očekivano s obzirom na veći stepen slobode. Takođe, potrebna maksimalna snaga PV sistema u drugom pristupu je znatno veća, ali je zato potreban energetska kapacitet ESS manji, usled veće fleksibilnosti snage PV sistema u ovom pristupu. Tabela 2 pokazuje da za sva četiri slučaja opterećenja, optimalna lokacija za priključenje PV sistema se poklapa sa optimalnom lokacijom za priključenje ESS, odnosno to je isti čvor koji je u zavisnosti od slučaja lociran negde na prvoj polovini dužeg ogranka distributivne mreže. Nešto bolji rezultati u tabeli 2 se dobijaju za prvi dijagram opterećenja (slučajevi I i II) i u slučaju ravnomerne prostorne raspodele opterećenja (slučajevi I i III). Ovo je posledica boljeg poklapanja proizvodnje PV sistema sa prvim dijagramom opterećenja, kao i činjenice da pomeranje težišta opterećenja ka krajevima distributivne mreže nepovoljno utiče na gubitke i naponski profil u njoj.

U slučaju priključenja dva PV sistema i dva ESS, vrednosti karakterističnih pokazatelja i parametara su date u tabeli 3.



Slika 5. Snaga PV sistema za prvi slučaj opterećenja



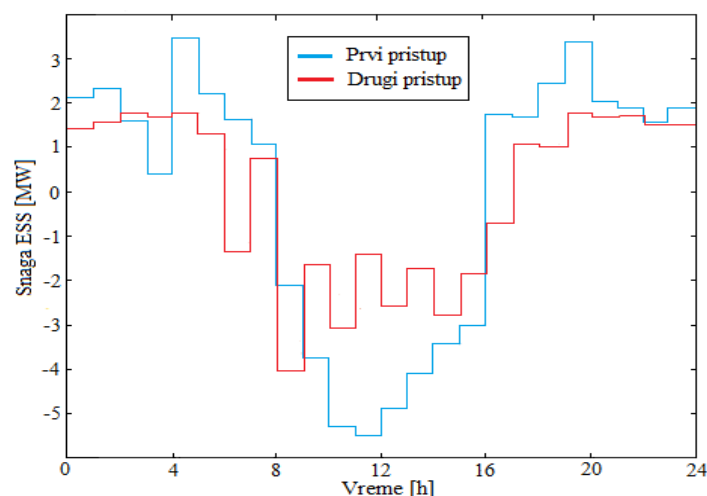
Slika 6. Snaga PV sistema za treći slučaj opterećenja

Na osnovu rezultata iz table 3 se može zaključiti da se priključenjem dva PV sistema i dva ESS ostvaruje veće smanjenje gubitaka i bolje poboljšanje naponskog profila

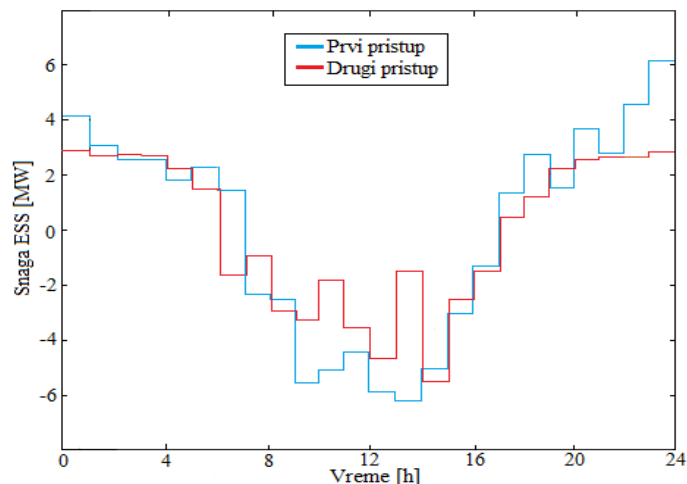
distributivne mreže nego u slučaju priključenja jednog para ovih sistema, iako je ukupna maksimalna snaga oba PV sistema i ukupni potrebni energetska kapacitet oba ESS približno isti onima iz table 2. Kao i u tabeli 2 i ovde su potrebne maksimalne snage PV sistema približno iste nezavisno od posmatranog slučaja opterećenja, dok su potrebni energetska kapaciteti ESS veći u slučaju drugog dijagrama opterećenja (slučajevi III i IV), gde je i veće nepoklapanje proizvodnje PV sistema sa potrošnjom. Zaključci izvedeni na osnovu table 2 se mogu primeniti i ovde, s obzirom da se rezultati table 2 i 3 u velikoj meri poklapaju.

Na slikama 5 i 6 su prikazane srednje jednočasovne snage PV sistema u toku dana dobijene korišćenjem oba pristupa pri njihovom određivanju, u slučaju priključenja jednog PV sistema i jednog ESS, za prvi i treći slučaj opterećenja distributivne mreže, respektivno.

Na slikama 5 i 6 se primećuje da snaga PV sistema kod prvog pristupa u potpunosti prati oblik dnevnog dijagrama sunčeve iradijacije PV sistema sa slike 4 (u svakom satu radi sa maksimalnom mogućom snagom za dati sat), dok u drugom pristupu to nije slučaj, već je snaga PV sistema tada znatno ravnija i bolje prilagođena dijagramu opterećenja.



Slika 7. Snaga ESS za prvi slučaj opterećenja

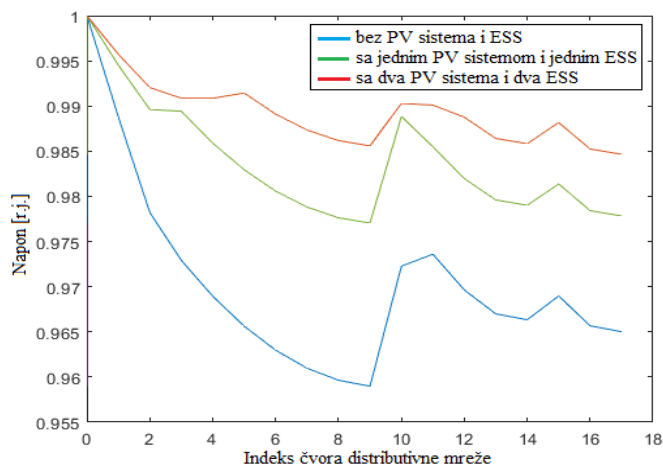


Slika 8. Snaga ESS za treći slučaj opterećenja

Iako je kod drugog pristupa maksimalna moguća snaga PV sistema veća (što se primećuje na osnovu veće snage u određenim satima), slike 5 i 6 pokazuju da PV sistem tada predaje mreži manje električne energije u toku dana. Ovo se objašnjava adekvatnijim jednočasovnim snagama PV sistema u drugom pristupu, usled veće slobode izbora koji nije u potpunosti ograničen dnevnim dijagramom sunčeve iradijacije. Kako su optimalne lokacije za priključenje PV sistema i ESS isti čvorovi (tabela 2), fluktuacije u njihovim snagama injehtiranja se u velikoj meri međusobno poništavaju (uporediti slike 5 i 7, kao i slike 6 i 8) i ne utiču na tokove snaga u mreži pa time i na vrednost kriterijumske funkcije, zato ne treba čuditi razlika između dijagrama opterećenja i snage PV sistema. Ipak, potrebno je istaći da je potpuno uklanjanje fluktuacija, posebno u snazi ESS gde je postavljen dodatni uslov o istom nivou napunjenosti na početku i kraju dana, veoma teško ispuniti korišćenim pristupom u kome se pojedinačne jednočasovne snage PV sistema i ESS posmatraju kao upravljачke veličine u GA. Uvažavajući navedeno kao i rezultate iz tabela 2 i 3 može se zaključiti da se drugim pristupom vrši nepotrebno predimenzionisanje PV sistema, ukoliko ne postoji dodatna lokalna potrošnja koju napaja.

Na slikama 7 i 8 su prikazane srednje jednočasovne snage ESS u toku dana, za oba pristupa pri određivanju snage PV sistema, u slučaju priključenja jednog PV sistema i jednog ESS, za prvi i treći slučaj opterećenja distributivne mreže, respektivno.

Uzimajući u obzir da je snaga ESS veća od nule kada se taj sistem prazni, a manja od nule kada se on puni, na osnovu slika 7 i 8 može se zaključiti da ESS predaje snagu mreži (prazni se) u periodima kada PV sistem ne proizvodi električnu energiju, i obrnuto. Drugim rečima, ESS se puni u periodima malog i prazni u periodima velikog ekvivalentnog opterećenja (opterećenje umanjeno za snagu proizvodnje PV sistema).



**Slika 9.** Naponski profil distributivne mreže, bez, sa jednim parom i sa dva para PV sistema i ESS

Takođe, slike 7 i 8 pokazuju da iako po obliku veoma slične, veće snage punjenja i pražnjenja ESS se dostižu u slučaju drugog dijagrama opterećenja (treći slučaj) i pri prvom pristupu u određivanju snage PV sistema. Ovo je posledica boljeg poklapanja proizvodnje PV sistema sa prvim dijagramom

opterećenja, kao i veće fleksibilnosti snage PV sistema u drugom pristupu.

Slika 9 prikazuje najlošiji satni naponski profil distributivne mreže u toku dana, pre, nakon priključenja jednog i nakon priključenja dva PV sistema i dva ESS, za prvi slučaj opterećenja distributivne mreže.

Na slici 9 je prikazano poboljšanje naponskog profila distributivne mreže koje se ostvaruje priključenjem jednog, odnosno dva para PV sistema i ESS. Odakle se vidi i još jednom potvrđuje da poboljšanje naponskog profila ostvareno priključenjem drugog para PV sistema i ESS nije zanemarljivo. Iako to nije direktno prikazano, priključenje PV sistema i ESS je rasteretilo napojne deonice distributivne mreže, tako da ni u jednom razmatranom slučaju struja distributivnih vodova ne prelazi svoju maksimalnu dozvoljenu vrednost.

## VI ZAKLJUČAK

U ovom radu je sagledan uticaj PV sistema i ESS na rad distributivne mreže, sa aspekta smanjenja gubitaka i poboljšanja naponskog profila. U ovu svrhu su, korišćenjem metaheurističke optimizacione metode GA, određene optimalne lokacije i snage PV sistema i ESS za različite vremenske i prostorne raspodele opterećenja u distributivnoj mreži. Dobijeni rezultati su pokazali da se priključenjem PV sistema i ESS mogu značajno smanjiti gubici i poboljšati naponski profil distributivne mreže, nezavisno od oblika dijagrama opterećenja i njegovog rasporeda u mreži. Ovo poboljšanje rada distributivne mreže je veće u slučaju priključenja većeg broja PV sistema i ESS. Takođe, rezultati pokazuju da je potreban manji energetska kapacitet ESS ukoliko je poklapanje između proizvodnje PV sistema i potrošnje veće ili ukoliko se koristi PV sistem većih snaga sa mogućnošću upravljanja snagom injehtiranja u mrežu.

## LITERATURA/REFERENCES

- [1] Rajaković, N., Tasić, D. *Distributivne i industrijske mreže*, Akademska misao, Beograd, 2008.
- [2] Mijailović, V. *Distribuirani izvori energije*, Akademska misao, Beograd, 2011.
- [3] Ortiz, J., Kasmaei, M., Lehtonen, M., Mantovani, J. Optimal location-allocation of storage devices and renewable-based DG in distributed systems, *Electric Power System Research*, Vol. 172, pp. 11-21, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.02.013>
- [4] Radosavljević, J. Voltage regulation in LV distribution networks with PV generation and battery storage, *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 72, No. 6, pp. 356-365, 2021. <https://doi.org/10.2478/je-2021-0051>
- [5] Wong, L., Shareef, H., Mohamed, A., Ibrahim, A. Optimal placement and sizing of energy storage system in distributed network with photovoltaic based distributed generation using improved firefly algorithms, *International Journal of Energy and Power Engineering* Vol. 11, No. 9, pp. 895-903, 2017. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1131635>
- [6] Sabarinath, G., Gowri Manohar, T., Sudhakara Reddy, A. Voltage control and power loss reduction in distributed networks using distributed generation, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* Vol. 8, No. 12, 2019. <https://doi.org/10.35940/ijitee.L3047.1081219>
- [7] Adetunji, K., Hofsaier, I., Abu-Mahfouz, A., Cheng, L. A review of metaheuristic techniques for optimal integration of electrical units in distribution network, *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 5046-5048, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048438>
- [8] Jannat, M., Savić, A., Proračun optimalnih tokova snaga primenom genetičkog algoritma, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. XVII, No. 3-4, pp. 107-111, 2015.

- [9] Radosavljević, J. *Metaheuristic optimization in power engineering*, Institution of Engineering and Technology, London, 2018.
- [10] Stevanović, M., Janjić, A., Stojanović, S., Tasić, D. Optimal battery storage location and control in distribution network, *Facta-universitatis – series: Electronics and Energetics*, Vol. 35, No. 1, pp. 121-136, 2022.  
<https://doi.org/10.2298/FUEE2201121S>
- [11] Seyednouri, S., Ebrahimian, H., Jalili, A. Power loss reduction and voltage profile improvement by photovoltaic generation, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, Vol. 20, No. 4, pp. 192-196, 2015.  
<https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V20P236>

#### AUTORI/AUTHORS

**msr Nikola Krstić** - asistent, Elektronski Fakultet Univerziteta u Nišu, nikola.krstic@elfak.ni.ac.rs, ORCID [0000-0003-2872-3190](https://orcid.org/0000-0003-2872-3190)  
**dr Dragan Tasić** - redovni profesor, Elektronski Fakultet Univerziteta u Nišu, dragan.tasic@elfak.ni.ac.rs, ORCID [0000-0001-5957-9617](https://orcid.org/0000-0001-5957-9617)  
**dr Dardan Klimenta** - redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, dardan.klimenta@pr.ac.rs, ORCID [0000-0003-0019-8371](https://orcid.org/0000-0003-0019-8371)

# Monitoring efikasnosti hidroelektrana kroz parametre SKADA sistema

## Monitoring of the Hydropower Plants Efficiency through SCADA Parameters

Jovan Ilić<sup>\*,\*\*</sup>, Aleksandar Latinović<sup>\*</sup>, Dejan Ostojić<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> PE Electric Power Industry of Serbia

<sup>\*\*</sup> University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering

**Rezime** - Savremeni pristup modernizaciji energetske kapaciteta u hidroenergetskom sektoru JP Elektroprivreda Srbije (EPS) je viđen kroz intenzivne revitalizacije i izgradnju novih hidroelektrana (HE). Iako su navedeni prioriteti definisani kao dugoročni planovi, i dalje postoji mogućnost optimizacije radnih režima postojećih HE. Stručni tim EPS-a je nakon nekoliko meseci rada i istraživanja pripremio mesečne izveštaje koji sadrži operativne parametre hidroelektrane. U ovom radu, kao primer, istraživani parametri i rezultati za jedan agregat HE Đerdap 1 (eng. Iron Gate I/rom. Portile de Fier I) su prikazani. Generalno, u trenutnoj fazi istraživanja, mesečni izveštaj je pripremljen i sadrži arhivirane podatke (kote gornje i donje vode, snage i protoke agregata) i zajedno sa podacima o topografskim dijagramima turbina, gubicima u dovodno-odvodnim organima, generatoru i sl. definisani su izlazni parametri. Izlazni parametri koji se razmatraju i prikazuju u ovom radu su stepen korisnosti turbine i generatora, odnosno agregata, i gubici u radu sa kotom gornje vode nižom od maksimalne radne kote. Osnovni parametri agregata i cele hidroelektrane su preuzeti iz SKADA sistema, osrednjeni na minutnom nivou i prikazani za period od jednog meseca.

**Ključne reči** - optimizacija, SKADA, efikasnost, hidroelektrane, radni režimi

**Abstract** - Modern approach to the modernization of the power generation capacities in the hydropower sector of PE Electric Power Industry of Serbia (EPS) is seen through intensive rehabilitations and building new hydropower plants (HPPs). Although these priorities are defined by long-term investment plan, there are also improvements that are seen through the optimization of the operational regimes of HPPs. EPS technical expert team, after several months of adjustment and investigation has prepared monthly reports with the operational parameters of the HPP. In this paper, as an example, investigated parameters and results for one particular aggregate of the HPP Iron Gate 1 (ser. Đerdap 1/ rom. Portile de Fier I) are presented. Generally, in the current phase of investigation, monthly report is prepared which includes selected parameters that are archived (such as headrace and tailrace water level, the aggregates' power and discharge) and based on data from the hill charts, losses in

pipeline, generator etc. output parameters are defined. Output parameters which are considered as important for the presentation are efficiency of the turbine, generator, hence aggregate, and losses in the operational regimes with the elevation lower than the maximum headrace level. Basic parameters of the aggregates, and generally HPPs' operational regimes, are retrieved through SCADA system, averaged on minute time intervals, and presented for the one month period.

**Index Terms** - Optimization, SCADA, Efficiency, Hydropower plants, Operational regimes

### 1 INTRODUCTION

According to the contracts and regulations in the Republic of Serbia, EPS is responsible for the balancing of electro energetic system and guaranteed supply of electricity in Serbia. EPS recognized renewable energy sector as a priority for the investments and optimization. Capital projects regarding rehabilitation and building of HPPs are already in the progress. Currently, roughly 30% of electricity generation is from the renewable energy sources (RES), mainly HPPs, representing approximately 3 GW of installed power capacity. EPS recognized three main directions in the process of improving energy production from RES: (1) building of the wind and solar power plants, (2) rehabilitation and building of the HPPs and pumped storage hydropower plants (PS-HPPs), and (3) optimization of the existing plants. For the optimization of the existing plants, EPS technical expert team has analysed and proposed various solutions taking into consideration the low-cost constructive and operative measures for the improvement of the energy efficiency. Monthly report is formed with a defined parameters of the HPPs, and in this paper, general parameters are presented for the HPP Iron Gate 1, and adequately for the one of its aggregates. Methodology and equations that are used are also presented.

Iron Gate 1 is the largest HPP in the Republic of Serbia and one of the largest in Europe, with the 12 (twelve) aggregates that are divided between Romania (six aggregates) and Serbia (six aggregates of 200 MW each). Rehabilitation of the HPP Iron Gate 1 is in the final stage. Rehabilitation of the last aggregate

A3 on the Serbian side is planned for the year of 2022. HPP Iron Gate 1 is working as a first in the cascade with the HPP Iron Gate 2 which is considered a tailrace compensator.

In previous works of importance, related to the optimization of the operational regimes in the HPP Iron Gate 1, were the development of the Hydro-Information System Iron Gate 1 (HIS Iron Gate 1) with the general goal to conduct better understanding of historical and future hydrological events. That work was performed by the Institute for the development of water resources “Jaroslav Černi” [1]. Index Tests to optimize CAM relation of the Kaplan turbines was done by the University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering [2].

Previous works of importance, related to the optimization of operational regimes of other HPPs in EPS, were HIS Drina [3], HIS Vlasina [4], Intra-stationary Optimization of Vlasinske HPPs [5] and Index Tests to Optimize CAM Relation of the Bulb Turbines in HPP Iron Gate 2 [6]. Further on, regarding the intra-stationary optimization of the cascade Vlasinske HPPs, software for the joint regulator is in a development phase [7].

## II METHODOLOGY FOR THE CALCULATION OF THE AGGREGATES' EFFICIENCY

In previous years EPS developed central SCADA system PROTIS which integrated all HPPs' and thermal power plants' SCADA systems and enabled to retrieve all available data through special application. Parameters and data retrieved from SCADA system are stored on a server, archived and afterward used for the analyses. The use of PROTIS made manipulation and analyses much easier with no need to retrieve data from the HPP and lose time in the process, which led to the smoother research for the purpose of optimization. Parameters of importance that are retrieved from the archive are headrace and tailrace water level, and aggregates' active power and discharge. Detailed design, and numerous investigations on the mechanical and electrical equipment during exploitation, allowed for reliable information on the losses in the trash rack, pipeline, draft tube, and on the efficiency of the generator. Specified data along with the hill chart of the turbines is used for calculations.

Operating points of the aggregate are averaged for every minute of the exploitation, and the net head is calculated by the equation (1) [8, 9].

$$H_n = H_{br} - h_{los,A-I} - h_{los,II-B} = Z_{HR} - Z_{TR} - h_{TRR} - h_{B-C} \quad (1)$$

where:  $H_{br}$  is the gross head,  $h_{los,A-I}$  is summary of losses from the headrace to the turbine inlet,  $h_{los,II-B}$  is summary of losses from the turbine outlet to the tailrace,  $Z_{HR}$  and  $Z_{TR}$  are headrace and tailrace water levels, respectively,  $h_{TRR}$  is loss in the trash rack, and  $h_{B-C}$  is Borda-Carnot loss.

Friction losses may be neglected for the run-of-river HPPs with short pipeline so the dominated loss from the headrace to the turbine inlet is in the trash rack, whereas, dominated loss from the turbine outlet to the tailrace is Borda-Carnot. The losses in the trash rack are defined in a detailed design as a function of the discharge ( $Q$ ) for the clean trash rack, (eq. 2). Borda-Carnot losses are defined by the equation (3),

$$h_{TRR} = f(Q) \quad (2)$$

$$h_{B-C} = \frac{1}{2gA_{II}^2} Q^2 \quad (3)$$

where:  $A_{II}$  is outlet section area, and  $g$  is the gravity acceleration. Calculation of the net head for the specific operating regime, with the information on the discharge, gives possibility to unambiguously determine the efficiency of the turbine from the hill chart [10,11]. Depending on the availability of the documentation, it is possible to acquire model or prototype turbine hill chart. For the model hill chart, it is necessary to conduct scale-up of the characteristics for which up-to-date IEC 60193 standard is recommended [12]. In this case, prototype hill chart defined by the net head and discharge is considered, meaning the previous step is avoided. Turbine power can be calculated by the equation (4),

$$P_{TURB} = \rho Q g H_n \eta_{TURB} \quad (4)$$

where:  $\rho$  is the density of the water, and  $\eta_{TURB}$  is the efficiency of the turbine. With the known efficiency curve of the generator depending on the turbine power and the power factor,  $\cos(\varphi)$ , the efficiency of the generator can be determined, and hence the efficiency of the aggregate by the equation (5),

$$\eta_{AGR} = \eta_{TURB} \eta_{Gen} \quad (5)$$

where:  $\eta_{Gen}$  is the efficiency of the generator. Aggregates' power can be determined by the equation (6).

$$P_{AGR} = P_{TURB} \eta_{Gen} = \rho Q g H_n \eta_{AGR} \quad (6)$$

With the possibility to acquire data of the aggregates' active power from the SCADA system, it is convenient to compare it with the calculated power and to determine deviations.

## III RESULTS

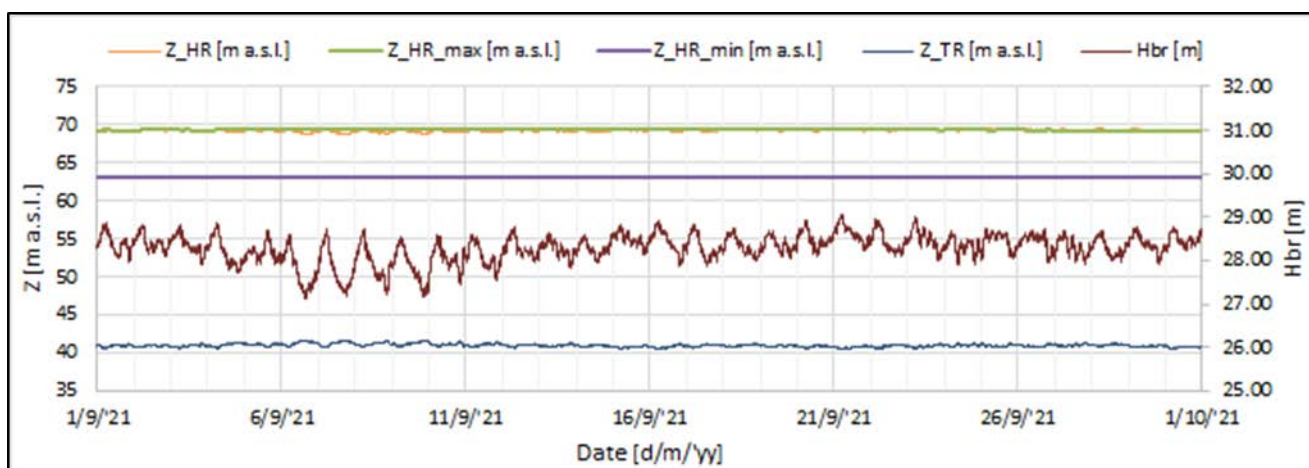
In this section results on the conducted analyses are presented. Figure (1) presents retrieved results from the SCADA on the headrace, including maximum and minimum values, and the tailrace water level, along with the gross head oscillations of the HPP Iron Gate 1 for the one month period.

In figure (2), daily production of the HPP is presented with the partial production of each aggregate. Moreover, energy losses for the operating regimes with a headrace water level that is lower than the maximum, herein defined as headrace losses, are also presented for every day in the one month period.

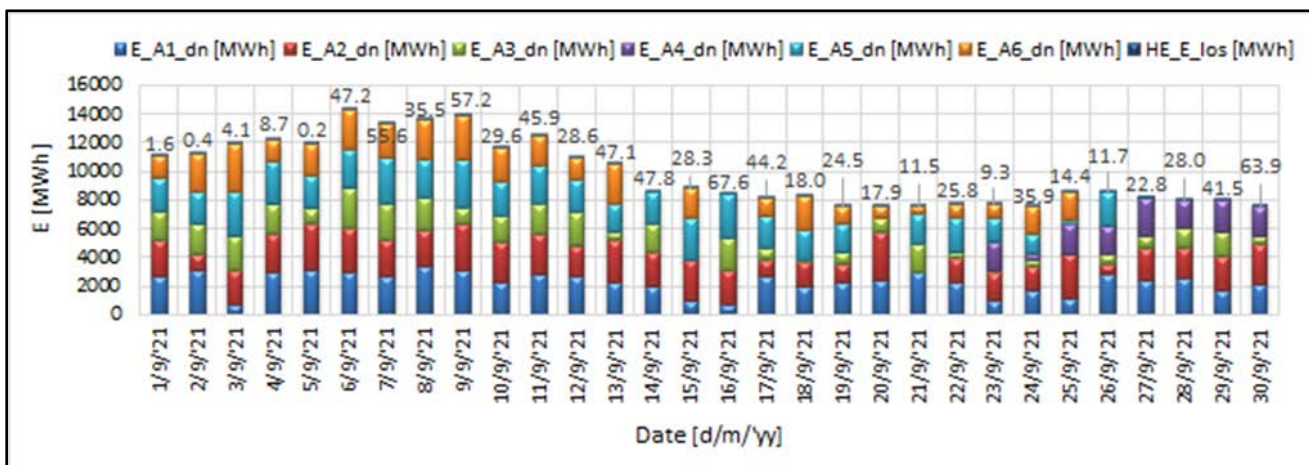
In figure (3), for the aggregate A2 of the HPP Iron Gate 1, archived, calculated and optimum power are presented along with the time of the operation in the secondary regulation regime, and the HUPX price of the electricity for the one month period [13].

Daily electricity generation of the aggregate A2 for the defined one month period, with the headrace losses is presented in figure (4).

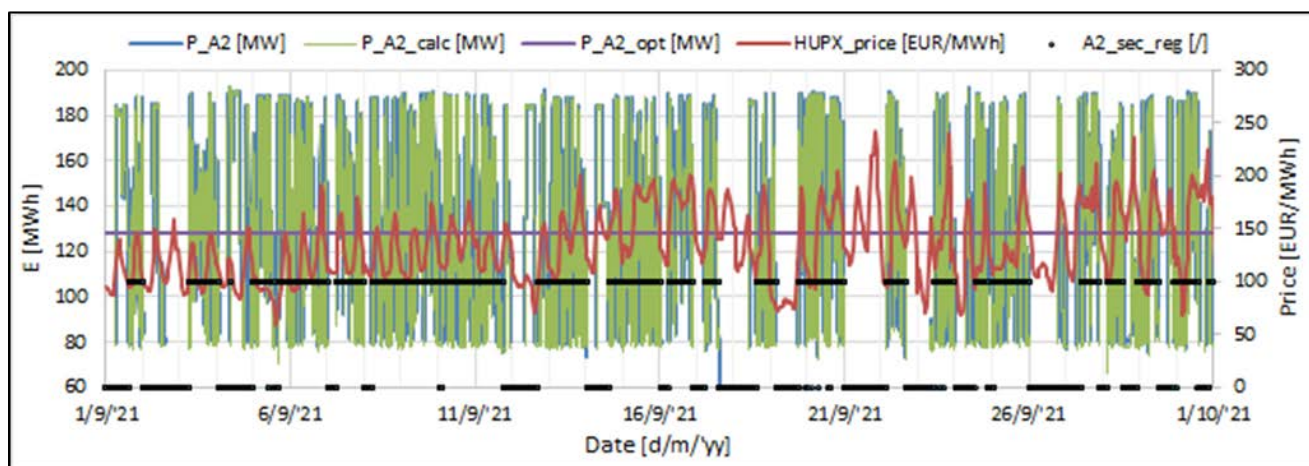
Figure (5) presents efficiency of the turbine, generator and aggregate, along with the values in the optimum operational regime for the aggregate A2 of the HPP Iron Gate 1.



**Figure 1.** HPP Iron Gate 1 - headrace (archived, maximum and minimum values) and tailrace water level, and gross head



**Figure 2.** HPP Iron Gate 1 - daily production and participation of all six aggregates, and the headrace losses



**Figure 3.** HPP Iron Gate 1 - Aggregate 2 - Archived, calculated and optimum power, HUPX price for MWh and secondary regulation regime

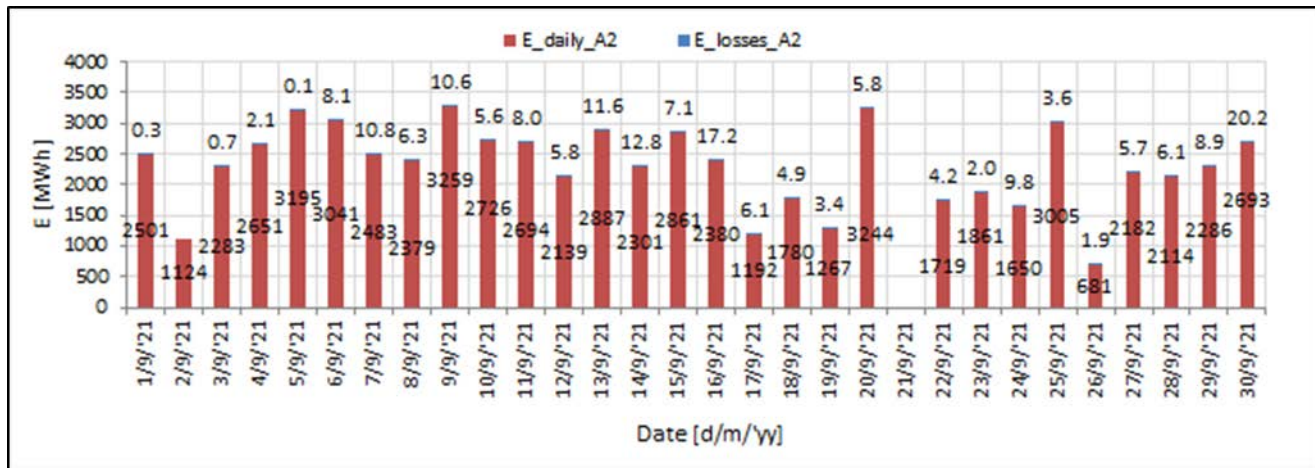


Figure 4. HPP Iron Gate 1 - Aggregate 2 - Daily production and the headrace losses

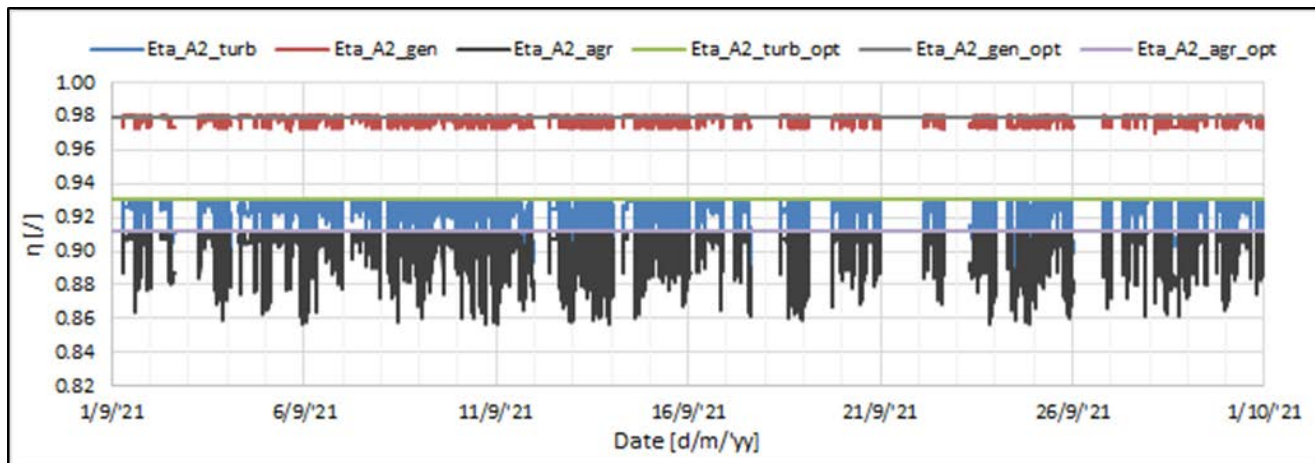


Figure 5. HPP Iron Gate 1 - Aggregate 2 - Efficiency of the turbine, generator and aggregate with their optimum values

Table 1. HPP Iron Gate 1 - Summary results for the period of one month

| Aggregate                                                 | A1                                    | A2           | A3    | A4    | A5    | A6    |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Monthly production, $E_{agr}$ [GWh]                       | 68.51                                 | <b>66.58</b> | 39.56 | 15.44 | 58.16 | 45.65 |
| Average efficiency, $\eta_{agr, average}$ [%]             | 90.27                                 | <b>90.34</b> | 90.36 | 90.26 | 90.35 | 90.17 |
| Headrace losses, $E_{los}$ [GWh]                          | 0.21                                  | <b>0.19</b>  | 0.14  | 0.05  | 0.15  | 0.13  |
| Time operating in secondary regulation, $t_{SR, rel}$ [%] | /*                                    | <b>82.30</b> | 0.00  | 87.15 | 86.60 | 26.84 |
| Summary production, $E_{HPP}$ [GWh]                       | <b>293.91 (<math>\pm 4.09</math>)</b> |              |       |       |       |       |
| Summary headrace losses, $E_{HPP, los}$ [GWh]             | <b>0.87 (<math>\pm 0.01</math>)</b>   |              |       |       |       |       |

\*Not calculated because of the signal loss

Summary of the results for the calculated and archived production on monthly period show that the relative difference for the aggregate A2 of the HPP Iron Gate 1 is 0.83 % which is considered satisfactory. Summary of the results is presented in Table 1. In Table 1, production of the aggregates, average

efficiency, headrace losses, time of the operation in the secondary regulation, and summary of the energy production and headrace losses, for the one month period is presented. Efficiency of the aggregates in the optimum operating point is 91.20 %.

#### IV DISCUSSION

Lower electricity generation in the presented one month period resulted from the inflow reduction of the Danube River in September 2021. Oscillations of the headrace water level are approximately 0.7 m and infrequent (fig. 1) which implies that the gross head mostly depends on the tailrace water level respecting to the number of the engaged aggregates and to the overspill in flood period.

Simulations of the HPPs' exploitation with the maximum headrace water level is conducted with the methodology defined in this paper, for the real discharge and tailrace values. The difference between simulations with the maximum headrace water level and real-time data is defined as a headrace losses. It can be seen, with the review on the headrace losses and percentage share (fig. 2), that HPPs' headrace is on nearly maximum value most of the time, and that better performance cannot be expected. Maximum values of the headrace water level are not fixed, and they depend on the water level of the Nera River (left tributary of the Danube) on its mouth.

Review on the average efficiency shows that the operational regimes of the aggregates are nearly optimal considering that the optimum efficiency of the aggregates is 91.20 %, and that lowest average efficiency is 90.17 % for the aggregate A6.

Average efficiency analyses shows that the aggregate A3 has the maximum efficiency in the defined one month period. Aggregate A3 is planned last for the rehabilitation, but in the defined simulations hill chart that is used is of the rehabilitated aggregate, because of the simplicity and long-term methodology. There is a slight difference in calculated and real results which directly implies lower efficiency of the aggregate A3 than the presented. Aggregate A3 does not participate in the secondary regulation regime so this may also improve the behaviour and the efficiency.

Comparison of the electricity generation data and simulations for the one month period shows good matching with the difference of 0.83 %. The mentioned difference justifies the trustworthiness of the methodology for the calculations of the headrace losses, and for the further investigation.

#### V CONCLUSION

As a leading company for the electricity generation and supply in Serbia, EPS permanently invests in the development of the energy resources. EPS participates in the global priority for the renewable energy sources, and realizes investments through the rehabilitation, building and optimization of the HPPs, and further on, wind and solar plants. Technical team for the optimization of the HPPs has been established in January 2020, with the main goal to conduct researches on the low-cost constructive and operational measures for the improvement of the energy efficiency in HPPs. Currently, basic parameters of interest have been determined and the methodology for their calculation created and applied. Monthly reports are made for the HPP Iron

Gate 1, HPP Iron Gate 2, HPP Bajina Bašta and HPP Bistrica. In this paper, part of the one monthly report is presented, with the main focus on the HPP Iron Gate 1 as the largest HPP in the Republic of Serbia.

In the further research, all HPPs in EPS will be analysed through defined, or extended methodology, depending on the type of the HPP. Afterwards, each HPP will be analysed in details with the recommendations of the possible improvements.

#### ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

The Authors gratefully acknowledge the support of the Technical Team for the Optimization of the HPPs in the Electric Power Industry of Serbia, which has 27 members including the authors.

#### LITERATURA/REFERENCES

- [1] Divac, D., Milivojević, N., Obradović, D., Đurić, J.: *Hydro-Information System HPP Iron Gate 1*, Contract with the Institute for the Development of Water Resources Jaroslav Černi, Belgrade, 2017.
- [2] Božić, I., Petović, V. Index tests of revitalized Kaplan turbine with the aim of optimising the hydro-aggregate, in Proc. *International Conference Power Plants 2018*, Zlatibor, Serbia, 2018
- [3] Divac, D., Milivojević, N., Stojković, M. *Hydro-Information System Drina*, Contract with the Institute for the development of water resources Jaroslav Černi, 2016.
- [4] Stojković, M., Đurić, J., Simić, Z. *Implementacija hidroinformacionog sistema Vlasina*, Contract with the Institute for the Development of Water Resources Jaroslav Černi, Belgrade, 2017.
- [5] Božić, I., Jovanović, R., Ilić, J., Petković, A. *Intra-station optimization of the working regimes in the system of Vlasinske HPPs*, Contract with the University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering/Hidromaškonsalting, Belgrade, 2018.
- [6] Božić, I., Jovanović, R., Ribar, Z., Ilić, J. *Indeksna ispitivanja cevne turbine HE Iron Gate 2 u cilju utvrđivanja relativnog stepena korisnosti i provere kombinatorske veze na jednom neto padu*, Contract with the University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, 2018.
- [7] Nikolić, M. *Development of the software for joint regulation of active power*, Contract with the IMP - Automatika, Belgrade, 2020.
- [8] Benišek, M. *Hidraulične turbine - drugo i dopunjeno izdanje*, University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, 2020.
- [9] Božić, I. *Hidraulične turbine - Praktični primeri sa izvodima iz teorije*, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Beograd, 2017.
- [10] Chaudhry, H. *Applied hydraulic transients*, Springer, 2014.
- [11] Wylie, B., Streeter, L. *Fluid transients in systems*, Prentice Hall, 1993.
- [12] IEC 60193:2019: Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines - Model acceptance tests, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2019. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/clc/e918627c-2409-4f4b-8bcd-a274fd04768d/en-iec-60193-2019> [pristupljeno 15.03.2022]
- [13] HUPX Hungarian Power Exchange Company Limited by Shares, <https://hupx.hu/en/> [pristupljeno 04.02.2022]

#### AUTORI/AUTHORS

**Jovan Ilić** - MSc ME, PE Electric Power Industry of Serbia / University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering, jovan.ilic@eps.rs, ORCID [0000-0001-9431-7946](https://orcid.org/0000-0001-9431-7946)  
**Aleksandar Latinović** - MSc EE, PE Electric Power Industry of Serbia, aleksandar.latinovic@eps.rs  
**Dejan Ostojić** - MSc ME, PE Electric Power Industry of Serbia, dejan.ostojic@eps.rs

# Razvoj energetske zajednice kao aktivna mera za podsticaj pravedne energetske tranzicije u Republici Srbiji

## Development of Energy Communities as an Active Measure to Encourage a Just Energy Transition in the Republic of Serbia

Miroslav Parović

Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment

**Rezime** - Jedna od glavnih odlika energetske sistema Republike Srbije je izuzetno visok stepen centralizacije. Ovakva situacija u velikoj meri uslovljava planiranje energetske tranzicije pristupom „odozgo na dole“. Na ovaj način se zadržava postojeće stanje visokog nivoa centralizacije energetske sistema čime se u velikoj meri onemogućava eliminisanje postojećih nepravdi. Ujedno, narušava se matrica 3D (dekarbonizacija, decentralizacija i digitalizacija) koja čini osnovu svake savremene energetske tranzicije.

U radu se analizira mogućnost promene pristupa u planiranju i sprovođenju energetske tranzicije. Promena podrazumeva uvažavanje principa „odozdo na gore“. Na ovaj način se podstiče šire uključivanje lokalnih zajednica u energetske sistem. Preduslov ovakvog scenarija je razvoj energetske građanske inicijative (energetskih zajednica). Ovo se može realizovati preko zadruga, dobrotvornih društava ili kroz klasične investicione modele. Uključivanje šire zajednice u proces planiranja i sprovođenja energetske tranzicije omogućava adekvatno saniranje lokalnih nepravdi koje se javljaju kao posledica funkcionisanja energetske sistema kao i smanjenje energetske siromaštva. Ukupno gledano, razvoj energetske zajednice povoljno utiče na povećanje nivoa energetske pravde i stepena pravičnosti u tranziciji ka niskougljeničnoj ekonomiji i energetici.

**Ključne reči** - energetska pravda, energetska siromaštvo, pravedna energetska tranzicija, energetske zajednice

**Abstract** - One of the main features of the energy system of the Republic of Serbia is the extremely high degree of centralization. This situation largely conditions the planning of the energy transition with a "top-down" approach. In this way, the existing state of high level of centralization of the energy system is maintained, which largely prevents the elimination of existing injustices. At the same time, the 3D matrix (decarbonisation, decentralization and digitalization) that forms the basis of every modern energy transition is being disrupted.

The paper analyses the possibility of changing the approach in planning and implementing the energy transition. Change implies that the bottom-up principle is also respected. In this way, wider involvement of local communities in the energy system is encouraged. The precondition for such a scenario is the development of energy civic initiatives (energy communities).

This can be realized through cooperatives, charities or through classic investment business models. Involving the wider community in the process of planning and implementing the energy transition enables adequate remediation of local injustices that occur as a result of the functioning of the energy system as well as the reduction of energy poverty. Overall, the development of energy communities has a positive effect on increasing the level of energy justice and the degree of fairness in the transition to a low-carbon economy and energy.

**Index Terms** - Energy justice, Energy poverty, Just energy transition, Energy communities

### I UVOD

U okviru EU direktiva nalaže se kako sve države članice moraju omogućiti svojim građanima mogućnost da vrše proizvodnju i distribuciju (deljenje) električne energije unutar lokalnih energetske zajednice. Same energetske zajednice su koncipirane kao otvorene i demokratske organizacije u kojima svaki član ima prava na glas u odlučivanju. Evropsko zakonodavstvo poznaje dva oblika energetske zajednice i to zajednica obnovljivih izvora energije i energetske zajednice građana. Pored proizvodnje i distribucije električne energije, energetske zajednice mogu da se organizuju i za toplotnu energiju ili što je češći slučaj za kombinovanu proizvodnju i distribuciju električne i toplotne energije.

Čitav koncept popularisanja razvoja lokalnih energetske zajednice se oslanja na ideju potrebe da se energetske sistem realizuje i pristupom odozdo na gore ili kombinovanim pristupom (odozdo na gore i odozgo na dole). Ovakav pristup ide u pravcu decentralizacije i demokratizacije energetske sektora, što predstavlja postulate savremenog pristupa energetske tranziciji. Na ovaj način se omogućava da se isprave određene lokalne nepravde koje nastaju usled delovanja energetske sektora, čime se doprinosi podizanju ukupnog nivoa energetske pravde.

U okviru rada prvo će biti dat pregled aktuelnog stanja u oblasti istraživanja, uz osvrt na zakonodavstvo EU u okviru kojeg su definisani svi elementi lokalnih energetske zajednice. Ujedno, najveći broj praktično realizovanih projekata nalazi se u EU, o čemu će takođe biti napravljen osvrt. U drugom delu biće analiziran uticaj formiranja energetske zajednice na mogućnost

podizanja ukupnog nivoa energetske pravde u društvu. Glavni deo rada biće analiza stanja u Republici Srbiji, uz istorijsku retrospektivu primera nekadašnjih modela organizovanja lokalnog stanovništva, kako bi se obezbedila dovoljna količina energije. Ujedno, u okviru ovog poglavlja biće date i preporuke na koji način se podrškom razvoju energetske zajednice u Republici Srbiji može obezbediti pravedna energetska tranzicija.

## II RAZVOJ LOKALNIH ENERGETSKIH ZAJEDNICA U EU

### 1. Pregled zakonskih okvira kojima su definisane lokalne energetske zajednice u EU

Prema navodima u okviru strateških dokumenata EU [1] energetske zajednice se tretiraju kao kolektivne energetske akcije koje vode sami građani. Smatra se da ovakav vid organizovanja pomaže u ostvarivanju tranzicije ka čistoj energiji, jer se doprinosi povećanju javnog prihvatanja projekata obnovljive energije i olakšava privlačenje privatnih investicija.

Kao ključni benefiti navode se direktne koristi koje građani imaju unapređenjem energetske efikasnosti i smanjivanjem računa za energiju. Osim toga lokalne energetske zajednice mogu pomoći u obezbeđivanju povećanja ukupne fleksibilnosti elektroenergetskog sistema kroz upravljanje potražnjom i kroz omogućavanje povećanja skladištenja energije [1].

U okviru EU direktiva navode se dva oblika lokalnih energetske zajednice i to:

- zajednica obnovljivih izvora energije (ZOIE);
- energetska zajednica građana (EZG).

Zajednica obnovljivih izvora energije je definisana u okviru paketa mera kojim se definiše oblast obnovljivih izvora energije, *Renewable Energy Directive (RED II)* [2]. Prema ovoj uredbi zajednica obnovljivih izvora energije ima sledeće karakteristike:

- pravno lice koje radi u skladu sa primenjenim nacionalnim pravom zasniva se na otvorenom i dobrovoljnom učešću. Postoji autonomija u radu uz efikasnu kontrolu koju vrše akcionari ili članovi koji se nalaze u geografskoj blizini projekta obnovljivih izvora energije koji je razvijen i u vlasništvu ZOIE;
- akcionari ili članovi mogu biti fizička lica, mala i srednja preduzeća i jedinice lokalne samouprave;
- primarna svrha organizovanja ZOIE je obezbeđivanje ekološke, ekonomske, ili društvene koristi za svoje akcionare, članove, ili za lokalna područja u kojima posluje. Finansijska dobit nije prioritet.

Uobičajeni model zajednice obnovljivih izvora energije se sastoji od četvrti sa stambenim i komercijalnim jedinicama koje imaju komplementarne profile energetskog opterećenja [3]. Komplementarnost se ogleda u tome što se dominantna potrošnja u stambenim jedinicama vremenski ne poklapa sa potrošnjom u komercijalnom sektoru. U novim uredbama se definišu i mogućnosti uvođenja komercijalnih zona koje su ranije u aktivnostima samopotrošnje mogle da učestvuju samo u okviru zatvorenih distributivnih sistema. Ovakav tip energetske zajednice imaju lokalni karakter i zakonodavstvom država članica su definisane granice njihovog fizičkog širenja i delovanja. Pojedine države se opredeljuju da definišu granice u skladu sa fizičkim granicama elektroenergetskog sistema, tj.

niskonaponskim i/ili srednjenaponskim transformatorskim stanicama. Na ovaj način se povezuje fizički i regulatorni nivo upravljanja distributivnom mrežom i omogućuje se postavljanje odgovarajućih tarifa u odnosu na mesto priključenja. S druge strane, u nekim državama se postavljaju geografske granice, pa je tako u Francuskoj definisano da se pripadnost lokalnoj energetske zajednici obnovljivih izvora energije određuje u radijusu od 2 km.

Energetska zajednica građana je uvedena kao jedna od odrednica u okviru paketa Čista energija za sve Evropljane (*Clean energy for all Europeans package*). Prema ovoj uredbi energetska zajednica građana ima sledeće karakteristike:

- pravno lice radi u skladu sa nacionalnim pravom, zasniva se na otvorenom i dobrovoljnom učešću. Postoji autonomija u radu uz efikasnu kontrolu koju vrše akcionari ili članovi koji mogu biti fizička lica, mala preduzeća i jedinice lokalne samouprave;
- primarna svrha organizovanja EZG jeste obezbeđivanje ekološke, ekonomske, ili društvene koristi za svoje akcionare, članove, ili za lokalna područja u kojima posluje. Finansijska dobit nije prioritet;
- može da se bavi proizvodnjom (uključujući obnovljive izvore energije), distribucijom, snabdevanjem, potrošnjom, agregacijom, skladištenjem energije, uslugama energetske efikasnosti, ili uslugama punjenja za električna vozila, ili obezbeđivati neku drugu energetske uslugu svojim članovima ili akcionarima.

Na isti način kao kod zajednice obnovljivih izvora energije i u okviru energetske zajednice građana je omogućena proizvodnja, skladištenje, potrošnja, deljenje i prodaja energije. Građanske energetske zajednice su koncipirane da budu novi akter na tržištu energije i to se pre svega odnosi na tržište električne energije. Ovakav oblik energetske zajednice nije geografski određen niti ograničen pa se shodno tome mogu proširiti (u smislu funkcionisanja) na čitavu državu, a čak mogu učestvovati i u programima prekogranične saradnje [3].

U određenom smislu se zajednica obnovljivih izvora energije može smatrati podvrstom energetske zajednice građana. Specifičnost ovakve vrste energetske entiteta je to što im je fokus na nekomercijalnom pristupu i u tom pogledu su nalik na nevladine organizacije. Omogućavanjem ovakve vrste novih energetske aktera na tržištu podstiče se uključivanje građana u sektor proizvodnje energije čime se podstiče decentralizacija i demokratizacija energetskog sektora. Lokalne energetske zajednice ne isključuju druge oblike mikro energetske projekata (npr. privatno javno partnerstvo, ili ESCO projekti), čak u velikoj meri mogu biti komplementarni sa njima [3]. Iz tog razloga u okviru ovog rada pod terminom lokalnih energetske zajednice neće biti tretirane samo zajednica obnovljivih izvora energije i energetska zajednica građana, već će biti primenjen širi pogled, a ove dve grupe će se uzimati kao lokalne energetske zajednice u užem smislu.

### 2. Postojeći modeli lokalnih energetske inicijativa

Postoje brojni primeri lokalnih energetske inicijativa koje su kroz istoriju na različite načine učestvovala u formiranju energetske sistema i energetske politike država. U okviru rada

[4] navedena su tri glavna istorijska razdoblja značajna za razvoj lokalnih energetske inicijative:

- Pokreti za životnu sredinu tokom šezdesetih godina i potom tzv. "naftni šokovi" tokom sedamdesetih godina predstavljaju prvu fazu u okviru koje se moglo uočiti da su građani krenuli da pružaju inovativne društvene odgovore na pitanja proizvodnje i potrošnje energije.
- Druga faza je počela kada su nacionalne vlade na bazi direktiva EU počele da daju značajniju podršku i podsticaje za uključivanje obnovljivih izvora energije u ukupni energetski miks.
- Treća faza je počela od trenutka velike ekonomske recesije iz 2008. godine kada su pokrenuti mehanizmi snažne demokratizacije energetske sektora i osnaživanje građana u kontekstu rastućih cena energije, sve slabije ekonomije i u tom periodu snažne dominacije moćnih multinacionalnih (i nacionalnih) energetske kompanija.

Nove okolnosti nastale usled pandemije COVID-19, a pogotovo nakon početka krize u Ukrajini još više stavljaju pitanje energetike u prvi plan imajući u vidu nagli porast cena svih vidova energije, uzrokujući drastično povećanje stope energetske siromaštva. Prema bazičnoj postavci energetske siromaštvo je definisano kao nemogućnost domaćinstva da priušti adekvatne energetske servise za manje od 10% svojih ukupnih neto prihoda [5]. Istovremeno, kriza u Ukrajini je pokazala i značajnu ranjivost velikih energetske kompanija, koje su bez obzira na sve dosadašnje inicijative ostale dominantne u procesu energetske tranzicije. Takođe, otvoreno je i pitanje u kom pravcu će se dalje razvijati čovečanstvo i da li će koncept regionalizacije zameniti aktuelni trend globalizacije. Zbog svega ovoga potrebna je snažnija inicijativa da se što više građana uključi u energetske sektor i to ne više pasivno kao potrošači, već aktivno u okviru definisanih energetske entiteta koji učestvuju na tržištu. Ujedno, nezavisno od aktuelnih kriza evidentno je da su ciljevi Pariskog sporazuma o klimi vrlo teško ostvarivi u onom obliku u kojem su definisani [6], a pored svih napora EU da se značajnije poveća udeo OIE u ukupnom energetskom miks postignut je samo ograničen uspeh, te je onda izvesno da je neophodno uvesti novi pristup u planiranje i sprovođenje energetske tranzicije. Ova neophodnost, zajedno sa rastućom zainteresovanošću građana za održivost i demokratizaciju energetike [7], nudi jasnu motivaciju da se organizuju lokalne zajednice i da se uključe u energetske sektor. U tom kontekstu već sada postoji dosta široki spektar energetske projekata koji se vodi preko lokalnih energetske zajednica, ili su one uključene kao deo u neki širi okvir. Države članice Evropske Unije su na čelu ovog rastućeg trenda u svetu i zato ne treba da čudi da je ova oblast i najbolje definisana u samoj EU. Lokalne energetske zajednice se nalaze u različitim projektima poput vetroparkova i solarnih elektrana koje su u kooperativnom vlasništvu i deo profita vraćaju lokalnoj zajednici. Postoje i brojna toplotna postrojenja koja su u lokalnom vlasništvu i služe za zagrevanje zajedničkih institucija kao što su objekti administracije, škola, crkva i drugih. Takođe, na selima su dosta prisutni zajednički bioenergetski kolektivi (npr. biogazna postrojenja), a sve su češći i primeri tzv. „eko sela“ u okviru kojih se realizuje i promoviše samodovoljnost, energetske efikasnost i koncept nultog otpada.

U okviru rada [4] dat je pregled različitih organizacionih oblika lokalnih energetske inicijative u kojima su građani glavni akteri:

1. Zadruga za obnovljivu energiju predstavljaju najčešći organizacioni oblik lokalnih energetske zajednica. U različitim državama EU ovakve zadruga su definisane na sličan način, ali nisu svugde u istoj meri zastupljene. Takođe, postoji razlika vezana za energetske resurs oko kojeg se organizuje najviše ovakvih lokalnih inicijativa. Sve ove zadruga u svojim zemljama služe da omoguće svojim članovima da obavljaju privrednu aktivnost kroz proizvodnju ili snabdevanje energijom. Neki poseduju energetske infrastrukturu ili udeo u njima, na primer, hidroelektrane, vetroturbine ili solarne farme, drugi deluju samo, ili uglavnom, kao preprodavci energije iz obnovljivih izvora. Neki direktno obezbeđuju energiju članovima ili lokalnom stanovništvu, ali većina prodaje struju tržištu i plaća dividende svojim članovima. Ovde treba reći da zadruga za obnovljivu energiju mogu biti zasnovane na čisto građanskoj inicijativi i onda su one organizovane direktno kao nekomercijalna zajednica obnovljivih izvora energije, ili pak mogu proisteći iz poslovnog sektora.
2. Fondovi za razvoj zajednice su organizovani kao privatna dobrotvorna društva, dok kompanije za dobrobit zajednice predstavljaju organizacioni oblik u formi društva sa ograničenom odgovornošću. Oba organizaciona modela su tipična za Veliku Britaniju i smatraju se podesnim za širenje i na druge države, imajući u vidu da imaju potencijal veće pravičnosti u funkcionisanju jer za razliku od zadruga nisu usmerene na povrat pojedinačnim investitorima, već je cilj ulaganje u celu zajednicu čime se uspostavlja koncept javne, a ne međusobne koristi. Na ovaj način ovakva organizaciona forma i suština funkcionisanja bi bila u skladu sa definisanim energetske zajednicama građana.
3. Projekti lokalne samouprave uz učešće građana predstavljaju organizacionu formu u kojoj su jedinice lokalne samouprave pokretači energetske projekata, koje pozivaju građane da postanu deo projekata. Ovo je tipična organizaciona šema u Francuskoj, koja ima visok nivo centralizacije energetske sistema, a dosta autonomne lokalne samouprave. Varijaciju ovakvog organizacionog modela predstavljaju energetske klasteri koji se definišu kao ugovor između različitih aktera (pojedinaca, pravnih lica, privrednih subjekata, istraživačkih subjekata i lokalnih samouprava), u cilju proizvodnje, balansiranja, trgovine ili distribucije energije.
4. Model javno-privatnog partnerstva predstavlja čest način realizacije lokalnih energetske projekata. Primenom ovog modela ublažavaju se finansijski rizici za jedinice lokalne samouprave u okviru kojih se rešavaju npr. problemi javnog osvetljenja, ili grejanja javnih objekata. Međutim, iako se ne isključuje mogućnost uključivanja građana, u praksi se pokazuje da su javno-privatna partnerstva mahom zatvorena u krugu privatnih kompanija i jedinica lokalne samouprave. Zbog toga se sve više teži ka uspostavljanju modela javno-privatno-građanskog

partnerstva čime se osigurava učešće građana pored privatnih kompanija i javnih subjekata.

5. Privatne kompanije često predstavljaju integralni deo lokalne energetske zajednice, jer omogućavaju pojednostavljeno obavljanje energetske delatnosti. Privatna kompanija sa ograničenom odgovornošću je poželjna opcija, u slučajevima gde je proizvodnja električne energije jedini, ili glavni cilj lokalne energetske zajednice (npr. zajednička postrojenja na biogas). U ovakvoj organizaciji može biti zanemaren interes šire lokalne zajednice i profit stavljen na prvo mesto. Međutim, bez mogućnosti ove vrste privatnih poslovnih inicijativa lokalni interes za uključivanje u sektor energetike bi često bili nedovoljni.
6. Druge inicijative na lokalnom nivou (lokalni pokreti) predstavlja veliki skup različitih inicijativa kod kojih sam organizacioni okvir nije od presudnog značaja. Ovakvi pokreti su uglavnom orijentisani oko dve ključne teme: 1) pitanja održivosti životne sredine i to često iz perspektive protivljenja modelu potrošačkog društva; 2) energetska demokratija i pitanje energetskog (i sveobuhvatnog) siromaštva. Iako su u praksi ovakvi društveni pokreti često udruženi, oni ipak mahom samo odgovaraju na različite krize. U prvom planu su to ekološke krize izazvane klimatskim promenama i nedelovanjem društva, ali i društveno-političke krize koje proizilaze iz neuspeha vlade i tržišta da zadovolje energetske potrebe građana na pravičan način.

Ipak, strateški pristupi energetske tranziciji, koje i dalje forsiraju evropski kreatori politike, ostaju čvrsto usidreni u ranijoj inovacijskoj paradigmi „fokusiranoj na tehnologiju“ i ne zasnivaju se na bilo kakvom obliku istinske rekonfiguracije, ili „novom društvenom ugovoru za energiju“ [4]. Ujedno, u okviru rada [8] autori navode kako je neoliberalizam u najvećem broju država u svetu stvorio oligopolistička tržišta u sektoru energetike i da nastavak iste prakse neće doprineti da se energetskom tranzicijom dosegnu pravedni ishodi.

### *3. Lokalne energetske inicijative kao podrška pravednoj energetske tranziciji*

Dva glavna izazova dvadeset i prvog veka jesu pogoršanje stanja životne sredine i rastući socio-ekonomski problemi [9]. Ova dvostruka globalna kriza daje na važnosti konceptu pravedne energetske tranzicije, koja je definisana kao pošten i nepristrasan proces kretanja ka tzv „postkarbonskom“ društvu (bez emisija ugljen-dioksida) [8]. U osnovi pravedna energetska tranzicija je proces koji nastaje u konvergenciji energetskih tranzicija i socio-ekonomskih zabrinutosti sa idejom prelaska na klimatski neutralnu ekonomiju koji ne stvara nove nejednakosti i ne povećava siromaštvo ugroženih grupa.

Autori u okviru istraživanja [10] iznose zaključak kako lokalne energetske inicijative pružaju dobru osnovu za realizaciju održivih projekata u energetskom sektoru. Na taj način se u značajnoj meri doprinosi otklanjanju lokalnih nepravdi, čime se podiže ukupni nivo energetske pravde u društvu. Lokalne energetske inicijative mogu doprineti i pravednosti u procesu energetske tranzicije, imajući u vidu da se u okviru rada [8]

navodi kako se koncept energetske pravde može smatrati konstitutivnim delom pravedne tranzicije sa dominantno kratkoročnim efektima lokalnog karaktera.

Značajnije uvođenje lokalnih energetskih inicijativa u energetski sektor podrazumeva uvođenje velikog broja socijalnih inovacija koje bi doprinele promeni ustaljenog stanja u kojem dominiraju centralizovani sistemi i velike energetske kompanije. U okviru rada [11] autori iznose stav kako bi energetska tranzicija mogla biti poboljšana značajnijim uključivanjem netehnoloških inovacija i to u prvom redu novih poslovnih i organizacionih modela.

U okviru istraživanja koje je prikazano u radu [4] data je mapa koraka u razvoju jedne socijalne inovacije koja podrazumeva sledeće faze:

- kriza i prilike koje iz krize proizilaze;
- podizanje i artikulacija građana (civilnog društva);
- rekonfiguracija društvenih praksi, institucija i odnosa (mreža);
- uspostavljanje novih načina funkcionisanja.

Imajući u vidu aktuelnu krizu koja je bez presedana u novijoj istoriji, pojavljuje se velika potreba da se što veći broj građana uključi aktivno u proces obezbeđivanja energetske sigurnosti države. Ovo postavlja lokalne energetske inicijative na značajnije mesto u procesu planiranja budućnosti energetike, a koncept pravedne energetske tranzicije kao dobru meru kompromisa između aktuelnih ambicioznih planova za dekarbonizaciju i realnog stanja na terenu u kom se beleži porast potrošnje uglja, iako se strategijama predviđa drastično smanjivanje upotrebe ovog goriva.

### **III MOGUĆNOSTI ZA RAZVOJ ENERGETSKIH ZAJEDNICA U SRBIJI**

Republika Srbija spada u red evropskih država u razvoju sa ekonomijom koja je u tranziciji. Energetski sistem je izrazito centralizovan i dominantni tržišni igrači su velike državne kompanije poput Elektroprivrede Srbije, ili kompanije u kojima država ima značajan udeo, poput Naftne industrije Srbije. U okviru rada [12] navedeno je kako je jedna od osobenosti energetskog sistema Republike Srbije, očuvanje socijalnog mira kroz depasirane cene električne energije i toplotne energije u sistemima daljinskog grejanja.

Ovakva uloga energetskog sektora je posebno izražena u periodu aktuelne krize. Sa jedne strane postoji delimično opravdanje ovakvih odluka kreatora energetske politike, pogotovo u kriznom periodu, ali sa druge strane ovakav populistički način vođenja energetskog sistema doveo je praktično sve resurse do krajnjih granica izdrživosti. Najbolji primer za to je elektro-energetski sistem koji je u nekoliko navrata tokom 2021. godine doživeo ozbiljne havarije, što je dovelo do značajnog pada u proizvodnji uglja i električne energije. Štete koje su nastale se još uvek utvrđuju, a prema preliminarnim podacima ukupni gubici biće veći od dve stotine miliona evra. Takođe, usled veštačkog održavanja niske cene električne energije, kako za domaćinstva, tako i za poslovne korisnike, počinju da se javljaju i sve ozbiljniji problemi u funkcionisanju preduzeća zaduženog za distribuciju električne energije. Elektrodistibucija Srbije, kao novoformirano preduzeće nastalo izdvajanjem iz sistema Elektroprivrede Srbije, suočeno je pre svega sa velikim finansijskim izazovima imajući u

vidu da se usled globalne krize beleži porast cena bakra, aluminijuma i, generalno, elektroenergetske opreme. Shodno tome, naplaćena mrežarina po aktuelnim cenama nije dovoljna za adekvatno održavanje distributivnog sistema. Veliki problemi postoje i u sektoru prirodnog gasa u kojem postoji moratorijum na cenu za domaćinstva i privredu, što stvara ogromne finansijske gubitke za kompaniju Srbijagas, a usled ogromnog rasta cena na tržištu koje su u pojedinim danima prelazile 3000 dolara za hiljadu kubnih metara. Kriza u Ukrajini stvorila je probleme u sektoru nafte i naftinih derivata. Sa jedne strane postoji opasnost od sankcija za rusku kompaniju Gasprom, koja je većinski vlasnik Naftne industrije Srbije, što bi dovelo do problema sa uvozom sirove nafte. Drugi problem koji se ima je nastao ograničenjem maloprodajnih cena naftinih derivata što je dovelo do određenih problema u lancu snabdevanja jer je za mnoge trgovce postalo neisplativo da rade u novonastalim okolnostima.

Ovakva situacija kako na domaćem, tako i na međunarodnom energetsom tržištu iziskuje ponovno pokretanje analiza i diskusija o budućnosti srpskog energetskeg sektora. U tom smislu bi trebalo posvetiti značajniju pažnju razvoju lokalnih energetskeg inicijativa uz pomoć kojih bi se maksimalno podigao nivo iskorišćenja svih raspoloživih energetskeg potencijala koji postoje u zemlji. Trenutno se u Republici Srbiji ima relativno mali broj lokalnih energetskeg projekata. Svi ovi projekti se mogu svrstati u jednu od sledećih kategorija:

- Energetski projekti koji su realizovani od strane jedinica lokalne samouprave. Najčešće se radi o lokalnim toplanama koje služe za zagrevanje javnih objekata, kao što su zgrade lokalne administracije, škole, ambulante, itd.
- Energetski projekti realizovani po principu javno-privatnog partnerstva. Na ovaj način se, primera radi, kroz tzv. ESCO princip realizuju projekti prelaska na led javnu rasvetu.
- Energetski projekti realizovani kao klasični poslovni poduhvati i u tu grupu spadaju praktično svi do sada realizovani mali projekti obnovljivih izvora energije poput biogasnih postrojenja i malih hidroelektrana.

Zakonom o obnovljivim izvorima energije, u Republici Srbiji uvedene su zajednice obnovljivih izvora energije kao pravna lica koja se zasnivaju se na otvorenom i dobrovoljnom učešću njihovih članova [18]. Međutim, u okviru ovog zakona nije definisana uloga zajednica obnovljivih izvora energije kao novog aktera na energetsom tržištu, pa se tako vrlo lako može doći u situaciju čisto komercijalno motivisane aktivnosti u pravcu zadržnog udruživanja, a što se kosi sa osnovnim principom lokalnih energetskeg zajednica. U Republici Srbiji postoje dve zadruge („Sunčani krovovi“ i „Elektropionir“), koje funkcionišu prema postojećoj zakonskoj regulativi o zadrugama, jer Zakonom o obnovljivim izvorima energije nije obuhvaćeno definisanje energetskeg zadruga. Energetska zadruga Elektropionir je pokrenula *crowdfunding* kampanju radi finansiranja projekata novih solarnih elektrana [19].

Ono što dominira u praksi jesu lokalne inicijative građana koje su mahom orijentisane na proteste protiv realizacije nekih energetskeg projekata. Svakako najpoznatiji pokret te vrste nastao je u selu Rakita u kojem se lokalno stanovništvo pobunilo protiv

izgradnje male hidroelektrane. U prošlosti su pak postojali brojni primeri lokalnih energetskeg projekata koji bi ako se posmatraju kroz prizmu današnjih definicija mogli biti tretirani kao energetske zajednice građana. Primera radi, 1920. godine formirano je Pirotsko električno i industrijsko društvo koje je u svom vlasništvu imalo termoelektoranu, a kasnije i hidrocentralu te su na taj način stanovništvo i industrija bili snabdevani električnom energijom. Slični projekti su postojali i u praktično svim mestima u Vojvodini u kojima su građani sami pravili male termoelektre koje su uglavnom imale ulogu da daju energiju za pogon lokalnog mlina i javnog osvetljenja čime su takvi projekti imali vrlo veliki pozitivan uticaj na praktično čitavu lokalnu zajednicu.

U okviru rada [18] izveden je zaključak da se za Republiku Srbiju može očekivati razvoj lokalnih energetskeg zajednica pre svega u sektoru solarne energije, a za seoske sredine i za biogasna postrojenja. Istraživanja čiji su rezultati prikazani u radu [4] pokazuju kako se lokalne energetske inicijative lakše sprovede na onim mestima u kojima postoji tradicija takvih poduhvata. Imajući ovo u vidu, trenutno glavni fokus u razvoju lokalnih energetskeg zajednica građana u Republici Srbiji treba staviti na sledeće oblasti:

- razvoj seoskeg energetskeg zajednica,
- razvoj pozitivnih energetskeg distrikta (PED).

Razvoj seoskeg energetskeg zajednica može da se optimalno realizovati preko zadržnog modela organizovanja. Ovakav model organizacije u Republici Srbiji u različitim oblicima postoji još od XIX veka [13] i shodno tome je vrlo prijemčiv za najveći deo seoskeg stanovništva. Pored poznatog, i shodno tome prihvatljivog organizacionog modela, postoji i resursna podloga za realizaciju ovog tipa projekta imajući u vidu da je biomasa najznačajniji i najdostupniji obnovljivi izvor energije koji ima Republika Srbija [14]. Ovako pokrenute lokalne energetske zadruge mogu u perspektivi postati osnova za razvoj bioenergetskeg sela koja proizvode električnu energiju i snabdevaju lokalne potrebe za grejanjem sagorevanjem žetvenog i životinjskog otpada u kombinovanim termoelektreanama. U Nemačkoj trenutno postoji više od 200 takvih sela sa stalnom tendencijom daljeg povećavanja njihovog broja [4]. Dalja inovacija ovog modela išla bi u pravcu formiranja „eko-sela“ koja promovišu samodovoljnost, nulti otpad i energetskeg efikasnost čime se lokalno gledano postiže najveći mogući stepen energetske pravde na način da se postiže visok nivo izbalansiranosti energetskeg trileme posmatranog lokalnog energetskeg sistema. Direktna korelacija između vrednosti energetske pravde i nivoa izbalansiranosti energetskeg trileme analiziranog energetskeg sistema dokazana je u okviru rada [15].

Koncept pozitivnih energetskeg distrikta predstavlja novi organizacioni model koji se razvija u okviru EU sa ciljem angažovanja raspoloživih energetskeg resursa u urbanim sredinama. Osnovna zamisao je da PED koncept bude razvijen u okviru sistema otvorenih inovacija tako što će glavni pokretači projekata biti gradovi u saradnji sa industrijom i investitorima, kao i sa istraživačkim i građanskim organizacijama.

Glavne karakteristike koje se očekuju od koncepta PED-a su [16]:

- PED je ugrađen u urbani i regionalni energetska sistem i baziran mahom na obnovljivim izvorima energije (dozvoljen je i zemni gas kao tranziciono gorivo), kako bi se obezbedila optimizovana sigurnost i fleksibilnost snabdevanja.
- PED se zasniva na visokom nivou energetske efikasnosti, kako bi se zadržala godišnja lokalna energetska potrošnja manja od količine lokalno proizvedene obnovljive energije.
- U okviru regionalnog energetskog sistema PED omogućava korišćenje obnovljive energije nudeći optimizovanu fleksibilnost i upravljanje potrošnjom i kapacitetima skladištenja energije. Aktivno upravljanje potrošnjom omogućava balansiranje i optimizaciju, „peglanje“ pikova, prebacivanje opterećenja, odgovor na povećanu potražnju od trenutno raspoložive obnovljive energije i na nivou oblasti PED-a samopotrošnju električne i toplotne energije
- PED spaja izgrađeno okruženje, održivu proizvodnju i potrošnju i mobilnost radi smanjenja upotrebe energije i emisije gasova staklene bašte, ujedno se omogućava i stvaranje dodatne vrednosti i podsticaj za potrošače (stanovnike u okrugu). Na primer, PED-ovi olakšavaju povećanu potrebu punjenja električnih vozila unutar okruga i time se obezbeđuje da će uticaj opterećenja na distributivnu mrežu biti minimiziran korišćenjem lokalne generacije gde god je to moguće.
- PED optimalno koristi elemente kao što su napredni materijali, lokalni OIE i drugi izvori energije sa niskim sadržajem ugljenika (npr. otpadna toplota iz industrije i uslužnog sektora), lokalno skladištenje energije, pametne energetske mreže, upravljanje pikovima potrošnje energije (struja, grejanje i hlađenje), interakcija/uključivanje korisnika i informaciono-komunikacioni sistemi.
- PED treba da doprinese poboljšanju kvaliteta života za svoje stanovnike.

Plan je da se PED implementira u novoizgrađenim i rekonstruisanim okruzima kao i u okruzima sa kombinacijom oba. Zgrade predstavljaju glavni gradivni element za realizaciju ovog tipa projekata. Stoga koncept PED namerava da uspostavi novu ulogu zgrade, od pasivnog potrošača do dobavljača energije. U pametnim energetskim sistemima uloga zgrade se transformiše iz pasivnog potrošača u dobavljača energetske fleksibilnosti. Od zgrada se očekuje da imaju fleksibilnu potražnju za energijom za pružanje usluga energetskim mrežama [17].

Koncept PED-a je u fazi razvoja, tako da još uvek treba da se usavrši i unapredi, potom da se demonstriraju mogućnosti i na kraju da se kao takav implementira. Trenutno glavni izazov u razvoju ovog koncepta predstavlja motivacija za gradove da optimizuju napore, maksimiziraju sinergiju, minimiziraju skupe greške i osnažene zajednice da postignu ovakvu transformaciju energetskog sistema. U osnovi ovo nije pitanje tehnike, već je neophodno izvršiti pre svega socijalnu inovaciju jer se glavna barijera nalazi u ustaljenim društvenim odnosima koji još uvek ne prepoznaju građane i građanske inicijative kao potencijalne ravnopravne učesnike na energetskom tržištu.

U poslednjih nekoliko decenija u Srbiji je došlo do značajnije unutrašnje migracije stanovništva ka nekoliko većih gradova. Ovo je izazvalo povećanu potrošnju energije u tim sredinama kao i probleme u snabdevanju. Većina zgrada u urbanim sredinama troši više energije od proseka u EU i to kako u starim zgradama, tako i u novogradnji. Ujedno, korišćenje obnovljivih izvora energije kao i skladištenje energije na nivou zgrada je zanemarljivo. Uprkos ovakvim okolnostima u Republici Srbiji praktično ne postoje značajnije inicijative za sistematski pristup energetskoj tranziciji urbanih sredina. Iz tog razloga je hitno potrebno donošenje jasne strategije za održivu urbanizaciju koja bi kao osnovu uzela PED koncept.

Građanske inicijative mogu imati ključnu ulogu u realizaciji PED sistema u Republici Srbiji. Stoga je prevashodno potrebno edukovati postojeće zainteresovane grupe, kako bi se izvršio pritisak odozdo na gore. Glavni partneri u ovom poslu bi mogle biti postojeće NVO koje se trenutno prevashodno bave temama zaštite životne sredine. Takođe, na bazi pozitivnih primera iz Evropske Unije potrebno je napraviti adekvatan pravni okvir kako bi se i u formalno pravnom smislu omogućilo da pored postojećih organizacionih oblika budu uspostavljene i nekomercijalne energetske zajednice građana.

#### IV ZAKLJUČAK

U okviru rada dat je pregled dosadašnje prakse u razvoju lokalnih energetskih zajednica građana u Evropskoj Uniji. Prepoznato je da EU ulaže najviše napora da promeni dominantnu paradigmu u kojoj su velike energetske kompanije dominantni nosioci energetske tranzicije dok su građani samo u pasivnoj ulozi potrošača. Međutim, uprkos velikim naporima i očekivanjima političkih krugova u EU da bi „energija zajednice“ mogla da preuzme značajniju ulogu to se na terenu još uvek ne vidi u značajnijoj meri. Tako da je neophodno uložiti značajno više napora u osnaživanje građana, ali i u promeni dominantnog neoliberalnog koncepta ekonomije koji onemogućava značajniju decentralizaciju i demokratizaciju sektora energije čime se čuva uspostavljeni oligopolistički sistem.

Aktuelna kriza iziskuje veliko angažovanje svih raspoloživih resursa. U tom smislu lokalne energetske inicijative dobijaju na značaju jer države moraju da ulože maksimum napora da smanje uvozu zavisnost. S tim u vezi trenutno je najveći izazov kako izvršiti socijalne inovacije i promeniti ustaljene obrasce ponašanja građana u pogledu funkcionisanja energetskog sistema, dok su postojeći tehnički sistemi apsolutno sposobni za realizaciju svih oblika lokalnih energetskih inicijativa.

Republika Srbija nema adekvatnu legislativu niti ukupni društveni okvir koji bi podržao razvoj lokalnih energetskih zajednica građana. Trenutno su dominantni lokalni pokreti koji su organizovani sa ciljem sprečavanja pojedinih energetskih projekata za koje se smatra da negativno utiču na životnu sredinu i mikro klimu na lokalitetima predviđenim za gradnju. Sa druge strane, postoji tradicija organizovanja građana radi zajedničkog rešavanja problema snabdevanja energijom. Ovu činjenicu treba iskoristiti i na bazi već poznatih modela, kakav je recimo zadružno povezivanje, kreirati okvir za pokretanje lokalnih energetskih inicijativa.

## LITERATURA/REFERENCES

- [1] European Commission, Energy Communities, [https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-communities\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-communities_en) [pristupljeno 16.03.2022.]
- [2] \*\*\*, [https://energy-community.org/dam/jcr:55e05482-7ed3-456b-8262-4afae737ab87/RECG\\_EC\\_032019.pdf](https://energy-community.org/dam/jcr:55e05482-7ed3-456b-8262-4afae737ab87/RECG_EC_032019.pdf) [pristupljeno 16.03.2022.]
- [3] Roberts, J., Frieden, D., d'Herbemont, S. *Energy Community Definitions*, Compile Project: Integrating Community Power in Energy Islands, 2019 <https://www.compile-project.eu/> [pristupljeno 16.03.2022.]
- [4] Hewitt, R. J., Bradley, N., Baggio, C. A., Barlagne, C., Ceglarz, A., Cremades, R., McKeen, M., Otto, I.M., Slee, B. Social Innovation in Community Energy in Europe: A Review of the Evidence, *Frontiers in Energy Research*, Vol. 7, No. 31, 2019. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00031>
- [5] Schuessler, R. *Energy Poverty Indicators: Conceptual Issues Part I: The Ten-Percent-Rule and Double Median/Mean Indicators*, ZEW (Centre for European Economic Research); 2014 [DP 14-037 \(ssrn.com\)](https://ssrn.com/abstract=2403773) [pristupljeno 16.03.2022.]
- [6] Kriegler, E., Luderer, G., Bauer, N., Baumstark, L., Fujimori, S., Popp, A., Rogelj, J., Strefler, J., van Vuuren, D.P. Pathways limiting warming to 1.5° C: a tale of turning around in no time? *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 2018. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0457>
- [7] Szulecki, K. Conceptualizing energy democracy, *Environmental Politics*, Vol. 27, No. 1, pp. 21–41, 2018. <https://doi.org/10.1080/09644016.2017.1387294>
- [8] Heffron, R.J., McCauley, D. What is the “Just Transition”?, *Geoforum*, Vol. 88, pp. 74–77, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.11.016>
- [9] García-García, P., Carpintero, Ó., Buendía, L. Just energy transitions to low carbon economies: A review of the concept and its effects on labour and income. *Energy Research & Social Science*, Vol. 70, 101664, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101664>
- [10] Schoor, T., Scholtens, B. Power to the people: Local community initiatives and the transition to sustainable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 43, pp. 666–675, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.089>
- [11] Bidmon, C.M., Knab, S. The three roles of business models for socio-technical transitions, New linkages between business model and transition research, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 178, pp. 903–916, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.198>
- [12] Parović, M., Uticaj pandemije virusa COVID-19 na pravednost energetske tranzicije država u razvoju, in *Proc. XXXVI međunarodno savetovanje Energetika*, Zlatibor, Srbija, pp. 438–445, 2021.
- [13] Lakić, A., Šapić, J. Model zadružnog organizovanja po meri samostalnih radnika. Zajedničko - Platforma za teoriju i praksu društvenih dobara, <https://zajednicko.org/wp-content/uploads/2022/02/publikacija.pdf> [pristupljeno 16.03.2022.]
- [14] Jovanović, B., Parović, M., Stanje i razvoj biomase u Srbiji 2010, Vašington D.C., Jefferson Institute, 2011.
- [15] 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>
- [16] Urban Europe, <https://jpi-urbaneurope.eu/ped/> [pristupljeno 20.03.2022.]
- [17] Christensen, M. H., Li, R., Pinson, P. Demand side management of heat in smart homes: Living-lab experiments. *Energy*, Vol. 195, 116993, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116993>
- [18] Rimac, G. Uloga i značaj Zajednica obnovljivih izvora energije u energetske tranziciji – neka zapažanja, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. XXIII, No. 4, pp. 64–69, 2021 <https://doi.org/10.46793/EEE21-4.64R>
- [19] Energetska zajednica - Elektropionir, <https://elektropionir.rs/> [pristupljeno 16.03.2022.]

## AUTORI/AUTHORS

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

# Značaj sistema daljinskog grejanja u periodima energetske krize: Studija slučaja za grad Skoplje

## The Importance of District Heating Systems in Periods of Energy Crisis: Case Study for the City of Skopje

Igor Shesho, Monika Uler-Zefikj, Risto Filkoski, Done Tashevski

Faculty of Mechanical Engineering, University "Ss Cyril and Methodius" in Skopje, Republic of North Macedonia

**Rezime** - Današnje energetske krize karakterišće njihov intenzitet, odnosno one za kratko vreme mogu izazvati značajne posledice na privredu i život u celini. Uticaji energetske krize se uglavnom ogledaju indirektno kroz neravnotežu u proizvodnji električne energije, koja je glavna komponenta i temelj svih društveno-ekonomskih procesa. Pored toga, trenutna koincidencija energetske krize (visoke cene prirodnog gasa) sa grejnom sezonom otkriva i naglašava značaj energije za grejanje. Cilj ovog rada je da analizira ulogu, prednosti i nedostatke postojećih sistema daljinskog grejanja sa kogeneracionim elektranama (CHP), kao važne karike u elektroenergetskom sistemu zemlje, posebno u vremenima energetske krize. U analizama se kao referentni sistem razmatra sistem daljinskog grejanja u Skoplju, Republika Severna Makedonija. Ocena uticaja na fluktuacija u potrošnji toplote u sistemu daljinskog grejanja na elektroenergetski sistem, vrši se korišćenjem simulacionog softvera za energetske modeliranje sistema daljinskog grejanja u Skoplju, u vezi sa podacima za godišnju (časovnu) potrošnju električne energije. Dodatna ekonomska procena se sprovodi kako bi se utvrdila troškovna konkurentnost sistema daljinskog grejanja sa drugim individualnim tehnologijama grejanja koje su dostupne u urbanim sredinama. Rezultati pokazuju da su sistemi daljinskog grejanja sa kogeneracijskim elektranama u gusto naseljenim urbanim sredinama troškovno optimalan sistem grejanja i izuzetno važna karika u energetskom lancu zemlje, koja obezbeđuje energetske stabilnost, uz potencijalne posledice u slučaju dužih (ne)predviđenih prekida rada.

**Ključne reči** - energetske krize, sistemi daljinskog grejanja, simulacija, kogeneracijske elektrane

**Abstract** - Nowadays energy crises are characterized by their intensity, i.e. for a short period of time they can cause significant consequences on the economy and overall living. The impacts of energy crisis are mainly reflected indirectly through misbalance in electrical energy production, which is main component and foundation for all socio-economic processes. In addition, the current coincidence of the energy crisis (high price of natural gas) with the heating season reveals and emphasizes the importance of the heating energy. The aim of this paper is to analyse the role, advantages and disadvantages of existing district heating (DH) systems with cogeneration power plants

(CHP), as an important link in the country power system, especially in times of energy crises. In the analyses as a reference system is considered the DH system in Skopje, Republic of North Macedonia. Assessment for the influence of the fluctuation in heat consumption in the DH system on the power system is performed by using simulation software for energy modelling of the district heating system in Skopje, linked with the data for yearly (hourly basis) electricity consumption. Additional economic assessment is conducted to determine cost competitiveness of DH system with other individual heating technologies available in urban areas. Results reveal that district heating systems with cogeneration power plants in densely populated urban areas are cost optimal heating system and extremely important link in country energy chain, providing energy stability, along with potential consequences in case of longer (un) foreseen interruptions in operation.

**Index Terms** - Energy crises, District heating systems, Simulation, Cogeneration power plants

### I INTRODUCTION

The system for district heat distribution and transmission represents capital good for the society providing consumers with heating energy leading to general comfort and satisfaction [1]. According to Eurostat, residential space and water heating together account for more than 80% of the final energy consumption in EU countries [2]. Heat Roadmap Europe projected that until 2050 half of the heating energy will be supplied by DH systems [3].

DH systems provide heat and hot water generated centrally by CHP to the consumers through a network of pipelines. Working in combined heat and power mode, a CHP plant may have a total efficiency of 85-90% resulting in an overall fuel saving of approximately 30%, compared to separate production of heat and electricity [4]. CHP coupled with DH systems had 98% balancing capacity on the power sector in 2020 and are estimated to have 84% in 2050 [4]. Also, heat produced in larger power plants, such as CHP is cheaper than in individual source [5]. For achieving additional decarbonization of the EU system the plan is to replace coal with biomass as the main fuel in the CHP plant until 2025 [4].

Compared to individual heating solutions, DH systems can use different types of fuels not being limited to one specific type, thereby taking advantage of the free price market. This leads to flexibility of DH production which is additionally increased by coupling DH systems with CHP and thermal storage [4, 6]. Additional advantages compared to the traditional heating systems are energy savings, implementation of control and regulation systems, and improved troubleshooting. DH systems have the potential to develop into smart DH systems and become an integral part of smart energy systems and energy grids [7]. According to the results from the assessment done by Famiglietti et al., DH systems will contribute to a 19% reduction of CO<sub>2</sub> emissions in the future [8]. The widespread use of district heating and combined heat and power is one of the main reasons why it has been possible to increase energy efficiency and reduce carbon emissions over the past decades.

The International Energy Agency estimated that the renewable energy systems (RES) input in DH sector will increase until 2025 up to 14%. Implementing seasonal storage will increase the share of renewable energy in DH systems [3]. Increasing energy efficiency and sustainability of DH systems can be achieved by implementing and maximizing the share of renewable energy sources in the system contributing to the reduction of GHG emitted [9]. There are numerous benefits from the use of renewable energy sources in the DH systems divided into several categories: environmental and systematic benefits, benefits related to energy security, and synergy with the urban environment. The environmental advantages are related to lowering CO<sub>2</sub> emissions leading to decreased urban air pollution thus reducing health costs, as well as setting clean energy targets. The systematic benefits refer to the correlation of DH systems with the electric and economy sector leading to cross-sectorial benefits which support the electric system, demand regulation, storage availability. By increasing energy security of DH systems, energy independence and diversification are achieved, as well as price stability [10].

In this paper three different scenarios will be analyzed regarding redistribution of heat consumption to different systems and sources of heat in case of long-term interruption in the operation of the DH system. As reference DH system is taken the system of the city of Skopje, R. Macedonia which will be described later in part II Background analysis. In order to assess the influence of the fluctuation in heat consumption in the DH system on the power system simulation software was used. Data about the software, as well as details about the input parameters are given in section III Materials and methods. Part IV Results and discussion gives additional economic assessment for determining the cost competitiveness of DH system with other individual heating technologies available in urban areas, together with the results from the simulation software.

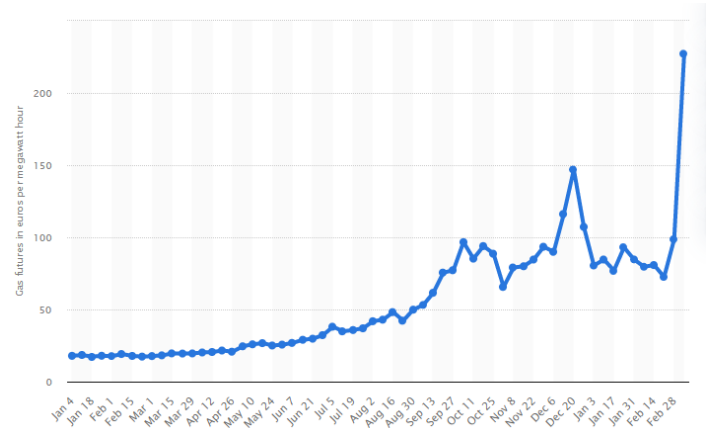
## II BACKGROUND ANALYSIS

At the end of 2021, as a result of several factors, an energy crisis begins, which is essentially a financial crisis, because there is enough energy but at a high price. The fact that the beginning coincides with the beginning of the heating season implies an additional intensity to this crisis, which raises a series of questions about the potential risks and dangers that lie ahead.

The issue of thermal energy users connected to the heating system is especially raised. A series of activities are being undertaken in order to amortize the price shocks from the increase of energy prices. In addition to the analysis of changes in the price of electricity, emphasis is placed on increases in heat prices for users of the heating system operated by Balkan Energy Group (BEG), as a system that serves a relatively large number of heat consumers.

The DH system of Skopje covers around 40% of the total heating needs of the city using distribution network in length of 200 km containing 2700 heating substations [11]. It is composed of three independent heating systems operated by BEG, ESM Energetika and Toplifikacija Skopje North. The heat supplying the DH system is generated by three heating plants and one CHP. The heating plants work on natural gas as primary fuel and fuel oil as reserve fuel in case of lack of natural gas. Heating plant „Toplana Istok“ is located in the eastern industrial zone of the city with hot water capacity installed of 279.12 MW. Heating plant „Toplana Zapad“ is placed in the western part of the city having installed heating capacity of 162.82 MW. Heating plant „11 Oktomvri“ is preserved since 2015 but can supply 28.25 MW of hot water capacity. In total, the three heating plants provide heating capacity of 470.19 MW. Additional heating and electricity are provided by the CHP „TE-TO“ AD Skopje working with combined cycle gas turbine (CCGT). It has 160 MW installed heat thermal capacity for district heating and 220 MW electrical power.

In the DH system, there are two distribution pipelines creating connection between the two heating plants. Pipeline A connects heating plant „Toplana Istok“ with Kozle pipeling from heating plant „Toplana Zapad“. Pipeline B connects heating plant „Toplana Istok“ to the pipeline „Partizanska“ from heating plant „Toplana Zapad“ [12].



**Figure 1.** Natural gas price trend from January 2021 - February 2022 [13]

The Regulatory Commission of Macedonia and the government have analyzed several possible solutions to mitigate the consequences of the crisis. Last until the moment of the analysis for this paper, as a decision of ERC, it was made that BEG recognizes the increase of the price of heat to be 14%, starting from January 2022, and the state to buy the electricity from the combined thermal power plant "TE-TO" AD Skopje at a price of

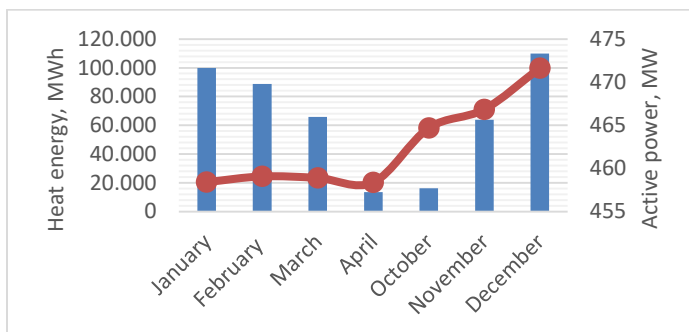
170 EUR/MWh. In the analyzed period when making these decisions, the price of natural gas is around 900 EUR/m<sup>3</sup>, price trend presented in Figure 1. However, after the indication of the company BEG that with the increase of 14% it will not be able to operate profitably, the state, i.e. the company owned by the state ESM will take over the operation and will subsidize and supplement the differences in the price of thermal energy.

The state subsidizing the price of thermal energy for the DH system in Skopje aims to amortize the dissatisfaction of the heat consumers, but also another important reason is to prevent the potential disconnection from the system in times of panic which can cause a domino effect and significant load on the power system. Hence the main motive for this paper is to quantify the potential load on the power system through the analysis of several scenarios. In addition, the LCOH methodology is used to compare the price of heat energy from the heating system with other potential (individual) devices and heat sources.

### III MATERIALS AND METHODS

For the needs of the analysis of potential scenarios, the simulation software EnergyPLAN - Advanced analysis of smart energy systems was used [14]. The software is developed for study and research in the design of future sustainable energy solutions. With EnergyPLAN, the user can take a holistic approach focusing on the analysis of cross-sectorial interaction. Traditionally disparate demand sectors, such as buildings, industry, and transport, are linked to supply technologies through electricity, gas, district heating, and cooling grids.

The input data in the energy modeling of the DH system are defined with the: total heat consumption, heat losses in the pipeline network and hourly normalized data on heat consumption. The total delivered thermal energy on the threshold of consumers is on average about 450,000 MWh/year, while the maximum active/ engaged power is about 480 MW. The following Figure 2 shows the monthly heat consumption for 2018.



**Figure 2.** Monthly distributed heat energy on consumer threshold

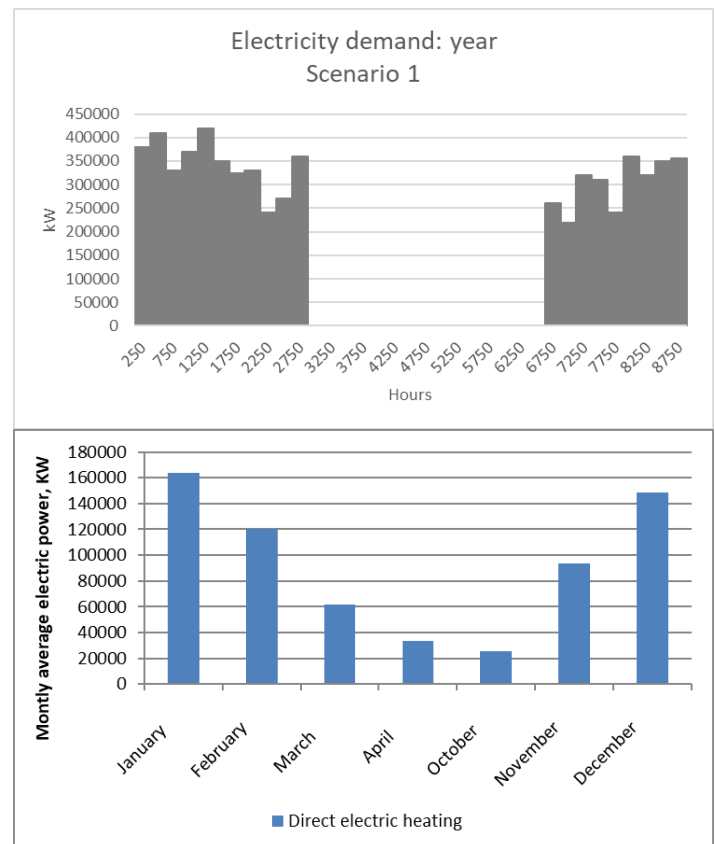
Based on the available data on heat consumption, the average specific heat consumption depending on the purpose of the building is in the range of 100-140 kWh/m<sup>2</sup>a, while the specific installed heat power is in the range of 100-140 W/m<sup>2</sup>.

In case of long-term interruption in the operation of the DH system, three scenarios are analyzed, for the possible

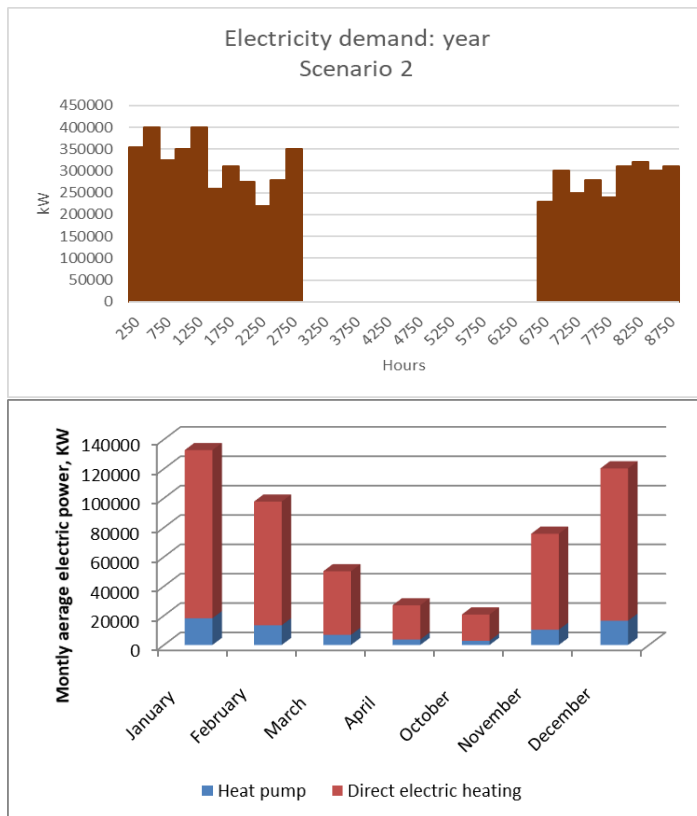
redistribution of heat consumption to different systems and sources of heat. Scenario 1 analyzes the most unfavorable energy situation, a case when all of the heat consume would migrate to direct utilization of electricity, with electric heaters and electric hot water boilers. In Scenario 2 it is adopted that 30% of the heat consumption will be heated by air-to-air heat pumps (air conditioners) with an average coefficient of performance of 2.7, while the rest will use direct electricity. Scenario 3 analyzes a case when 10% of the heat consumption is heated on biomass (wood) with an average efficiency of 80% of the devices, and 30% of the heat consumption with air-to-air heat pumps (air conditioners) and the rest directly on electric energy (electric heaters, electric hot water boilers).

### IV RESULTS AND DISCUSSION

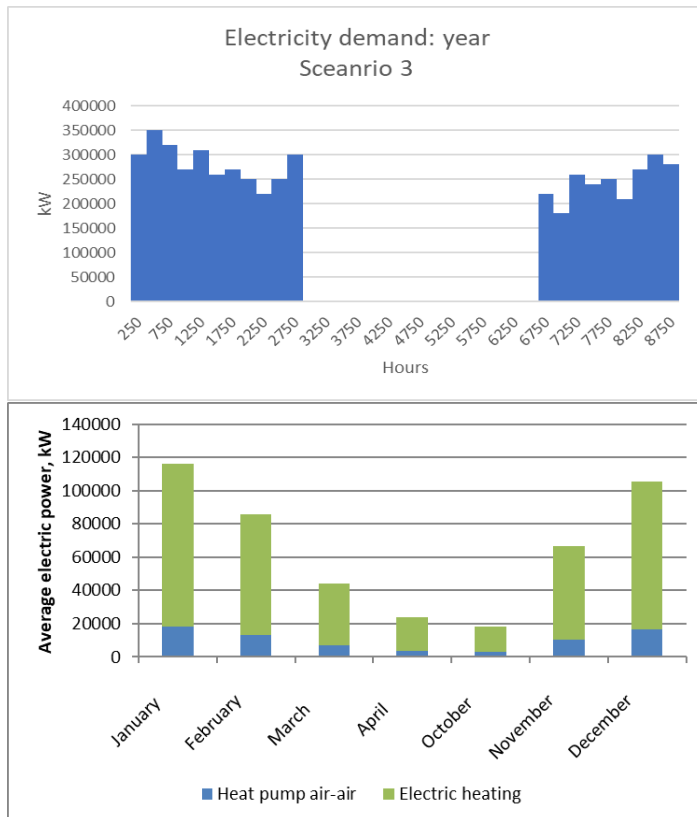
The three scenarios are dominated by individual heating systems with direct utilization of electricity because in general from a technical and economic point of view is practically the most acceptable way in terms of investment and construction. For each of the defined scenarios, an energy model is created in EnergyPLAN, where as basic data are entered the individual heat consumption and the normalized hourly data for heat consumption. Based on this data, a series of data can be read from the software, of which primarily important for this analysis is the electrical power that will burden the electrical power system. On Figure 3, Figure 4 and Figure 5 are presented average values for the required electric power, as well as hourly values for the required electric power.



**Figure 3.** Scenario 1 - Distribution of average monthly and annual hourly electric power from the heat consumers



**Figure 4.** Scenario 2 - Distribution of average monthly and annual hourly electric power from the heat consumers



**Figure 5.** Scenario 3 - Distribution of average monthly and annual hourly electric power from the heat consumers

According to the presented results, it can be noticed that the peak electric power would be in the range of 350 - 450 MW depending on the scenario. This additional electrical power is a serious burden for the transmission of the low-power city power grid and obviously brings into question the overall stability and functionality of the network.

Therefore, in urban areas where there is an existing heating system, such potential dangers should be taken into account and responded to in a timely manner. In order to avoid the potential mass disconnection from the heating system, it is necessary to provide a competitive price of the heat energy from the district heating systems in relation to the individual heating systems. Therefore, a calculation has been performed to determine the Levelised Cost of Heat (Energy) (LCOH) for several heat technologies.

LCOH could be used to compare the cost of energy generated by a renewable resource with that of a standard fossil-fueled generating unit. This method is widespread in comparing different energy generation technologies. It considers comparison of the total costs (fixed + variable) in reference to an energy supply system with the energy supplied by this system over its lifetime.

LCOH is used as technical and economical Key Performance Indicator (KPI) in this paper to define the optimal system configuration.

Levelised Cost of (Heat) Energy is:

$$C_R = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (1)$$

$$LCOE = \frac{C_R C_O + C_j}{E} \quad (2)$$

Where:

$C_j$  - total annual costs, [euro/year]

$C_o$  - investment costs, [euro/year]

$C_R$  - capital recovery factor, [euro]

$n$  - project lifetime, [years]

$i$  - discount rate

$E$  - produced energy (heat and electricity), [kWh/year]

Since multifamily residential buildings are dominant heat consumers of the DH system, for the calculations for LCOH it is considered reference apartment with an area of 70 m<sup>2</sup>. The investment costs and heat source (energy) prices are presented in Table 1.

In Table 1, the investment cost refers only to the costs for the heat source technology and for the heat emitters it is assumed that are radiators. It should be noted that the obtained results for LCOH for each of the analyzed technologies are presented on Figure 6.

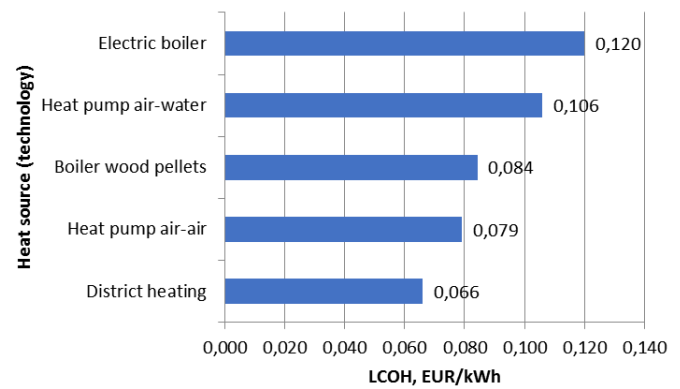
According to the results, it can be concluded that with the current market prices for the energy and investment for the analyzed technologies, the DH system has lowest LCOH.

It should be emphasized that the main contribution to the competitiveness of the heating system with the other analyzed

systems is the participation of the cogeneration plant in the production of heat. However, it should be noted that for the analyzed period there are certain subsidies from the state, but certainly the subsidies in addition to heating energy from the heating system have subsidies in the price of electricity. In addition, CHP have a significant role in times of energy crisis because they efficiently enable the production of heat and electricity. The closest competitor in terms of LCOH of the heating system is the system with air-to-air heat pumps (air conditioners). Of course, air conditioners have the advantage of providing cooling, but still some analyzes indicate that the DH system in combination with air conditioners for cooling has again lower total costs. This is because in the case of air conditioners that are provided for heating, the heating capacity must meet the heat losses at the outside design temperature, which in turn predicts oversizing the air conditioners on the cooling capacity and correspondingly have higher investment costs, compared to being used for cooling only. The system with the highest value for LCOH is the electrical hot water boiler. However, in the analysis of potential alternatives to DH systems in case of predictable and unpredictable complete interruptions in the operation of the system, the electric boiler (or electric heaters with similar efficiency) are selected for analysis, since in financial and installation aspect are practically the most applicable for most users.

**Table 1.** Input parameters for LCOH calculation

|                                    |                    |                      |
|------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Apartment area                     | 70                 | m <sup>2</sup>       |
| Specific heat energy consumption   | 100                | kWh/m <sup>2</sup> a |
| Specific heat load                 | 100                | W/m <sup>2</sup>     |
| Variable energy price - DH         | 0,035              | EUR/kWh              |
| Fixed price - DH                   | 20,9               | EUR/KW               |
| Specific DH price                  | 0,06               | EUR/kWh              |
| Electricity price - high           | 0,126              | EUR/kWh              |
| Electricity price - low            | 0,064              | EUR/kWh              |
| Wood pellet (Hd = 4,5 kWh)         | 0,25               | EUR/kg               |
| Wood pellet (Hd = 4,5 kWh)         | 0,056              | EUR/kWh              |
| Heat pump air-water COP (seasonal) | 3                  |                      |
| Heat pump air-air COP (seasonal)   | 2.7                |                      |
| <b>Investment cost</b>             |                    |                      |
| District heating                   | 500                | EUR                  |
| Electric boiler                    | 650                | EUR                  |
| Heat pump air to air               | 2500               | EUR                  |
| Heat pump air to water             | 4200               | EUR                  |
| Wood pellet boiler                 | 1050               | EUR                  |
| Operation and maintenance          | 2% from investment |                      |



**Figure 6.** LCOH for the analysed heat technologies

## V CONCLUSION

Analyzes have been made in order to determine the importance of DH systems with CHP in densely populated urban areas. The results indicate that DH systems with CHP are economically competitive in regard to heat energy prices compared to other available individual heating systems. Considering that DH has centralized heat production, it provides opportunity for relatively simple integration of RES in the production of heat and thus can significantly contribute toward decarbonization of the heating sector. DH systems have added value for densely populated urban areas since they also significantly contribute to the local reduction of air pollution and climate change. The results from the analysis indicate that in case of long-term interruptions of the DH system in Skopje, there could be relatively high burden on the electricity power network with peaks of 350 - 450 MW, which poses a serious threat to network stability. It can be concluded that DH systems in conjunction with cogeneration plants and renewable energy sources have potential for economic and environmental advantages over individual systems in densely populated urban areas.

## LITERATURA/REFERENCES

- [1] State of Green, "DISTRICT ENERGY - Green heating and cooling for urban areas," 2020, <https://stateofgreen.com/en/publications/district-energy/> [pristupljeno 4.04.2022]
- [2] Eurostat. Share of fuels in the final energy consumption in the residential sector, 2016 (nrg\_110a). 2016. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Share\\_of\\_fuels\\_in\\_the\\_final\\_energy\\_consumption\\_in\\_the\\_residential\\_sector\\_for\\_cooking\\_2016\\_\(%25\).png&oldid=378632](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Share_of_fuels_in_the_final_energy_consumption_in_the_residential_sector_for_cooking_2016_(%25).png&oldid=378632) [pristupljeno 4.04.2022]
- [3] Jodeiri, A. M., Goldsworthy, M. J., Buffa, S., Cozzini, M. Role of sustainable heat sources in transition towards fourth generation district heating - A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 158, 112156, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112156>
- [4] Boldrini, A., Jiménez Navarro, J. P., Crijns-Graus, W. H. J., van den Broek, M. A. The role of district heating systems to provide balancing services in the European Union, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 154, 111853, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111853>
- [5] Wojdyga, K., Chorzelski, M. Chances for Polish district heating systems, *Energy Procedia*, Vol. 116, pp. 106-118, 2017 <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.059>
- [6] District energy: Energy Efficiency for Urban Areas, 2016. [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/district\\_energy.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/district_energy.pdf) [pristupljeno 4.04.2022]
- [7] Gao, L. Cui, X., Ni, J., Lei, W., Huang, T., Bai, C., Yang, J. Technologies in Smart District Heating System, *Energy Procedia*, Vol. 142, pp. 1829-1834, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.571>

- [8] Famiglietti, J., Gerevini, L., Spirito, G., Pozzi, M., Dénarié, A., Scoccia, R., Motta, M. Environmental Life Cycle Assessment scenarios for a district heating network. An Italian case study, *Energy Reports*, Vol. 7, No. 4, pp. 368-379, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.094>
- [9] Pakere, I., Lauka, D., Dolge, K., Vitolins, V., Polikarpova, I., Holler, S., Blumberga, D. Climate Index for District Heating System, *Environmental and Climate Technologies*, Vol. 24, No. 1, pp. 406-418, 2020. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2020-0024>
- [10] Renewable Energy in District Heating and Cooling: A Sector Roadmap for Remap, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2017. [www.irena.org/remap](http://www.irena.org/remap) [pristupljeno 4.04.2022]
- [11] Grosse, R., Christopher, B., Stefan, W., Geyer, R. and Robbi, S., Long term (2050) projections of techno-economic performance of large-scale heating and cooling in the EU, EUR 28859 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, <http://dx.doi.org/10.2760/24422>.
- [12] Shesho, I., Tashevski, D., Filkoski, R., Uler-Zefikj, M. Integration of large-scale heat pumps in the district heating system of Skopje, in *Proc. 15th International Conference on accomplishments in mechanical and industrial engineering*, DEMI, Banja Luka, 2021.
- [13] Statista. Dutch TTF gas futures at the beginning of each week from January 4, 2021 to March 14, 2022. <https://www.statista.com/statistics/1267202/weekly-dutch-ttf-gas-futures/> [pristupljeno 9.04.2022]
- [14] Henrik Lund, Jakob Zinck Thellufsen, Poul Alberg Østergaard, Peter Sorknæs, Iva Ridjan Skov, Brian Vad Mathiesen, *EnergyPLAN - Advanced analysis of smart energy systems*, *Smart Energy*, Vol. 1, 100007, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100007>

#### AUTORI/AUTHORS

**Igor Shesho** - Associate professor, Department of Thermal Engineering, Faculty of Mechanical Engineering Skopje [igor.seso@mf.edu.mk](mailto:igor.seso@mf.edu.mk)

**Monika Uler-Zefikj** - Teaching assistant, Department of Thermal Engineering, Faculty of Mechanical Engineering Skopje [monika.uler-zefikj@mf.edu.mk](mailto:monika.uler-zefikj@mf.edu.mk), ORCID [0000-0002-0421-1142](https://orcid.org/0000-0002-0421-1142)

**Risto Filkoski** - Full professor, Department of Thermal Engineering, Faculty of Mechanical Engineering Skopje [risto.filkoski@mf.edu.mk](mailto:risto.filkoski@mf.edu.mk) ORCID [0000-0002-3743-318X](https://orcid.org/0000-0002-3743-318X)

**Done Tashevski** - Full professor, Department of Thermal Engineering, Faculty of Mechanical Engineering Skopje, [done.tashevski@mf.edu.mk](mailto:done.tashevski@mf.edu.mk)

# Energetski menadžment i ciljevi održivog razvoja

## Energy Management and Sustainable Development Goals

Radoslav Raković, Sanja Petrović Bećirević

Energoprojekt Entel a.d. Beograd

**Rezime** - Održivi razvoj postao je veoma aktuelna tema poslednjih godina u svetu. Koncept je prvo primenjen u oblasti zaštite životne sredine, ali se postepeno proširio i na druge oblasti društvenog života. Svest o potrebi rešavanja pitanja značajnih za opstanak planete dovela je na Samitu u Njujorku 2015. godine do usaglašavanja oko 17 globalnih ciljeva održivog razvoja. U ovom radu razmotreno je mesto i uloga energetskeg menadžmenta i odgovarajućih menadžment standarda sa aspekta ostvarivanja ciljeva održivog razvoja u okviru Agende 2030, pre svega ciljeva br 7: Dostupna i čista energija, br.11: Održivi gradovi i zajednice, br. 12: Odgovorna proizvodnja i potrošnja kao i br.13: Mere protiv klimatskih promena. Na kraju, dat je kratak osvrt na aktuelno stanje ove tematike u Srbiji.

**Ključne reči** - održivi razvoj, ciljevi održivog razvoja, agenda 2030, energetskeg menadžment, održivi razvoj zajednica

**Abstract** - During last several years, sustainable development has become a very actual topic in the world. The concept has been initially applied in the area of environmental protection but gradually it was spread to other areas of social life. At the 2015 World Summit in New York, officials agreed on the 17 global sustainable development goals as a result of awareness of the need to address issues crucial to the life of the planet. In this paper, position and role of energy management and appropriate management standards in implementation of sustainable development goals are considered; predominantly goals No 7: Affordable and clean energy, No 11: Sustainable cities and communities, No 12: Responsible Consumption and Production, and No 13: Climate actions. Finally, a short review of actual status of this topic in Serbia is provided.

**Index Terms** - Sustainable development, Sustainable development goals, Agenda 2030, Energy management, Sustainable development of communities

### I UVOD

Održivi razvoj (engl. *Sustainable Development*) postao je veoma aktuelna tema poslednjih godina u svetu. Koncept je prvo primenjen u oblasti zaštite životne sredine, ali se postepeno proširio i na druge oblasti društvenog života. Suština ovog koncepta je da svaku delatnost danas moramo obavljati tako da omogućimo da se ona može obavljati i sutra i za nekoliko decenija, kroz obnavljanje svega što je za to potrebno.

Svest o potrebi rešavanja pitanja značajnih za opstanak planete dovela je do održavanja Samita Ujedinjenih Nacija u Njujorku 2015. godine na kome je doneta Agenda održivog razvoja UN do 2030. godine, kojom je postignuta usaglašenost na svetskom nivou po pitanju 17 globalnih ciljeva održivog razvoja - COR (engl. *Sustainable Development Goals* - SDGs), slika 1 [1], koji predstavljaju okvir u kome bi čovečanstvo trebalo da se kreće ukoliko želi da opstane na Planeti Zemlji i zadrži dotadašnji način života.



Slika 1. Globalni ciljevi održivog razvoja [1]

Energetske tranzicije u Srbiji i izazovi koji se na tom putu moraju prevazići tesno su povezani sa principima primene dva sistema menadžmenta, sistemom menadžmenta zaštitom životne sredine (osnovni standard ISO 14001 [2]) i energetskeg menadžmenta (osnovni standard ISO 50001 [3]). Takođe, sam proces energetskeg tranzicije odvijaće se uporedo sa ostvarivanjem ciljeva održivog razvoja, a u mnogim segmentima oni će se preplati.

U radu je razmotreno mesto i uloga oblasti energetskeg menadžmenta i menadžment standarda koji se na tu oblast odnose na ostvarivanje ciljeva održivog razvoja u okviru Agende 2030. To se pre svega odnosi na ciljeve br 7: Dostupna i čista energija, br.11: Održivi gradovi i zajednica, br. 12: Odgovorna proizvodnja i potrošnja kao i br.13: Mere protiv klimatskih promena. Na kraju, dat je kratak osvrt na aktuelno stanje ove tematike u Srbiji.

## II POJEDINAČNI CILJEVI ODRŽIVOG RAZVOJA I MENADŽMENT STANDARD

### A. Globalna povezanost COR i MSS

Međunarodna organizacija za standardizaciju – ISO (engl. *International Standardization Organization*) objavila je preko osamdeset standarda za sisteme menadžmenta (engl. *Management System Standards* - MSS). Ovi standardi najdirektnije podržavaju tri dimenzije održivog razvoja [4]:

- *ekonomsku*, jer omogućavaju uspostavljanje infrastrukture kvaliteta u procesima proizvodnje kao i odvijanje međunarodne razmene
- *društvenu*, kroz promovisanje brige o zdravlju i blagostanju stanovništva
- *ekološku*, kroz uspostavljanje okvira za upravljanje zaštitom životne sredine, kako na nivou pojedinačnih kompanija tako i na nivou pojedinačnih država i sveta u celini.

U principu, svaki od ciljeva održivog razvoja povezan je neki način sa nekim od standarda menadžmenta, a neki se ostvaruju kroz veći broj standarda. Jedan od najkompleksnijih standarda u tom smislu predstavlja standard ISO 26000 ([5],[6]) posvećen društvenoj odgovornosti organizacija, jer sadrži više od 450 preporuka kojima daje smernice organizacijama kako da deluju i etički i transparentno da bi doprinele ostvarivanju ciljeva održivog razvoja. Ovaj standard praktično se odnosi na sve ciljeve održivog razvoja, prema ovom standardu organizacije se ne sertifikuju, ali mogu ostvariti značajne pomake u smislu prepoznatljivosti kao društveno odgovornog činioca, što utiče na njihovu reputaciju i tržišnu poziciju.

U nastavku je ukazano na pojedinačne ciljeve koji se realizuju u tesnoj povezanosti sa standardima energetskeg menadžmenta.

### B. COR07: Dostupna i čista energija

Pitanje pouzdanog i održivog snabdevanja energentima postalo je ove zime jedno od veoma važnih pitanja u svetu, jer se u njemu prepliću mnogi geo-strateški i politički interesi. U okviru ISO objavljeno je preko 200 standarda u segmentu koji se odnosi na energiju, pri čemu ćemo ovde izdvojiti dva menadžment standarda, već pomenuti standard ISO 50001 [3] za sisteme energetskeg menadžmenta i ISO 52000-1 [7] koji razmatra energetske performanse zgrada (engl. *Energy Performances of Buildings* – EPB).

Standard ISO 50001 [3] uspostavlja okvir koji omogućava da se na sistematičan način pristupi energetskeg menadžmentu, kroz sledeće ključne elemente:

- definisanje energetske politike, koja predstavlja izjavu najvišeg rukovodstva organizacije o namerama, usmerenjima i posvećenosti koje se odnose na energetske performanse organizacije,
- preispitivanje energetskeg stanja, koje obuhvata analizu potrošnje i korišćenja energije,
- identifikovanje oblasti značajne potrošnje i korišćenja energije (engl. *Significant Energy Use* – SEU),
- uspostavljanje početnog energetskeg profila (engl. *Energy Baseline* - EnB), koji predstavlja kvantitativnu referencu koja omogućava osnovu za poređenje energetske performansi,

- definisanje pokazatelja energetske performansi (engl. *Energy Performance Indicators* – EnPI) koji će se pratiti i meriti i koji omogućavaju iskazivanje stepena poboljšanja performansi,
- definisanje energetskeg ciljeva i ciljnih vrednosti, kao i akcionog plana za njihovo dostizanje, kao liste mera za povećanje energetske efikasnosti, sa zaduženim licima, rokovima i resursima koji su za to potrebni,
- definisanje plana prikupljanja energetskeg podataka, koji obuhvata listu merenja tj. šta će se meriti i na koji način.

Uspostavljanje navedenih elemenata, uz standardne mehanizme internih provera i preispitivanja od strane najvišeg rukovodstva, stvara bitne preduslove da se u punoj meri obezbede racionalna potrošnja i korišćenje energije.

Standard ISO 52000-1 [7] predstavlja okvir za sprovođenje aktivnosti energetskeg menadžmenta u građevinskoj industriji, s obzirom na poznatu činjenicu da se oko 40% energije troši u segmentu zgradarstva [8]. Iako sam standard razmatra energetske performanse novih i postojećih zgrada, polazi se od pretpostavke da je zgrade veoma teško učiniti energetske efikasnim ukoliko se o tome ne vodi računa već u fazi projektovanja i izgradnje objekata. Standard donosi sveobuhvatnu kategorizaciju objekata, podrazumevane uslove korišćenja, podelu objekata na zone, minimalne zahtevane energetske performanse i njihove granice [9].

### C. COR11: Održivi gradovi i zajednice

Održivi razvoj gradova i zajednica kao kompleksnih sistema predmet su grupe standarda čiji je cilj odgovorno i optimalno korišćenje resursa, poboljšanje kvaliteta života stanovništva, uključujući i zaštitu životne sredine, organizaciju saobraćaja i sl. Pored okvirnog standarda ISO 37101 [10] sa zahtevima i smernicama za korišćenje, tu su standardi posvećeni pokazateljima usluga i kvaliteta života ISO 37120 [11] sa posebnim standardima koji ih razmatraju za inteligentne (engl. *Smart*) gradove (ISO 37122 [12]), odnosno otporne (engl. *Resilient*) gradove ISO 37123 [13]. Ova tema razmotrena je u literaturi ([14],[15]).

Iako je standard ISO 37101 [10] na neki način okvirni u odnosu na standard ISO 37120 [11] sa indikatorima, jer se bavi celinom zahteva za menadžment sistem za održivi razvoj, pojavio se kasnije od njega. Razlog leži u činjenici da je standard ISO 37101 [10] namenjen zajednicama kako bi omogućio lakše definisanje sopstvenih ciljeva održivog razvoja i pripremu strategije za ostvarivanje tih ciljeva, dok su indikatori u tom smislu dragocena pomoć. Ovaj standard je u potpunosti strukturiran prema jedinstvenoj strukturi menadžment standarda izdatih u okviru ISO, uz napomenu da svaka „organizacija“ (preduzeće, grad, ...) mora da sagleda svoj kontekst kroz unutrašnja i spoljna pitanja, da prepozna sve zainteresovane strane unutar i van nje, da u procesu planiranja sistema sagleda rizike i prilike, da sprovede sistem kroz operativne aktivnosti i da ga poboljšava i unapređuje.

Specifičnost ovog standarda vidljiva je kroz razradu pitanja vezanih za održivost, koja su navedena u Tabeli 1 [10]. Ova pitanja ujedno su i osnova za postavljanje ciljeva koje bi zajednica trebalo da ostvari u smislu održivosti svog razvoja. Da

bi te ciljeve postigla, zajednica mora da osmisli strategiju kroz izradu akcionih planova, dodelu odgovornosti i merenje performansi (što ovaj standard povezuje sa standardom [11]).

**Tabela 1.** Pitanja vezana za održivost [10]:

| Stavka | Opis pitanja vezanog za održivost                  |
|--------|----------------------------------------------------|
| 4.6.1  | Opšte                                              |
| 4.6.2  | Upravljanje, ljudski resursi i angažovanje         |
| 4.6.3  | Edukacija i izgradnja kapaciteta                   |
| 4.6.4  | Inovacije, kreativnost i istraživanje              |
| 4.6.5  | Zdravlje i zaštita u zajednici                     |
| 4.6.6  | Kultura i identitet zajednice                      |
| 4.6.7  | Zajednički život, međusobna zavisnost i uzajamnost |
| 4.6.8  | Ekonomija i održiva proizvodnja i potrošnja        |
| 4.6.9  | Životna i radna sredina                            |
| 4.6.10 | Bezbednost i zaštita                               |
| 4.6.11 | Infrastruktura u zajednici                         |
| 4.6.12 | Mobilnost                                          |
| 4.6.13 | Biodiverziteti i ekosistemi                        |

Generalni cilj i prva korist od primene standarda ISO 37101 [10] jeste stvaranje budućnosti zajednice koja je održiva. Dakle, nije reč o kratkoročnim efektima koji se postižu u mandatu političke strukture koja je na čelu lokalnih zajednica, već o dugoročnoj orijentaciji koja zahteva mnogo rada i ulaganja da bi se efekti videli u budućnosti. Pored globalne, primena standarda donosi i druge koristi za zajednicu:

- stvaranje potrebnih struktura unutar zajednice koje će voditi računa o procesima održivog razvoja,
- uključivanje svih zainteresovanih strana kako bi se problematika svestrano sagledala i uvažili specifični interesi,
- razmena iskustava sa drugima jer primena najbolje međunarodne prakse i zajedničkih indikatora pruža mogućnost za poređenje sa drugima kao podsticajni faktor,
- kolektivnost u donošenju odluka od najšireg interesa.

Suština standarda ISO 37120 [11] ogleda se u definisanju metodologije i grupe indikatora kojima se prate i mere performanse usluga gradova i kvaliteta života. Donošenje ovog standarda inicirano je potrebom da se utvrde ujednačeni elementi koji bi omogućiti poređenje ovih performansi za različite gradove, ali ne sa ciljem da se oni međusobno takmiče već kao alat za gradske menadžere, urbaniste, projektante, itd. kako bi lakše pripremali i donosili odluke vezane za razvoj ovih gradova, uz uvažavanje svih njihovih specifičnosti. Standard definiše ukupno 104 indikatora, od kojih su 45 obavezni (engl. *Core Indicators* - CI) u praćenju i izveštavanju, a 59 su prateći - poželjni, ali ne i obavezujući (engl. *Supporting Indicators* - SI).

Indikatori su grupisani u 17 tema, poglavlja 5-21, a glava 7 posvećena je indikatorima u segmentu energetike, čiji je tabelarni prikaz dat u Tabeli 2.

**Tabela 2.** Indikatori vezani za energiju

| 7   | Energija                                                                               |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 7.1 | Ukupna rezidencijalna korišćena energija po glavi stanovnika (CI)                      |
| 7.2 | Procenat stanovništva koji koristi ovlašćenu uslugu u oblasti električne energije (CI) |
| 7.3 | Potrošnja energije u javnim objektima (CI)                                             |
| 7.4 | Procentualni udeo ukupne energije iz obnovljivih izvora u potrošnji (CI)               |
| 7.5 | Ukupno korišćenje energije po glavi stanovnika (SI)                                    |
| 7.6 | Prosečan godišnji broj prekida u električnoj mreži po korisniku (SI)                   |
| 7.7 | Prosečna trajanje prekida u električnoj mreži (SI)                                     |

Pored navedenih, standard predviđa i korišćenje tzv „indikatora profila“ (engl. *Profile Indicators*) kao što su stanovništvo, bruto društveni proizvod, i sl. kako bi gradovi mogli da imaju jasan uvid u podatak koji bi od gradova bio najbliži njima kako bi bio najpogodniji za poređenje.

Ono što posebno treba naglasiti jeste da standard ne definiše koji su to nivoi indikatora koje bi trebalo dostići – jednostavno, kroz indikatore grad može da se uporedi sa drugima, sebi sličnima, da vidi gde se nalazi i da određenim merama pokuša da poboljša svoje performanse. Pri tome treba imati u vidu da svaki nivo performansi ima svoju cenu, svako ulaganje trebalo bi da da efekat koji ga opravdava, ili ga u suprotnom ne treba realizovati.

#### D. COR12: Odgovorna proizvodnja i potrošnja

Ovaj cilj odnosi se na izbalansiranost potrošnje i proizvodnje kako bi se podsticalo korišćenje obnovljivih i racionalno korišćenje neobnovljivih resursa. On se generalno odnosi na sve vrste resursa, pa i na resurse vezane za neobnovljive i obnovljive izvore energije. U ovom segmentu treba skrenuti pažnju na standarde ISO 20400 [16] koji se odnosi na održivu nabavku i standard ISO 15392 [17] koji se odnosi na održivost u građevinarstvu tj. na održivost zgrada i drugih građevinskih radova tokom celog životnog veka objekta, uz već pomenuti standard ISO 52000-1 [7].

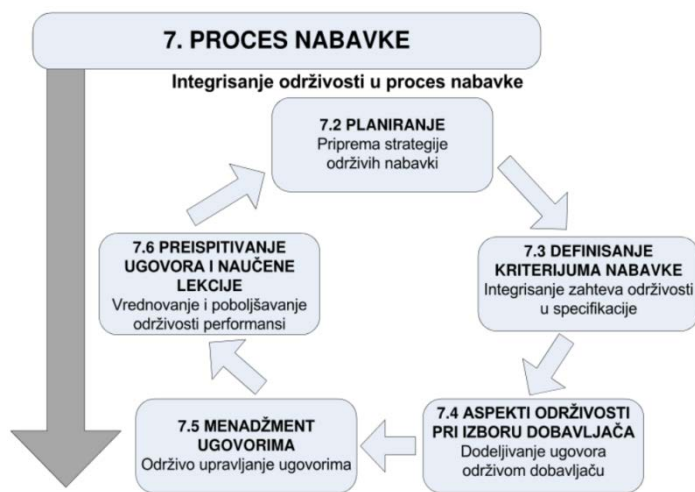
Standard ISO 20400 [16] namenjen je svima koji su uključeni u donošenje odluka i procese nabavke, kao i onima na koje pomenute odluke utiču. Navedeni dokument pomaže u razumevanju pojma održive nabavke, uticaja na održivost i doprinosi identifikovanju najboljeg načina sprovođenja održivih nabavki. U standardu je dato 12 glavnih principa i 7 ključnih tema održivih nabavki.

Na slici 2 prikazana je struktura glave 7 predmetnog standarda koja se bavi najznačajnijim segmentom tj. integrisanjem održivosti u proces nabavke.

Integrisanje održivosti u politiku i strategiju organizacije,

organizovanje funkcije nabavke u svrhu održivosti, kao i integrisanje održivosti u proces nabavke predstavljene su kao posebne tačke ovog standarda. U okviru njih se, između ostalog, daju smernice za sledeće:

- menadžment rizicima i njegov cilj,
- karakteristike pristupa za postavljanje prioriteta,
- identifikovanje zainteresovanih strana,
- merenje performansi i aktivnosti izveštavanja,
- efikasni mehanizmi žalbi,
- analize troškova, potreba za određenom robom ili uslugama i tržišta
- elementi strategije snabdevanja nekog projekta nabavke
- minimalni i opcioni zahtevi,
- izbor odgovarajuće procedure vrednovanja,
- izbor isporučilaca,
- faze upravljanja ugovorom,
- redovna preispitivanja ugovora.



Slika 2. Integrisanje održivosti u proces nabavke [16]

Standard ima 3 priloga - Prilog A, koji sadrži pitanja vezana za održive nabavke i mere koje funkcija nabavke može preduzeti u vezi sa ključnim temama standarda ISO 26000, Prilog B koji sadrži pregled ISO 26000 [5], i Prilog C koji sadrži konkretan primer pristupa pitanju održivosti.

U skladu sa standardom ISO 15392, održivost u građevinarstvu zasniva se na sledećim opštim principima [17]:

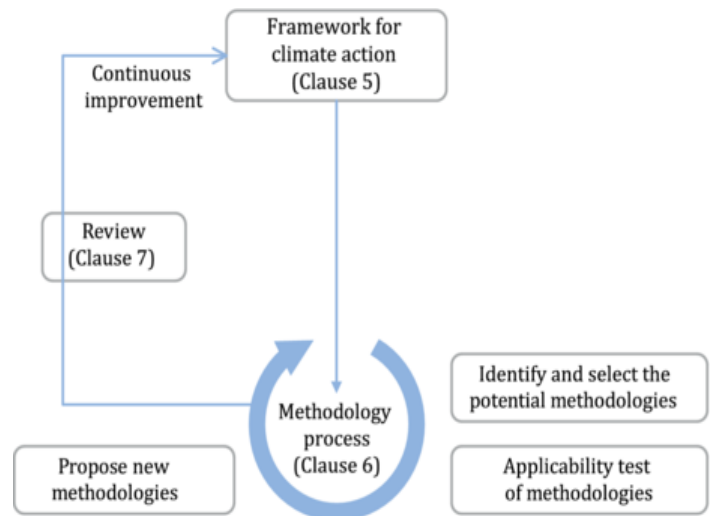
- stalna poboljšanja,
- kapital (finansijski resursi),
- globalno razmišljanje i lokalno delovanje,
- sveobuhvatni pristup,
- uključivanje zainteresovanih strana,
- dugoročna razmatranja i prilagodljivost,
- menadžment rizicima,
- odgovornost,
- transparentnost.

U primeni opštih principa, standard promoviše integrisano razmatranje ekonomskih, ekoloških i društvenih aspekata

održivosti. Pored toga, standard sadrži smernice za primenu opštih principa i dva informativna priloga vezana za skup dokumenata za održivost u zgradarstvu i građevinskim radovima (Prilog A) i smernice za planiranje u celom životnom veku objekata (Prilog B).

#### E. COR13: Mere protiv klimatskih promena

Borba protiv klimatskih promena je tema koja se poslednjih godina često pominje na međunarodnim skupovima na najvišem nivou. Pored osnovnog standarda za zaštitu životne sredine ISO 14001 [2], donet je niz drugih standarda kao što su ISO 14064-1 [18] koji se odnosi na emisiju gasova sa efektom staklene bašte (engl. *Green House Gases* – GHG), ISO 14067 [19] koji se odnosi na karbonski otisak proizvoda, kao i ISO 14080 [20] koji sadrži metodologiju borbe protiv klimatskih promena. U toku 2020. godine na nivou ISO donete su i posebne smernice ISO Guide 84 [21] koje definišu uključivanje klimatskih promena u standarde, što samo po sebi svedoči o značaju koji se ovoj temi pridaje.



Slika 3. Globalni okvir za borbu protiv klimatskih promena [21]

Standard ISO 14064-1 [18] definiše smernice na nivou organizacije koje se odnose na kvantifikaciju emisije GHG i njeno smanjenje. Promoviše principe relevantnosti, kompletnosti, konzistentnosti, tačnosti i transparentnosti, a bavi se uspostavljanjem okvira za evidentiranje direktnih i indirektnih emisija GHG, njihove kvantifikacije i smanjenja kao i izveštavanja o tim procesima.

Standard ISO 14067 [19] odnosi se na „karbonski otisak“ proizvoda (engl. *Carbon footprint* - CFP) i metodologije njegove kvantifikacije. Ovaj pojam odnosi se na količinu ugljen dioksida koji se emituje u atmosferu u procesu proizvodnje posmatranog proizvoda i veoma je značajna u procesu dekarbonizacije tj. smanjenja i/ili potpune eliminacije proizvodnje zasnovane na ugljeniku, a sve u cilju sprečavanja procesa globalnog otopljanja i klimatskih promena. Principi su veoma slični kao i u prethodno navedenom standardu, s tim što se uključuje i segment životnog ciklusa proizvoda, od njegovog nastajanja do odlaganja.

Standard ISO 14080 [20] sadrži okvir i principe borbe protiv klimatskih promena. Okvir se odnosi na uspostavljanje politike, strategije, regulative, ciljeva i obuhvata te borbe, a principi se odnose na okvir za izbor metodologija, testiranje njihove primenljivosti, sagledavanje potrebnih resursa, unapređenje metodologije i njeno stalno preispitivanje.

Smernice u okviru dokumenta ISO Guide 84 [21] definišu uključivanje klimatskih promena u menadžment standarde. Na slici 3 prikazan je globalni tok tog procesa, orijentisan ka uspostavljanju instrumenata u okviru standarda koji bi omogućili sistematičan pristup i kontrolisano vođenje postupka ka ostvarivanju željenih ciljeva - uspostavljanje okvira, definisanje metodologije (izbor od više mogućih), njena primena i preispitivanje, sa ciljem ostvarivanja stalnih poboljšanja.

### III OSTVARIVANJE CILJEVA ODRŽIVOG RAZVOJA U SRBIJI

Interesantno je pogledati kakvo je aktuelno stanje u Srbiji kada je u pitanju ostvarivanje navedenih ciljeva. Osnovne informacije sadržane su u dokumentima [22]-[25], koji su formirani u periodu 2017-2020. godine i obuhvataju period od prvih 5 od ukupno 15 godina za realizaciju Agende 2030.

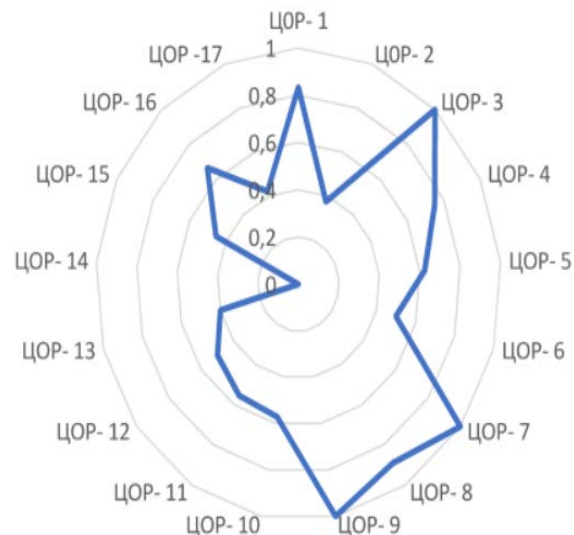
Početni koraci na sprovođenju Agende 2030. godine u Srbiji bili su orijentisani ka uspostavljanju nacionalnih mehanizama. Hronologija najbitnijih događaja bila je sledeća [22]:

- Vlada Srbije je krajem 2015. godine osnovala Međuresorsku radnu grupu za sprovođenje Agende, koja je uključila 27 resornih ministarstava i institucija.
- Tokom 2017. godine formirana je Fokus grupa Narodne Skupštine Srbije za razvoj kontrolnih mehanizama i nadzor implementacije ciljeva održivog razvoja i sprovedeno je mapiranje nacionalnog strateškog okvira u odnosu na ciljeve [23].
- U toku 2018. godine organizovana je poseta MAPS misije (engl. *Mainstreaming Acceleration and Policy Support*) sa ciljem analize implementacije ciljeva.
- U toku 2019. godine pripremljen je prvi Dobrovoljni nacionalni izveštaj (engl. *Voluntary National Report – VNR*) i sprovedeno je mapiranje ciljeva održivog razvoja sa planskim okvirom EU integracija [24].
- U toku 2020. godine generisan je izveštaj o pripremljenosti Srbije za sprovođenje Agende [25].

U okviru mapiranja nacionalnog strateškog okvira u odnosu na ciljeve [23], izvršeno je grupisanje ciljeva u četiri oblasti – ekonomski rast (ciljevi 8, 9), razvoj ljudskih resursa (ciljevi 1-5 i 10), životna sredina i klima (6,7, 11-13 i 15) i institucije, finansije i saradnja (16,17). U okviru predmetnog dokumenta navedeno je 75 obrađenih strategija i procenjena je pokrivenost ciljeva strateškim okvirom na prosečnom nivou od 62%.

Na slici 4 [23] prikazan je nivo pokrivenosti po pojedinim ciljevima iz koga se vidi da je raspon od 0% (cilj 14 uopšte nije pokriven) do 100 % (ciljevi 3, 7 i 9). Pored COR07 koji je pokriven strateškim okvirom 100%, pokrivenost ciljeva COR11 do COR13 po ovom dokumentu nalazi se u rasponu od 40-60% što ukazuje na to da predstoji ozbiljan rad na donošenju strateških dokumenata za ove oblasti.

### Покривеност ЦОР стратешким оквиrom РС



Slika 4. Pokrivenost COR strateškim okvirom u Srbiji [23]

Mapiranje ciljeva održivog razvoja sa planskim okvirom EU integracija [24] donosi nešto drugačiji pogled na grupisanje ciljeva održivog razvoja – solidarni i ostvareni ljudi (ciljevi 1,3-5 i 10), dinamičan privredni rast i pristojna zarada za sve (ciljevi 2,4,8,9 i 16), životna sredina dobra za zdravlje i potomstvo (6, 7, 11-15) i uređena demokratska zemlja (5, 16 i 17), uz određena preklapanja grupa kod nekih od ciljeva. Zaključak je da su proces društveno ekonomskog rasta i proces reformi na evropskom putu različiti, ali se međusobno prožimaju i uslovljavaju.

Iz strukture samog dokumenta “Mapiranje COR sa planskim okvirom EU integracija” [24] mogu se uočiti ključni elementi mape puta Srbije prema EU i njene povezanosti sa COR, a to su:

- izgradnja snažnih institucija koje istovremeno predstavljaju i cilj i najvažnije sredstvo za napredak,
- dinamička privreda,
- znanje kao proizvod čija proizvodnja najviše raste,
- gradovi kao lokomotive regionalnog razvoja,
- industrija koja razvija ljude, sa inostranim i/ili domaćim kapitalom,
- agroindustrijska sila u nastajanju, sa prepoznatljivim kvalitetom proizvoda (voća i povrća).

Izveštaj o pripremljenosti Srbije za sprovođenje Agende [25] formiran 2020. godine ocenjavao je pripremljenost Srbije po pojedinim ciljevima održivog razvoja kroz okvir javnih politika, pravni okvir, institucionalni koordinacioni mehanizam i mehanizme za praćenje napretka i izveštavanje. Sažeti prikaz rezultata prikazan je na slici 5 [25].

Sa slike se može videti da je za 16 ciljeva (COR01-COR16) i 4 okvira tj. od ukupno 64 stavke, data procena u tri nivoa – da li je okvir za predmetni cilj uspostavljen potpuno ili u najvećoj meri, (✓), delimično (✓) ili nije uspostavljen (✗). Može se videti da 6 ocena ukazuje na potpuno ili u velikoj meri uspostavljen okvir za dati cilj, 11 ocena ukazuje da nije uspostavljen okvir za taj cilj, a preostalih 47 ocena je na nivou delimično uspostavljenog okvira

za dati cilj. Jasno je da postoji dosta prostora za napredak, a izveštaj sadrži 8 preporuka o kojima bi trebalo voditi računa.

|                                                | OKVIR<br>JAVNIH<br>POLITIKA | PRAVNI<br>OKVIR | INSTITUCIONALNI,<br>KOORDINACIONI<br>MEHANIZMI | MEHANIZMI<br>ZA PRAĆENJE<br>NAPRETKA I<br>IZVEŠTAVANJE |
|------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Cilj 1: Svet bez siromaštva                    | ✓                           | ✓               | ✗                                              | ✓                                                      |
| Cilj 2: Svet bez gladi                         | ✓                           | ✓               | ✗                                              | ✓                                                      |
| Cilj 3: Dobro zdravlje                         | ✓                           | ✓               | ✗                                              | ✓                                                      |
| Cilj 4: Kvalitetno obrazovanje                 | ✓                           | ✓               | ✓                                              | ✓                                                      |
| Cilj 5: Rodna ravnopost                        | ✓                           | ✓               | ✓                                              | ✓                                                      |
| Cilj 6: Čista voda i sanitarni uslovi          | ✓                           | ✓               | ✓                                              | ✓                                                      |
| Cilj 7: Dostupna i obnovljiva energija         | ✓                           | ✓               | ✓                                              | ✓                                                      |
| Cilj 8: Dostojanstven rad i ekonomski rast     | ✓                           | ✓               | ✗                                              | ✗                                                      |
| Cilj 9: Industrija, inovacije i infrastruktura | ✓                           | ✓               | ✓                                              | ✓                                                      |
| Cilj 10: Smanjenje nejednakosti                | ✗                           | ✓               | ✗                                              | ✓                                                      |
| Cilj 11: Održivi gradovi i zajednice           | ✓                           | ✓               | ✓                                              | ✗                                                      |
| Cilj 12: Odgovorna potrošnja i proizvodnja     | ✓                           | ✓               | ✓                                              | ✓                                                      |
| Cilj 13: Akcija za klimu                       | ✗                           | ✓               | ✓                                              | ✗                                                      |
| Cilj 14: Život pod vodom                       | ✓                           | ✓               | ✓                                              | ✗                                                      |
| Cilj 15: Život na zemlji                       | ✓                           | ✓               | ✓                                              | ✓                                                      |
| Cilj 16: Mir, pravda i snažne institucije      | ✓                           | ✓               | ✓                                              | ✓                                                      |

✓ Potpuno ili u velikoj mjeri uspostavljen okvir za dati cilj  
 ✓ Delimično uspostavljen okvir za dati cilj  
 ✗ Nije uspostavljen okvir za dati cilj

Slika 5. Pripremljenost Srbije za sprovođenje Agende 2030 [25]

Kada je reč o ciljevima COR07, COR11-13 koji su predmet ovog rada, situacija je sledeća, slika 4:

- COR07-Dostupna i čista energija: Pravni okvir je uspostavljen u punoj mjeri, dok je u ostala tri okvira uspostavljen samo delimično,
- COR11-Održivi gradovi i zajednice: Pravni i institucionalni okviri uspostavljeni su u punoj mjeri, okvir javnih politika samo delimično, dok mehanizmi za praćenje nisu uspostavljeni,
- COR12-Odgovorna proizvodnja i potrošnja: Sva četiri okvira uspostavljena su samo delimično,
- COR13-Mere protiv klimatskih promena: Pravni i institucionalni okvir uspostavljeni su delimično, a okvir javnih politika i mehanizmi za praćenje nisu uspostavljeni.

Krajem 2020. godine objavljen je izveštaj o napretku u ostvarivanju ciljeva održivog razvoja [22], koji je izdao Republički zavod za statistiku (RZS). Uspostavljena je Internet platforma [26] na kojoj se može pratiti aktuelno stanje indikatora održivog razvoja po ciljevima.

Od ukupno 247 indikatora dostupno je 107, a ocena napretka sprovodi se po 7 kategorija (ostvaren cilj, značajan napredak,

umeren napredak, umereno udaljavanje od cilja, značajno udaljavanje od cilja, nekonzistentni trendovi, nemogućnost izračunavanja zbog nedovoljne serije podataka).

#### IV IZAZOVI ENERGETSKE TRANZICIJE U SRBIJI

Ključno pitanje sa kojim se sektor energetike suočava u ostvarivanju ciljeva održivog razvoja jeste tranzicija prema proizvodnji “zelene” energije što podrazumeva dekarbonizaciju tj. smanjenje učešća uglja kao energenta, digitalizaciju procesa proizvodnje, transporta i distribucije energenata, kao i demokratizaciju, odnosno aktivno uključivanje potrošača u celokupan sistem. U nastavku je naveden kratak osvrt na literaturu iz koje se može videti da se u Srbiji i regionu ova pitanja intenzivno razmatraju.

U radu [27] ukazano je da je energetska politika veoma bitna komponenta u ostvarivanju održivog razvoja i navedeni su pozitivni (Danska) i negativni primeri (USA, Kina) koji ukazuju kako mere donete na nivou države i način na koji su one implementirane mogu uticati na ostvarivanje ciljeva održivog razvoja. Ključna ideja je da mere usmerene na zaštitu životne sredine ne moraju imati negativan uticaj na ekonomski rast i razvoj ukoliko se uspešno implementiraju.

Sagledavajući najveće izazove energetske tranzicije u Srbiji, autori su, u radu [28], ukazali na tri segmenta – kompetentno gazdovanje energetskim potencijalima (depolitizacija tj. ukidanje partijskog upravljanja), tehnološka modernizacija i ekologizacija energetskog sistema. U tom procesu svi imaju svoju ulogu – država kroz energetska politiku, koja bi podsticala energetska efikasnost, kompanije kroz proces restrukturiranja usmeren na efikasnije poslovanje, tehnološki moderniju energetiku, čistu energiju i energetska efikasnost, građani kroz svest da dosadašnja cenovna politika ne može da stvori potrebne preduoslove za obavljanje energetske tranzicije, što je tesno povezano sa omasovljenjem nove energetske kulture.

Sprovođenje energetske tranzicije podstaknuto je na evropskom nivou kroz Evropski zeleni plan koji se prenosi na pojedine zemlje kroz nacionalne energetska klimatske planove (engl. *National Energy Climate Plans* – NECP). U radu [29] autori su analizirali aktuelno stanje u tom pogledu u zemljama Zapadnog Balkana i došli do zaključka da se u pripremi NECP dokumenata najdalje otišlo u Severnoj Makedoniji i Crnoj Gori, a da je u Srbiji i Bosni i Hercegovini ostvaren mali napredak. Autori ističu da je najveće zaostajanje ovih zemalja po pitanju energetske tranzicije prisutno u oblastima instaliranih kapaciteta fotonaponskih panela i aukcijama za nove kapacitete, neto merenjima i neto obračunavanjima potrošnje, demokratizaciji energije kroz energetska zadruge i pripremanje dokumenata NECP. Sve to može dovesti do sporova sa Energetskom zajednicom i do uvođenja taksi na emisiju ugljen dioksida.

Već je navedeno da je dekarbonizacija tj. smanjenje i/ili eliminacija korišćenja uglja kao energenta veoma važna komponenta energetske tranzicije. O uključenosti Srbije u razmatranje ovih pitanja svedoče radovi [31] i [32].

Imajući u vidu da proces energetske tranzicije sa sobom nosi niz značajnih tehnoloških, ekoloških, ekonomskih, socijalnih i drugih problema, EU je kroz program Horizont 2020 pokrenula

više projekata a jedan od njih je TRACER [30] koji ima za cilj da pokaže primere najboljih istraživačko-inovacionih strategija za prelazak na niskougljeničnu praksu. U ovaj projekat uključeni su i istraživači iz Srbije [31] jer je jedan od 14 regiona iz 9 država koji je analiziran i region Kolubarskog basena. Razmotreni su društveni, ekonomski i energetske aspekti tog procesa, aktuelno stanje zakonske regulative u ovoj oblasti uključujući i strategiju pametne specijalizacije. Zaključeno je da je potpuna zamena energije proizvedene iz uglja korišćenjem gasa, hidro energije i obnovljivih izvora energije (Sunce, vetar) u Srbiji do 2050. godine teško dostižan cilj i da je mnogo realističnije sporije postepeno napuštanje uglja kao energenta.

Najčešća zamerka dekarbonizaciji i masovnoj primeni obnovljivih izvora energije jeste varijabilnost njihove snage generisanja i oscilacije prisutne u njihovom dnevnom dijagramu proizvodnje [32]. Zato su se autori ovog rada pozabavili temom optimalnog odnosa u mešovitoj proizvodnji energije iz vetra i monofacijalnih, odnosno bifacijalnih solarnih elektrana. Na osnovu uvedenih pretpostavki i razmatranja autori su došli do optimalnog miksa od 1/3 instalisanih kapaciteta iz vetra i 2/3 iz bifacijalnih solarnih elektrana i to su označili više kao okvir za buduća istraživanja na ovu temu nego univerzalno pravilo.

Postizanje ciljeva održivog razvoja i energetske efikasnosti podrazumeva i korišćenje odgovarajućih alata koji omogućuju istraživanje scenarija u energetskom sektoru. Jedan od tih alata je i Energovizija MB, prezentovan u radu [33]. Nakon prikaza istorijskih razloga koji su doveli do razvoja paradigme energetske efikasnosti i analize situacije u Srbiji, uključujući i zakonsku regulativu (zakoni, strategije, uredbe), autor je obrazložio primenu *backcasting* metodologije kao alata koji uključuje sve aktere bitne za razvoj i to u ranoj razvojnoj fazi. Razvoj se odvija kroz niz razvojnih koraka kao što su strateško opredeljenje, orijentacija na buduće potrebe, razvoj vizije budućnosti, postavljanje alternativnih rešenja, istraživanje njihovih uskih grla, izbor optimalne opcije i definisanje akcionog plana. U primeni metodologije analizirana su tri stanja – stanje A (aktuelno stanje 2020.), stanje B (na kraju razmatranog vremenskog perioda, 2232.) i kontrolno stanje C (2113.) – pri čemu je za svako stanje procenjen broj stanovnika, cena energije na svetskom tržištu, prosečna godišnja proizvodnja po glavi stanovnika, godišnji domaći bruto proizvod, proizvodnja iz neobnovljivih izvora i proizvodnja iz obnovljivih izvora. Razmotrena su tri scenarija vezana za primenu energetske efikasnosti koji se odnose na smanjenje potrošnje za 0,35%, 0,95%, odnosno 1,68% u odnosu na prethodnu godinu. Analize pokazuju [33] da će Srbija u budućnosti sve više svoj razvoj zasnivati na uvozu energenata i energije.

#### V ZAKLJUČAK

Na osnovu svega iznetog može se zaključiti da menadžment standardi vezani za energetske menadžment predstavljaju značajan element za implementaciju ciljeva održivog razvoja uspostavljenih Agendom 2030 UN. Republika Srbija nalazi se u početnoj fazi ostvarivanja navedenih ciljeva i uz ocene napretka koje otvaraju dosta prostora za poboljšanja u preostalih desetak godina. Od stepena tog napretka u značajnoj meri zavisiće kvalitet života stanovništva u našoj zemlji.

#### LITERATURA/REFERENCES

- [1] UN General Assembly, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 17th Session, Resolution 70/12015, <https://sdgs.un.org/2030agenda> [pristupljeno 11.03.2022]
- [2] ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use, <https://www.iso.org/standard/60857.html> [pristupljeno 11.03.2022]
- [3] ISO 50001:2018 Energy Management Systems - Requirements with guidance for use, <https://www.iso.org/standard/69426.html> [pristupljeno 11.03.2022]
- [4] Doprinos ciljevima UN-ovog održivog razvoja sa ISO standardima, Institut za standardizaciju BiH, 2018 <https://isbih.gov.ba/uploads/dokumenti/Publikacije/promotivne/doprinos-ciljevima-unovog-odrzivog-razvoja-s-iso-standardima.pdf> [pristupljeno 11.03.2022]
- [5] ISO 26000: Guidance on social responsibility, <https://isoupdate.com/standards/iso-26000/> [pristupljeno 11.03.2022]
- [6] Raković, R. *Integrisani sistem menadžmenta – Teorije i praksa*. Stylos-Građevinska knjiga, Beograd, 2014.
- [7] ISO 52000-1:2017 Energy Performance of Buildings – Overarching EPB assessment - Part 1: General framework and procedures, <https://www.iso.org/standard/65601.html> [pristupljeno 11.03.2022]
- [8] Raković, R., Petrović Bećirović, S. Energetski menadžment i energetska efikasnost u zgradarstvu, *Energija, Ekonomija Ekologija*, Vol. 16, No. 1-2, pp. 205-210, 2014.
- [9] van Dijk, D., Hogeling, J. The new EN ISO 52000 family of standards to assess the energy performance of buildings put in practice, *REHVA Journal*, Vol 56, No. 3, pp. 6-14, 2019, <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/the-new-en-iso-52000-family-of-standards-to-assess-the-energy-performance-of-buildings-put-in-practice> [pristupljeno 11.03.2022]
- [10] ISO 37101:2016 Sustainable development of communities – Management system for sustainable development – Requirements with guidance for use, <https://www.iso.org/standard/61885.html> [pristupljeno 11.03.2022]
- [11] ISO 37120:2014 Sustainable development of communities – Indicator for city services and quality of life, <https://www.iso.org/standard/62436.html> [pristupljeno 11.03.2022]
- [12] ISO 37122: 2019 Sustainable cities and communities – Indicators for smart cities, <https://www.iso.org/standard/69050.html> [pristupljeno 11.03.2022]
- [13] ISO 37123:2019 Sustainable cities and communities – Indicators for resilient cities, <https://www.iso.org/standard/70428.html> [pristupljeno 11.03.2022]
- [14] Stokić, D. Održivi razvoj zajednica – Standard za indikatore kvaliteta usluga i života u gradovima i standard Sistema menadžmenta za održivi razvoj, *Kvalitet & Izvršnost*, Vol. 5, No. 9-10, pp. 32-34, 2016.
- [15] Raković, R., Mandić Lukić, J. Inteligentne mreže i komunikacije u standardima za održivi razvoj gradova, in *Proc. 33 Savetovanje CIGRE Srbija*, 2017, P D2 01, pp. 1-10
- [16] ISO 20400:2017 Sustainable procurement – Guidance, <https://www.iso.org/standard/63026.html> [pristupljeno 19.03.2022]
- [17] ISO 15392: 2019 Sustainability in buildings and civil engineering works – General principles, <https://www.iso.org/standard/69947.html> [pristupljeno 18.03.2022]
- [18] ISO 14064-1:2018 Greenhouse gases Part 1 – Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals, <https://www.iso.org/standard/66453.html> [pristupljeno 18.03.2022]
- [19] ISO 14067:2018 Greenhouse gases – Carbon footprint of products – requirements and guidelines for quantification, <https://www.iso.org/standard/71206.html> [pristupljeno 18.03.2022]
- [20] ISO 14080:2018 Greenhouse gas management and related activities Framework and principles for methodologies on climate actions, <https://www.iso.org/standard/67452.html> [pristupljeno 18.03.2022]
- [21] ISO Guide 84:2020 Guidelines for addressing climate change in standards, <https://www.iso.org/standard/72496.html> [pristupljeno 18.03.2022]
- [22] Izveštaj o napretku u ostvarivanju ciljeva održivog razvoja do 2030. godine u Republici Srbiji, <https://www.stat.gov.rs/sr-latn/vesti/20220331-izvestajonaprcor/?a=0&s=1701> [pristupljeno 18.03.2022]

- [23] Srbija i Agenda 2030 – Mapiranje nacionalnog starteškog okvira u odnosu na ciljeve održivog razvoja, <https://rsjp.gov.rs/wp-content/uploads/Srbija-i-Agenda-2030-novembar-2020.-lat.pdf> [pristupljeno 04.04.2022]
- [24] Živjeti u evropskoj Srbiji – Mapiranje ciljeva održivog razvoja sa planskim okvirom EU integracija, <https://ceves.org.rs/living-in-the-european-serbia-mapping-of-the-sdgs-within-the-eu-integration-framework/?lang=SR> [pristupljeno 04.04.2022]
- [25] Srbija 2030 – Pripremljenost za sprovođenje Agende 2030, <https://sdgs4all.rs/documents/srbija-2030-pripremljenost-za-sprovođenje-agende-2030/> [pristupljeno 04.04.2022]
- [26] <https://sdg.indikatori.rs> [pristupljeno 18.03.2022]
- [27] Rikalović, G., Vračarević, 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>
- [28] Đukić, P., Đukanović, S. Najveći izazovi energetske tranzicije u Srbiji: u srednjem i dugom roku, *Energija, Ekonomija Ekologija*, Vol. 23, No. 2, pp. 10-15, 2020. <https://doi.org/10.46793/EEE20-1-2.010DJ>
- [29] Batas-Bijelić, I., Rajaković, N. Metode energetske klimatskog planiranja u državama Zapadnog Balkana: najnovija dostignuća iz Republike Srbije i Bosne i Hercegovine, *Energija, Ekonomija Ekologija*, Vol. 22, No. 2, pp. 16-20, 2020. <https://doi.org/10.46793/EEE20-1-2.016BB>
- [30] TRACER project, <https://tracer-h2020.eu> [pristupljeno 11.03.2022]
- [31] Mandić Lukić, J., Milovanović, Dj., Stipić, M., Petrović Bećirović, S., Raković, R., Popović Zdravković, B., Životić, M. Smart and Socially Responsible Energy Transition in Coal Intensive Regions, *Energija, Ekonomija Ekologija*, Vol. 23, No. 3, pp. 73-79, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.73L>
- [32] Ristić, V., Žikić, M., Vujanović, D., Trkulja, I., Mijušković, O. Definisanje optimalnog proizvodnog miksa u dekarbonizovanom energetske sistemu, *Energija, Ekonomija Ekologija*, Vol. 24, No. 1, pp. 22-27, 2022 <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.22R>
- [33] 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>

#### AUTORI/AUTHORS

**dr Radoslav Raković, dipl.inž.**, rukovodilac službe za integrisani sistem menadžmenta, Energoprojekt Entel a.d. Beograd, [rrakovic@ep-entel.com](mailto:rrakovic@ep-entel.com), ORCID [0000-0002-8067-6582](https://orcid.org/0000-0002-8067-6582)

**dr Sanja Petrović Bećirović, dipl.inž.**, rukovodilac biroa za energetske studije i energetiku i rukovodilac službe za marketing, Energoprojekt Entel a.d. Beograd, [spetrovic@ep-entel.com](mailto:spetrovic@ep-entel.com), ORCID [0000-0002-2508-4971](https://orcid.org/0000-0002-2508-4971)

# Koncept prediktivnog održavanja 4.0 (PdM) u energetici - konekcija sa budućom primenom Industrije 5.0

## The Concept of Predictive Maintenance 4.0 (PdM) in Energy Sector - Connection with Future Application of Industry 5.0

Predrag Jovančić, Dragan Ignjatović, Stevan Đenadić, Miloš Tanasijević, Filip Miletic

Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet

**Rezime** - Četvrtu industrijsku revoluciju - Industrija 4.0 karakteriše upotreba cyber-fizičkih sistema. Da bi se postigla optimalna strategija održavanja (ali i proizvodnje), neophodno je razviti sisteme koji podržavaju napredne inteligentne sisteme održavanja ili tehnologije pametnog održavanja. Iz toga su proizašli postulati Prediktivnog održavanja 4.0 koji definišu veoma blisku budućnost u oblasti održavanja tehničkih sistema. Prediktivno održavanje 4.0 uključuje iskorišćenje snage veštačke inteligencije za stvaranje stalnog uvida u otkrivanje uzroka i anomalija u radu opreme, koje se ne otkrivaju kognitivnim moćima. Drugim rečima, Prediktivno održavanje 4.0 daje mogućnost da se predvidi ono šta je ranije bilo nepredvidivo. Industrija 5.0 se fokusira na povratak ljudskih ruku i umova u industrijski okvir, odnosno čovek i mašina međusobno usklađuju i pronalaze načine da rade zajedno kako bi poboljšali efikasnost proizvodnje/ održavanja.

**Ključne reči** - energetika, prediktivno održavanje 4.0, industrija 4.0, industrija 5.0

**Abstract** - Industry 4.0 marks the fourth industrial revolution, characterized by the use of cyber-physical systems. In order to achieve an optimal maintenance strategy (but also production), it is necessary to develop systems that support advanced intelligent maintenance systems or smart maintenance technologies. This resulted in the postulates of Predictive Maintenance 4.0, which define the very near future in the field of maintenance of technical systems. Predictive Maintenance 4.0 involves harnessing the power of artificial intelligence to create ongoing insights into detecting causes and anomalies in equipment operations that are not detected by cognitive power. In other words, Predictive Maintenance 4.0 makes it possible to predict what was previously unpredictable. Industry 5.0 focuses on the return of human hands and minds to the industrial framework. The man and machine harmonize with each other and find ways to work together to improve production / maintenance efficiency.

**Index Terms** - Energy sector, Predictive maintenance 4.0, Industry 4.0, Industry 5.0

### I UVOD

Razvoj i napredak energetskog sektora u budućnosti (često se pominje 2050. godina kao godina prekretnice primene

energije u Evropi), mora biti usko vezan sa osnovnim postulatima tehničko-tehnološkog razvoja implementiranih kroz Industriju 4.0 (Ind. 4.0), a pogotovo Industriju 5.0 (Ind. 5.0.) [1,2,3,4]. Drugim rečima, energetika i ubrzani tehnološki razvoj moraju biti u uzajamnoj neraskidivoj vezi. Ovim radom se želi istaći značaj postojećeg i poznatog prediktivnog održavanja 4.0 (PdM4.0), kao deo Ind. 4.0, budućeg načina održavanja definisanog preko Ind. 5.0, na sektor energetike u budućnosti (veoma bliskoj budućnosti!).

Informaciona tehnologija je u izuzetnom napretku, tolikom da se terabajti informacija mogu sačuvati odvojeno i preneti širom sveta za nekoliko minuta. Postrojenja, mašine i uređaji mogu da koriste računarsku memoriju i mogućnosti različitih tipova senzora, tako da se određena tehnologija može povezati i upravljati putem poziva, dodiranjem ili programiranjem. Ovakva tehnologija preuzima neke od najmasovnijih, najzahtevnijih zadataka u industriji, pa samim tim i u energetici i rudarstvu.

Održavanje visokog nivoa proizvodnje energije, sigurnog i održivog snabdevanja energijom i dostavljanje kvalitetne energije na vreme, predstavljaju razliku između uspeha i neuspeha. Strategije održavanja su korišćene kako bi se ispunio zacrtani životni ciklus opreme i sprečili katastrofalni nedostaci tokom rada. Ove strategije su se razvile i postale složenije zbog tehnologija koje su se na osnovu njih razvijale kroz prethodne industrijske revolucije.

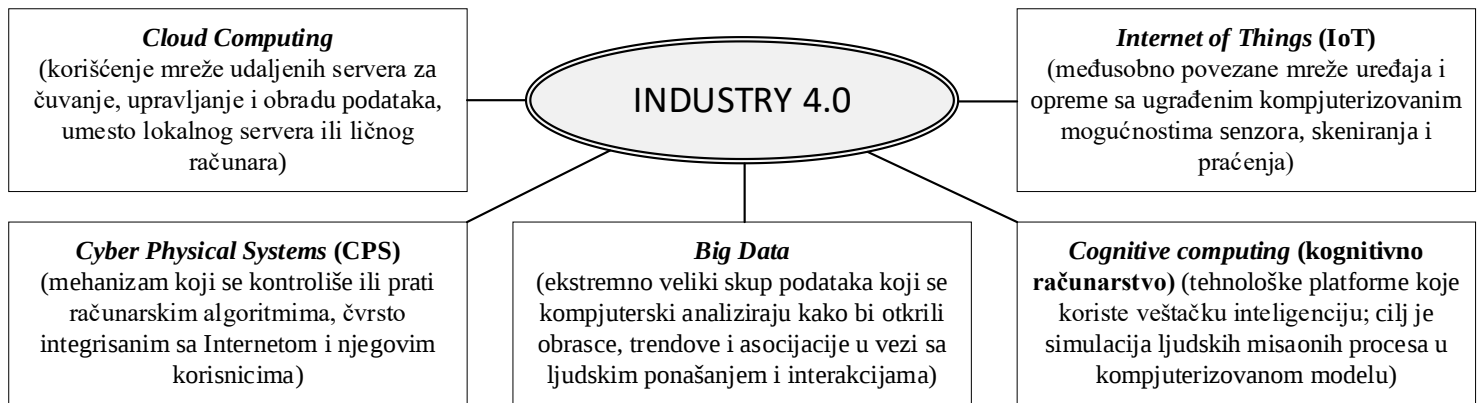
Sposobnosti zajedničkog rada različitih sistema, tehnika ili organizacija čini okosnicu definisanja i vrhunac "pametnog" energetskog tehničkog sistema. Ove aktivnosti u osnovi sadrže operativne podatke i njihovu analitiku u realnom vremenu. Analitika podataka je virtuelni benefit, sa početnim povećanjem troškova ali i produktivnošću čak do 20% [1,5,6,7].

Predviđa se da u ubrzanom scenariju usvajanja tehnologije, uključujući primenu analitike podataka, inteligentnih sistema i drugih tehnologija, rad u sektoru energetike može smanjiti svoje troškove čak do 25-35%.

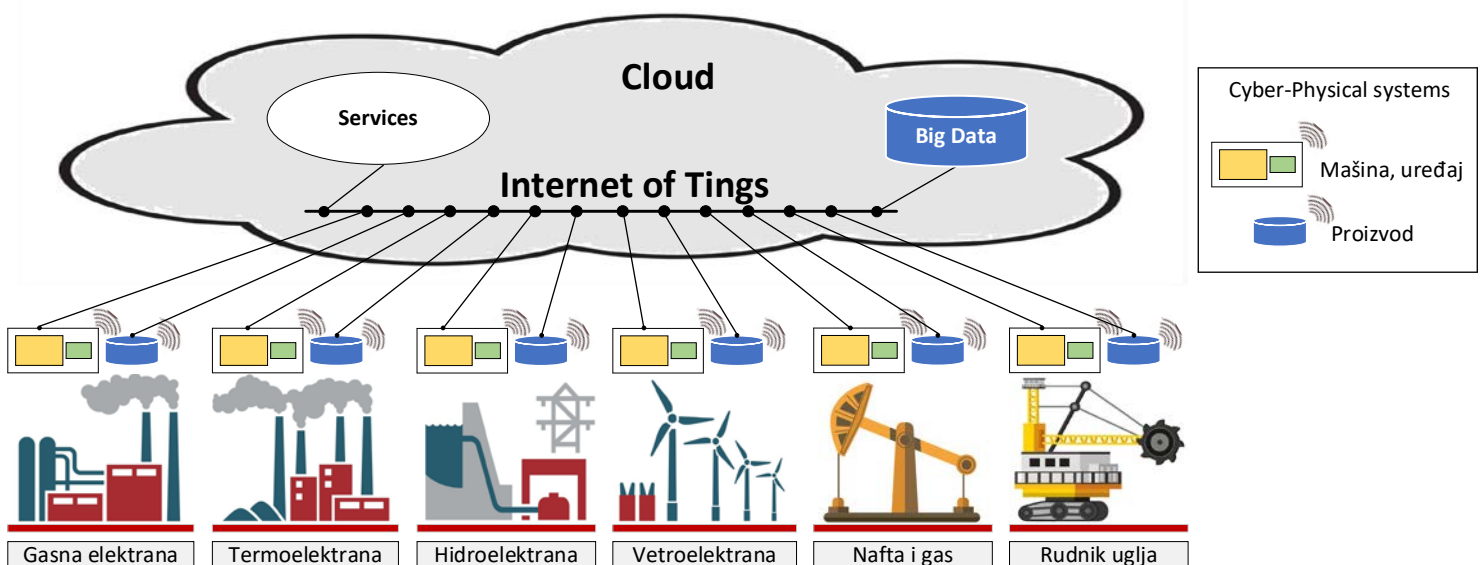
U ovom radu se govori o tome kako kompanija može imati koristi od analiziranih podataka, u okviru operacija održavanja i upravljanja imovinom. On daje pregled strateškog održavanja i ocrtava koristi od budućeg pristupa održavanja u realnom vremenu.

Važno je istaći da na osnovu ovakvog pristupa, energetske kompanije mogu usvojiti četvorostruki plan implementacije za prediktivno održavanje. Na taj način one postaju spremne za Industriju 4.0, odnosno mogu spremno da dočekaju Industriju

5.0. [2,4]. Pojam Industrija 4.0 deluje kao krovni izraz sastavljen od alata koji čine njegovu strukturu, a koji su prikazani u okviru slike 1.



Slika 1. Pojam Industrije 4.0



Slika 2. Primena Industrije 4.0

Ind. 4.0 je termin koji se koristi u savremenom svetu proizvodnje kako bi označio četvrtu industrijsku revoluciju, koju karakteriše široko rasprostranjena upotreba cyber-fizičkih sistema. Iz istorijskog ugla, Ind. 4.0 je trenutno poslednja faza lanca razvoja tokom poslednjih 200 godina. Četvrti revolucija označava prvi put da se digitalna, cyber tehnologija integrirala na sve nivoe proizvodnje, do tačke kada su visokotehnološke, kognitivne mašine automatizovale intelektualne, pored fizičkih zadataka.

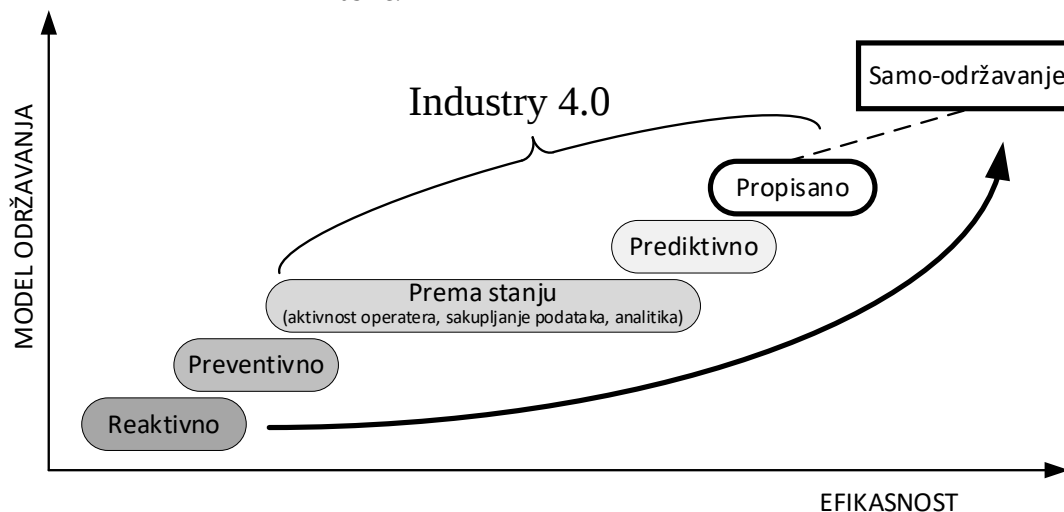
Nova industrijska integracija cyber tehnologije omogućava autonomiju računarskih mašina bez presedana. Kada se u potpunosti primenjuje na svim nivoima, Ind. 4.0 stvara autonomne mreže koje mogu da implementiraju fizičke zadatke i odmah ispravljaju nesavršenosti bez uključivanja ljudskih ruku ili umova. Na slici 2 data je principijelna shema primene Ind. 4.0. [1,5,6,7]

Cyber fizički system se zasniva na praćenju stanja opreme, prema uslovima korišćenja bežičnih senzora tokom čitavog procesa kako bi se nadgledao učinak opreme. Ovakav pristup brojnim, velikim podacima dozvoljava kompleksnim algoritmima u okviru centralizovanog softvera da predvide sa većom tačnošću nego ranije, koje su to komponente koje mogu dovesti do otkaza.

## II RAZVOJ SISTEMA ODRŽAVANJA OPREME

Na imovinu kompanije mogu se primeniti sledeći uobičajeni pristupi održavanju: reaktivni način (korektivni), preventivni, prema stanju (uslovni), prediktivni i propisani. Za kritična sredstva u sistemu (ako posmatramo sisteme kao redne veze, što je i najčešći slučaj, veliki broj ovih sredstava se može smatrati kritičnim ili od posebnog značaja), reaktivno održavanje nije

strateško kada se mašina ili oprema već pokvarila. Otkazi su često skupi na mnogim nivoima - zastoji utiču na produktivnost, rezervni delovi mogu biti skupi, a postoje i troškovi rada i energije. Iz tog razloga, preventivno održavanje utiče na to da se poboljša pouzdanost opreme, ali čak ni to možda neće biti dovoljno efikasno jer će i dalje biti neplaniranih zastoja i skupih popravki koje su se mogle izbeći. Održavanje zasnovano na kalendaru ili plansko održavanje je neefikasno jer se preko 80% otkaza mašine pojavljuju u slučajnim intervalima, odnosno stohastičke su prirode. Praćenje mašina i opreme prema stanju je prvi korak ka usvajanju buduće strategije održavanja. Održavanje zasnovano prema stanju je definisano njegovim imenom - to je stalni nadzor mašina dok su još u radu. Obično uključuje sledeće napredne tehnike dijagnostike: na prvom mestu analizu vibracija, ultrazvučnu analizu, termografiju, endoskopiju, magnetske i penetrantske metode, kao i spektrometrijsku analizu tribomehaničkih sistema. Podaci se mogu prikupljati na mreži ili van mreže (on-line ili off-line), u zavisnosti od stepena značajnosti odnosno kritičnosti mašine ili dela mašine.



Slika 3. Zavisnost modela održavanja i efikasnosti

Ind. 4.0 je definisala prvi put da se digitalna, cyber tehnologija integrisala u sve nivoe proizvodnje do te mere da visokotehnološke, kognitivne mašine automatizuju intelektualne zadatke, pored fizičkih. Stvaranjem autonomnih mreža preko kojih se primenjuju fizički zadaci, mogu se i odmah ispravljati nesavršenosti bez uključivanja ljudskih ruku ili umova.

Ind. 4.0 se konceptijski sastoji od principa koji u potpunosti iskorišćavaju mogućnosti trenutne tehnologije:

1. integracija postrojenja, opreme, mašina i alata u kompjuterizovani IoT okvir (interoperabilnost);
2. sposobnost kompjuterskih sistema opremljenih senzorima da prave virtuelne kopije postrojenja, opreme, mašina i alata iz stvarnog sveta, na osnovu dostupnih informacija (transparentnost informacija);
3. kompjuterizovana postrojenja, oprema, mašine i alati opremljeni veštačkom inteligencijom za pomoć zaposlenima u donošenju odluka i fizičkom radu (tehnička pomoć);
4. sposobnost kompjuterizovanih sistema da samostalno deluju i izvršavaju zadatke (decentralizacija odluka).

Prediktivno održavanje dalje unapređuje pristup zasnovan na stanju uz pomoć detekcije anomalija zasnovanih na modelima. On se oslanja na on-line analizu podataka i koristi analitiku podataka da bi predvideo pouzdanost mašine. Sigurno je da se ovde očekuje i analiza osnovnog uzroka otkaza što čini okosnicu proaktivnog sistema nadzora odnosno proaktivno održavanje.

Krajnji nivo održavanja prema postulatima upravljanja imovinom i novim tehnološkim dostignućima baziranim na inteligentnim sistemima, se može nazvati propisano održavanje. Ono uključuje integraciju velikih podataka, analitiku, mašinsko učenje i veštačku inteligenciju.

Propisani sistem održavanja je kognitivni sistem - ima sposobnost da "misli" i može da radi samo na nivou kada postoji interoperabilnost. Ovo je sistem održavanja u bliskoj budućnosti (ili sada!), što je i krajnji cilj Industrije 4.0. Slika 3 ilustruje zavisnost između efikasnosti koncepcija održavanja i modela održavanja.

Uprkos ogromnom potencijalu u oblasti proizvodnje, brojne prepreke danas stoje na putu potpunog, univerzalnog sprovođenja:

- pouzdanost komunikacija od opreme do opreme, koja nije u potpunosti stigla do zadovoljavajućeg nivoa performansi i stabilnosti;
- IT bezbednosni problemi, koji postaju još gori kada se koriste stariji objekti, objekti koji su neiskorišćeni, a koji moraju da se dovedu u red;
- strah od IT propusta, odnosno mogućnost havarijskih stanja stvara sumnju kod korisnika, bez obzira što nije potrebno mnogo vremena veštačkoj inteligenciji za dokazivanje;
- nedovoljne kvalifikacione osposobljenosti zaposlenih za implementaciju Ind. 4.0;
- izražena socijalna pitanja, pogotovo kada se u potpunosti primeni Ind. 4.0, što može izazvati masovna otpuštanja, ostavljajući mnoge nisko obrazovane radnike bez posla.

U bliskoj budućnosti se očekuje da će unapređenje sposobnosti otkrivanja skrivenih grešaka/anomalija u cyber-fizičkoj tehnologiji praktično eliminisati rizik od otkaza.

Prednosti Ind. 4.0 mogu lako nadmašiti rizike ako se uzmu u obzir fizičke mogućnosti cyber sistema. Na primer, IoT i kognitivno računarstvo mogu se koristiti za podizanje teških delova postrojenja i mašina i na taj način osloboditi radnike od napornih aspekata rada. Kao rezultat ovih promena, može se sa velikom sigurnošću očekivati i otklanjanje povreda i smrtnih slučajeva.

Ind. 4.0 ne bi zamenila ljudske radnike u svim sferama proizvodnje i održavanja, koliko bi preuzela one vrste poslova koje većina ljudi smatra nepoželjnim. Otklanjanje potencijalno skupih i vremenski zahtevnih subjektivnih (ljudskih) grešaka, koristeći napredne tehnike dijagnostičkih metoda ali i implementacije optimalne strategije održavanja, imperativ je današnjih tehničkih sistema.

Da bi se to postiglo neophodno je razviti sisteme koji podržavaju napredne inteligentne sisteme održavanja ili tehnologije pametnog održavanja. Postulati Ind. 4.0 odnosno Prediktivnog održavanja 4.0 definišu i veoma blisku budućnost u oblasti održavanja tehničkih sistema. Oprema koja će se projektovati u pravcu samostalnog održavanja (samo-održavanje), biće bolja opcija sa mogućnostima praćenja stanja, dijagnostikovanja, planiranja popravki i izvođenja kako bi se produžio životni vek i performanse opreme.

Cilj u budućnosti je imati sistem samo-održavanja opreme kako bi se napravila mašina za rekonfiguraciju, kompenzaciju i samoodržavanje. PdM 4.0 sigurno predstavlja odličnu osnovu za razvoj daljih metodologija i strategija održavanja. Na tome se i razvijaju, između ostalog, i naredne tehnološke revolucije (postavlja se logično pitanje, da li će više biti tehničko-tehnoloških revolucija ili će svaka naredna biti samo logičan sled aktivnosti prethodnih - to je pretpostavka za Ind. 5.0).

Koncept samoodržavanja može imati značajan uticaj na troškove rada i zastoje u održavanju sa nekim autonomnim modulom za popravku. Dalje, adaptivni sistem za samostalno održavanje može kompenzovati zastoj podsistema rekonfiguracijom parametara na autonoman način i minimizujući skupu ljudsku intervenciju. Podaci sa senzora sistema samoodržavanja mogu da identifikuju uzrok otkaza i mogu se predvideti trendovi.

Sistemi za samostalno održavanje mogu da naprave sisteme koji su pouzdaniji, rekonfigurabilniji i prilagodljivi, posebno kod sistema sa kritičnom stopom otkaza komponenti, spajanjem adaptivnih sistema sa modularnim dizajnom.

Tehnike samoodržavanja, zasnovane na PdM 4.0, mogu da predlože u realnom vremenu brz i precizan sistem održavanja sa potrebnim sposobnostima da se bave greškama i otkazima na inovativan način čak i bez ljudske intervencije, kako bi se povećala ukupna pouzdanost. Sistemi za samostalno održavanje mogu minimizirati nepotrebno i skupo preventivno održavanje, optimizirati planiranje održavanja, smanjiti vreme za rezervne delove i resurse, što može doneti značajne uštede.

### III KONCEPT DIGITALNE TRANSFORMACIJE: PRIMENA PdM 4.0

Pristup operativnim podacima u realnom vremenu predstavlja najvažniji faktor u postizanju efikasnosti. Primena analitike velikog broja podataka u održavanju predstavlja četvrti nivo

strategije održavanja, takozvano prediktivno održavanje. Ovo predstavlja prediktivno održavanje 4.0, ili PdM 4.0. [9]

PdM 4.0 se bavi predviđanjem budućih otkaza/zastoja na opremi ali i propisivanjem najefikasnijih preventivnih mera primenom naprednih analitičkih tehnika na velikom broju podataka o tehničkom stanju, upotrebi, okruženju, istoriji održavanja, sličnoj opremi na drugom mestu i svemu što može biti u korelaciji sa performansama opreme. [9,10]

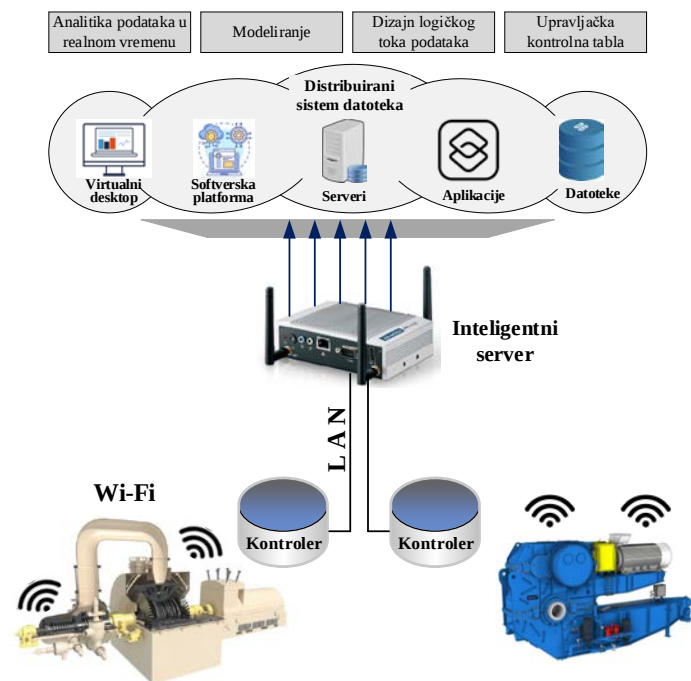
Ovaj nivo održavanja može smanjiti vreme potrebno za planiranje održavanja od 20 pa čak do 50%, povećati vreme rada opreme za 10 do 20% i smanjiti ukupne troškove održavanja za 5 do 10%. [8]

Postizanje ovog nivoa održavanja je moguće kroz proces implementacije u nekoliko koraka (tabela 1).

**Tabela 1.** Proces implementacije PdM 4.0

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Prvi korak    | Uspostavljanje infrastrukture za prikupljanje operativnih podataka o radu opreme. Poslovna infrastruktura snima podatke u realnom vremenu koji dolaze od strane senzora montiranih na proizvodnoj opremi i drugih uređaja i pretvara ih u sadržajne, real-time uvide, povezujući dobijene podatke sa sistemima i ljudima. Ovaj prvi korak je od suštinske važnosti za pružanje uvida u kasniju analizu. Infrastruktura operativnih podataka u realnom vremenu poboljšava pouzdanost opreme, pri čemu postoji jedinstvena infrastruktura koja će poboljšati produktivnost radnog procesa opreme, upravljanje energijom i fluidima, okolinom, zdravljem i sigurnošću, kvalitetom, kao i završnim izveštavanjem. Ovo je osnova za sve inicijative strategije digitalne transformacije, kao što je implementacija PdM 4.0 pristupa. |
| Drugi korak   | Predstavlja način na koji se dobijeni podaci pohranjuju i poboljšavaju kako bi postali informacije. Poboljšanje podataka znači davanje konteksta podacima. Iako se podaci prikupljaju sa senzora, analitičar mora znati da li je oprema pokrenuta u rad ili je zaustavljen proces rada, kako bi dobijeni podaci imali značenje. Bez konteksta, podaci nemaju mnogo vrednosti. Takođe, prepoznavanje podataka koji su važni i relevantni za organizaciju jednako su važni. Drugim rečima, pružanje kontekstualnih podataka (tip podataka koji omogućava pametnije operacije).                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Treći korak   | Implementacija održavanja zasnovanog na stanju i ponašanju opreme pomoću kontekstualnih podataka. To podrazumeva određivanje prioriteta određenih sredstava i utvrđivanje uslova koji dovode do eventualnog otkaza /zastoja i implementacije tih uslova na određenim sredstvima u okviru operativne infrastrukture podataka u realnom vremenu za automatsko praćenje stanja u realnom vremenu. Na primer, kada amplituda vibracije uležištenja u reduktoru počne da se povećava izvan normalne, nominalne vrednosti, to znači da će na kraju procesa doći do otkaza ležaja.                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Četvrti korak | Implementacija PdM 4.0. U kombinaciji sa naprednim alatima za analitiku i raspoznavanje obrazaca u realnom vremenu, inteligentni sistemi omogućavaju optimizaciju operacija i aktivnosti. Ovi alati koji se koriste zajedno će automatski odrediti obrasce koji dovode do eventualnog otkaza/zastoja. Koristeći gore                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

navedeni primer, moglo bi se postaviti pitanje, šta je uzrok da amplitude vibracija ležaja počnu da rastu izvan normalnog radnog opsega? Kada se implementiraju, to ne samo da povećava produktivnost i smanjuje troškove održavanja, već će tehnološke operacije i aktivnosti imati koristi od optimizacije njihovog korišćenja svih vidova resursa, pa na kraju i vremenskog resursa.



Slika 4. Arhitektura PdM 4.0

Praćenje stanja i ponašanja opreme u realnom vremenu dovodi do određenog nivoa pouzdanosti. I pored toga, nivo na kome je oprema i dalje će biti pogođena nepredvidivim i neobjašnjivim otkazima. Međutim, ovi propusti mogli bi se rešiti analizom velikog broja podataka. PdM 4.0 uključuje iskorišćenje snage veštačke inteligencije za stvaranje stalnog uvida u otkrivanje uzroka i anomalija, koje se ne otkrivaju kognitivnim moćima čak i kod najdarovitijih ljudi. PdM 4.0 daje mogućnost da se predvidi ono šta je ranije bilo nepredvidivo. [9,10,11] Na slici 4 data je arhitektura PdM 4.0.

#### IV KONEKCIJA KA BUDUĆNOSTI: INDUSTRIJA 5.0

Termin Ind. 4.0 se koristi za industrijsku digitalizaciju i izgradnju optimalnog ekosistema za pametna postrojenja, mašine i uređaje. Sledeća industrijska revolucija, Ind. 5.0, skoro da je pred nama. Ako se govori o razvoju energetike u narednim decenijama, trebalo bi sektor energetike da se priprema na postulate Ind. 5.0 jer će se prema njima usaglašavati. Ind. 5.0 neće doneti nešto radikalno novo, već pre logičan sledeći korak nakon što se uspostave najkritičnije mogućnosti za pametna postrojenja, mašine i uređaje. Može se govoriti o pet ključnih tema i srodnim trendovima, kao i o tome kako bi oni mogli koristiti kompanijama u sektoru energetike. [2,3,4]

##### 1. Bezbednija proizvodnja i zdravija radna snaga

Jedna od tema koja definiše Ind. 5.0 odnosi se na upotrebu naprednih kolaborativnih robota, koji se takođe nazivaju koboti. Koboti već unapređuju ergonomiju i bezbednost zaposlenih u nekim kompanijama, ali je verovatno da će u budućnosti sve više imati napredniju veštačku inteligenciju. Takođe će postojati mogućnosti za poboljšanje zdravlja radne snage kroz napredniju automatizaciju.

##### 2. Personalizacija i poboljšani fokus prema kupcu krajnjeg proizvoda

Zajedno sa Ind. 5.0, personalizacija proizvoda će postati sve češća (na primer ko je proizveo energiju i kakav kvalitet je isporučio; kupci će moći da dizajniraju proizvod na osnovu svojih potreba). Ind. 5.0 vraća ljudski dodir u proizvodnju ali i u potrošnju. Potrebno je sprovođenje „preraspodele ljudske kreativnosti“ kako bi se zadovoljile sve veće želje kupaca.

##### 3. Povećana operativna efikasnost

Industrijske operacije će biti poboljšane uz pomoć održive robotike, veštačke inteligencije i programiranja za dvosmerni prenos znanja. Kada je reč o troškovima, programiranje je očigledno najveća investicija u operativnu efikasnost u poređenju sa drugom opremom. Cirkularna ekonomija ima ključnu ulogu u poboljšanju efikasnosti kroz poboljšano upravljanje otpadom, pažljiv izbor materijala za proizvodnju i favorizovanje preventivnih popravki i optimalnih nadogradnji u odnosu na zamenu.

##### 4. Poboljšana zaštita imovine

Digitalizacija i povezivanje različitih sistema i procesa sa zajedničkim kontrolnim sistemima i IT cloud (oblacima) može sa sobom doneti niz bezbednosnih problema. Glavni razlog za to je što se nekim sredstvima može lako pristupiti preko iste tačke konekcije. Automatizacija može pomoći u ublažavanju rizika uz pomoć veštačke inteligencije i mašinskog učenja. Najnoviji pristupi automatizaciji primenjuju matematičku logiku, koja omogućava automatizovane akcije za otkrivanje i uklanjanje rizika pre nego što bude prekasno.

##### 5. Povećana raznolikost i demokratizovana koprodukcija znanja

Drugi trend vezan za Ind. 5.0 je povećana raznolikost u korišćenju velikih podataka, što će se postići donošenjem vrednosnih sudova. Da biste stvorili pravo blagostanje i pravičnost, morate biti u mogućnosti da pronađete relevantne informacije iz podataka i povežete ih sa ljudskim faktorima. Koncept simetrične inovacije će igrati ključnu ulogu u postizanju demokratizovane koprodukcije znanja putem velikih podataka. Kodiranje vrednosti u tehnologiji zahteva nekoliko stvari, kao što je njihovo označavanje kao problem, stvaranje mogućnosti da se organizacije angažuju u novom ponašanju i inspirisanje motivacije od strane lidera. Investicije u istraživanje i razvoj su važne, ali nisu dovoljne. Pored toga, potrebna je snažna komercijalizacija znanja kako bi se poboljšali životi ljudi.

Sektor energetike prvo mora da pregleda i definiše strateške oblasti buduće proizvodnje, poslovanja i organizacije, kako bi se olakšali drugi korisni faktori: dobrobit, efikasnost, snabdevenost i pravičnost. Zatim, da li je odabrana tehnologija u korelaciji sa visoko postavljenim ciljevima kompanije. Proizvodnja energije

zahteva pouzdanu opremu i tehnologiju, ali i izbor dobavljačkih kompanija koje će raditi ili neće raditi u narednom periodu. Takođe, trebalo bi napraviti procene sa aspekta zaposlenih, stručnosti, raznolikosti, utrošenog vremena i dobrobiti zaposlenih. Potrebno je proceniti kritične tačke merenja na opremi kao i kvalitet mernih podataka, imajući u vidu da odluke koje se donose moraju biti dobre koliko je i kvalitet tih podataka. Stabilnost procesa zavisi od tehnologije merenja, što direktno utiče na poboljšanje kvaliteta krajnjeg proizvoda. Najbolje energetske kompanije razmišljaju kako mogu imati koristi od cirkularne ekonomije i kako bi mogle biti uključene i nju. Neke već koriste svoje nusproizvode. Potrebno je znati koji procesi stvaraju otpad i koje druge finansijske odlive uključuju. Da bi se promovisala ne samo produktivnost i optimalno održavanje, već i zdravlje i bezbednost ljudi i okoline, merni instrumenti moraju da budu što robusniji i dugotrajniji. Da bi se poboljšala operativna efikasnost, oni takođe moraju da budu laki za korišćenje i održavanje. Tu leži i spona održavanja Ind. 4.0 i Ind. 5.0. Ind. 5.0 pokušava da uravnoteži ekonomski razvoj sa rešavanjem društvenih i ekoloških problema. Nije ograničen na proizvodni sektor, već se bavi većim društvenim izazovima zasnovanim na integraciji fizičkog i virtuelnog prostora. Ind. 5.0 je društvo u kojem se napredne IT tehnologije, internet, roboti, veštačka inteligencija i kognitivno računarstvo, aktivno koriste u svim sferama delatnosti, ne prvenstveno za ekonomsku prednost, već za dobrobit i udobnost svakog stanovnika.

**Tabela 2.** Razlike između Industrije 4.0 i Industrije 5.0

| Industrija 4.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Industrija 5.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– Usredsređena na poboljšanje efikasnosti putem digitalne povezanosti i veštačke inteligencije.</li> <li>– Tehnologija - usredsređena na pojavu sajber-fizičkog cilja.</li> <li>– Usklađena sa optimizacijom poslovnih modela u okviru postojećih dinamika tržišta kapitala i ekonomskih modela - odnosno u krajnjoj liniji usmeren na minimizaciju troškova i maksimizaciju profita.</li> <li>– Nema fokusa na dimenzije dizajna i performansi koje su ključne za sistemsku transformaciju i razdvajanje upotrebe resursa i materijala od negativnih uticaja na životnu sredinu, klimu i društvo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Osigurava okvir za industriju koji kombinuje konkurentnost i održivost, omogućavajući industriji da ostvari svoj potencijal kao jednog od stubova transformacije.</li> <li>– Naglašava uticaj alternativnih načina (tehnološkog) upravljanja na održivost i otpornost.</li> <li>– Osnažuje radnike korišćenjem digitalnih uređaja, podržavajući pristup tehnologiji usredsređenoj na čoveka.</li> <li>– Gradi tranzicione puteve ka ekološki održivoj upotrebi tehnologije.</li> <li>– Proširuje delokrug odgovornosti korporacije na sve njihove lance vrednosti.</li> <li>– Uvodi indikatore koji pokazuju, za svaki ekosistem, napredak postignut na putu ka blagostanju, otpornosti i sveukupnoj održivosti.</li> </ul> |

#### V ZAKLJUČAK

Tehničko-tehnološki napredak se ne završava sa industrijskom revolucijom Ind. 4.0. Ona predstavlja samo jedan međukorak ka novim, naprednijim tehnologijama koje implementiraju inteligentne sisteme, nove pametne materijale, nova stečena znanja. Ako Ind. 4.0 naglašava transformaciju

postrojenja/fabrike/opreme u pametne objekte sa omogućenim internet tehnologijama koje koriste kognitivno računarstvo i međusobno povezivanje preko oblaka (cloud) servera, Ind. 5.0 će se fokusirati na povratak ljudskih ruku i umova u industrijski okvir. Znači, čovek i mašina međusobno usklađuju i pronalaze načine da rade zajedno kako bi poboljšali opremu i efikasnost proizvodnje/održavanja. Najveći napredak za Ind. 5.0 biće interakcija ljudske inteligencije i kognitivnog računarstva. Očekuje se da će kombinovana postrojenja i mašine, ali i kompjuterizovana oprema izvesti proizvodnju do novih, većih nivoa brzine i perfekcije. Za određeno vreme, ljudi i roboti bi mogli ostvariti saradnju na dizajnu i podeli radnih poslova prema opterećenjima u različitim proizvodnim procesima. Energetika uopšte, kao razvojna grana, kao zamajac ljudskog napretka, imaće velikog udela u implementaciji kako Ind. 4.0 tako i buduće Ind. 5.0.

Ind. 5.0 prepoznaje moć industrije u postizanju društvenih ciljeva izvan poslova i rasta kako bi postala otporni stvaralac prosperiteta, čineći da proizvodnja poštuje granice naše planete i stavlja dobrobit zaposlenih u centar proizvodnog procesa.

#### ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Ovaj članak je prilog projektu TR035040 koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Srbije.

#### LITERATURA/REFERENCES

- [1] Jovančić, P. Asset management and condition monitoring on maintenance of mining equipment lignite mines, in Proc. 13th International symposium Continuous Surface Mining ISCSM, Belgrade, Serbia, pp. 197-207, 12-14 September 2016.
- [2] Industry 5.0 - Understanding the basics, VAISALA, <https://www.vaisala.com/en/ip/smart-industry-50-how-benefit-it> [pristupljeno 25.05.2022]
- [3] Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry, European Commission; Publications Office of the European Union, 2021 [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-01-07\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-01-07_en) [pristupljeno 25.10.2022]
- [4] Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe, Publications Office of the European Union, 2021 <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/38a2fa08-728e-11ec-9136-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF> [pristupljeno 25.05.2022]
- [5] Jovančić, P., Ignjatović, D., Tanasijević, M. Modern concepts of mining equipment maintenance, in Proc. 10th International Symposium Mechanization and Automation in Mining and Energetics MAREN2012, Lazarevac Serbia, June 6-7, 2012.
- [6] Jovančić, P., Tanasijević, M., Ignjatović, D. Upravljanje imovinom i proaktivni sistem nadzora pri održavanju opreme u rudnicima, in Proc. 40. Naučno-stručni skup Održavanje mašina i opreme OMO2015, Beograd, Srbija, pp 1-10, 23-26 jun 2015.
- [7] Jovančić, P., Ignjatović, D., Tanasijević, M. Proactive monitoring system for basic mining equipment at open pit mines of Electric Power Industry of Serbia, in Proc. XXI International Congress on Maintenance and Asset Management - EUROMAINTENANCE 1 2012, Belgrade, Serbia, pp. 622-630, May 14-16, 2012.
- [8] Coleman, C., Damodaran, S., Chandramouli, M., Deuel, E. Making maintenance smarter: Predictive maintenance and the digital supply network, Deloitte University Press, 2017. [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3828\\_Making-maintenance-smarter/DUP\\_Making-maintenance-smarter.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3828_Making-maintenance-smarter/DUP_Making-maintenance-smarter.pdf) [pristupljeno 25.05.2022]
- [9] Sajid, S., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Goyal, T., Mittal, M. Data science applications for predictive maintenance and materials science in

context to Industry 4.0, in Proc. *Materialstoday Proceedings*: Vol. 45, Part 6, pp. 4898-4905, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.357>

- [10] Compare, M., Baraldi, P., Zio, E. Challenges to IoT-Enabled Predictive Maintenance for Industry 4.0, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 7, No. 5, pp. 4585-4597, 2020 <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2957029>
- [11] Zonta, T., André da Costa, C., da Rosa Righi, R., José de Lima, M., Silveira da Trindade, E., Pyng Li, G., Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 150, 106889, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106889>

#### AUTORI/AUTHORS

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

**dr Dragan Ignjatović**, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, [dragan.ignjatovic@rgf.bg.ac.rs](mailto:dragan.ignjatovic@rgf.bg.ac.rs), ORCID [0000-0002-8941-4108](https://orcid.org/0000-0002-8941-4108)

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

**dr Miloš Tanasijević**, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, [milos.tanasijevic@rgf.bg.ac.rs](mailto:milos.tanasijevic@rgf.bg.ac.rs), ORCID [0000-0002-9629-1513](https://orcid.org/0000-0002-9629-1513)

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

# Povećanje učešća obnovljivih izvora energije u sistemima za daljinsko grejanje

## Increasing the Share of Renewable Energy Sources in District Heating Systems

Aleksandar Latinović\*, Milan Đorđević\*\*, Dragan Surudžić\*, Vladimir Šiljkut\*

\* JP Elektroprivreda Srbije, Beograd

\*\* Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu

**Rezime** - U ovom radu je prikazan i obrazložen predlog moguće reorganizacije daljinskog grejanja u Republici Srbiji (RS), u cilju povećanja njegove efikasnosti, kao i predlog uvođenja samoodrživog sistema podsticaja za ulaganja u infrastrukturu i toplotne sisteme koji koriste obnovljive izvore energije (OIE). Cilj je smanjenje obima korišćenja neobnovljivih izvora energije, radi manjeg zagađenja životne sredine, kao i smanjenje udela električne energije koja se koristi za zagrevanje prostorija. Na taj način bi se relaksirao i elektroenergetski sistem (EES) i povećao stepen iskorišćenja primarne energije, izbegavanjem njene konverzije u električnu a zatim električne u toplotnu energiju. Kao uporedni primer primenljivosti predloga reorganizacije, u radu su izložena iskustva iz procesa reorganizacije elektroenergetskog sektora u Republici Srbiji. U okviru iznetog predloga sistema podsticaja, dati su opisi metoda koje su neophodne za uspostavljanje jednog takvog sistema. Prihvatanje i realizacija ovih predloga doprineli bi povećanju učešća OIE u sistemima za daljinsko grejanje i rezultirali postizanjem pomenutih, pozitivnih efekata od šireg društvenog uticaja i značaja.

**Ključne reči** - biomasa, obnovljivi izvori energije, sistemi daljinskog grejanja, toplotna energija

**Abstract** - This paper presents and elaborates the proposal for reorganization of district heating sector in the Republic of Serbia, in order to increase its efficiency, as well as the proposal for the introduction of a self-sustaining incentives system for investments in infrastructure and thermal systems using renewable energy sources (RES). The goal is to reduce the use of non-renewable energy sources, in order to mitigate environmental pollution, as well as to decrease the share of electricity used for space heating. That way, also the electric power system (EPS) would be relaxed and the degree of primary energy utilization would be increased, by avoiding its conversion into electric and then back into thermal energy. As a comparative example of the applicability of the reorganization proposal, the paper presents experiences from the process of reorganization of the electricity sector in the Republic of Serbia. Within the presented proposal of the incentives system, descriptions of the methods necessary for the establishment of such a system are given, too. Acceptance and implementation of these proposals

would contribute to increasing the participation of RES in district heating systems and result in achieving the aforementioned, positive effects of wider social impact and significance.

**Index Terms** - Biomass, Renewable energy sources, District heating systems, Thermal energy

### I UVOD

U toku globalne energetske tranzicije ka obnovljivim izvorima energije (OIE), sistemima daljinskog grejanja, kao i sistemima za zagrevanje vode i vodene pare generalno, nije dat adekvatan značaj. Političke odluke i strategije koje imaju za cilj povećanje udela OIE u finalnoj potrošnji energije uglavnom su se sprovodile centralizovano, na najvišim nivoima vlasti. Povećanje učešća OIE u sistemima centralnog grejanja zahteva, međutim, primenu političkih odluka i strategija na lokalnom nivou, uvažavajući specifičnost lokalnih zajednica, što je jedan od najznačajnijih razloga zbog čega se sa tranzicijom ka OIE u ovom sektoru kasni (uz izuzimanje retkih pojedinačnih, uzornih primera prelaska sistema daljinskog grejanja na OIE).

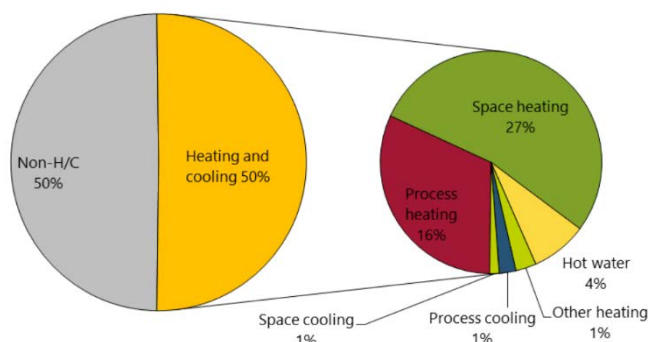
Rad je organizovan tako da je nakon Uvoda dat pregled opštih karakteristika sektora grejanja na globalnom nivou. U trećem poglavlju dat je opšti pregled sektora grejanja u Republici Srbiji, a u četvrtom poglavlju dat je pregled legislative koja uređuje predmetnu oblast u RS. Peto poglavlje opisuje deregulaciju tržišta električne energije u RS kao paralelu i mogući uzor za primenu u sistemima daljinskog grejanja. U šestom poglavlju date su preporuke kako je moguće ostvariti samoodrživ sistem podsticaja za ulaganja u infrastrukturu i toplotne sisteme koji koriste obnovljive izvore energije (OIE).

### II OPŠTE KARAKTERISTIKE SEKTORA GREJANJA NA GLOBALNOM NIVOU

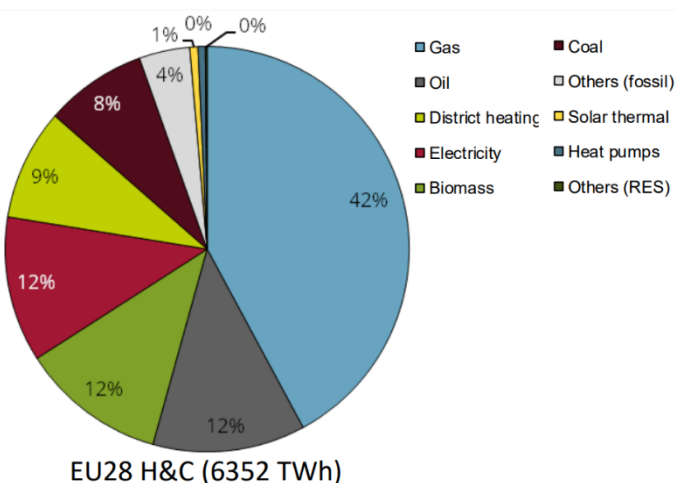
Sistemi daljinskog grejanja su važan ciljni deo za dekarbonizaciju sektora grejanja, jer omogućavaju integraciju fleksibilnih i čistih izvora energije u energetski miks. Međutim, iako mnogi gradovi već primenjuju rešenja za daljinsko grejanje sa niskim sadržajem ugljenika, oko 90% globalne proizvodnje toplote za potrebe daljinskog grejanja danas se i dalje oslanja na fosilna goriva [1]. Globalna proizvodnja daljinskog grejanja

iznosila je 16 EJ (4 444 TWh) toplote u 2020. godini, beležeći tako porast za 30% u odnosu na nivo iz 2000. uz godišnju stopu rasta od ~1,3% (ili 2,4% ako se normalizuje za klimatske uslove). Impresivno povećanje od 2,3% od 2019. do 2020. godine podstakli su uglavnom Kina i delimično Koreja (porast od 7%). Globalno, daljinsko grejanje obezbeđuje relativno mali udeo toplotne energije koja se koristi u zgradama, sa samo 8,5% [1].

Na slici 1 prikazana je raspodela krajnje potrošnje energije u Evropskoj Uniji. Polovina krajnje potrošnje energije se ciljno protvori u toplotu, a nešto više od četvrtine finalne energije se potroši za grejanja prostora.



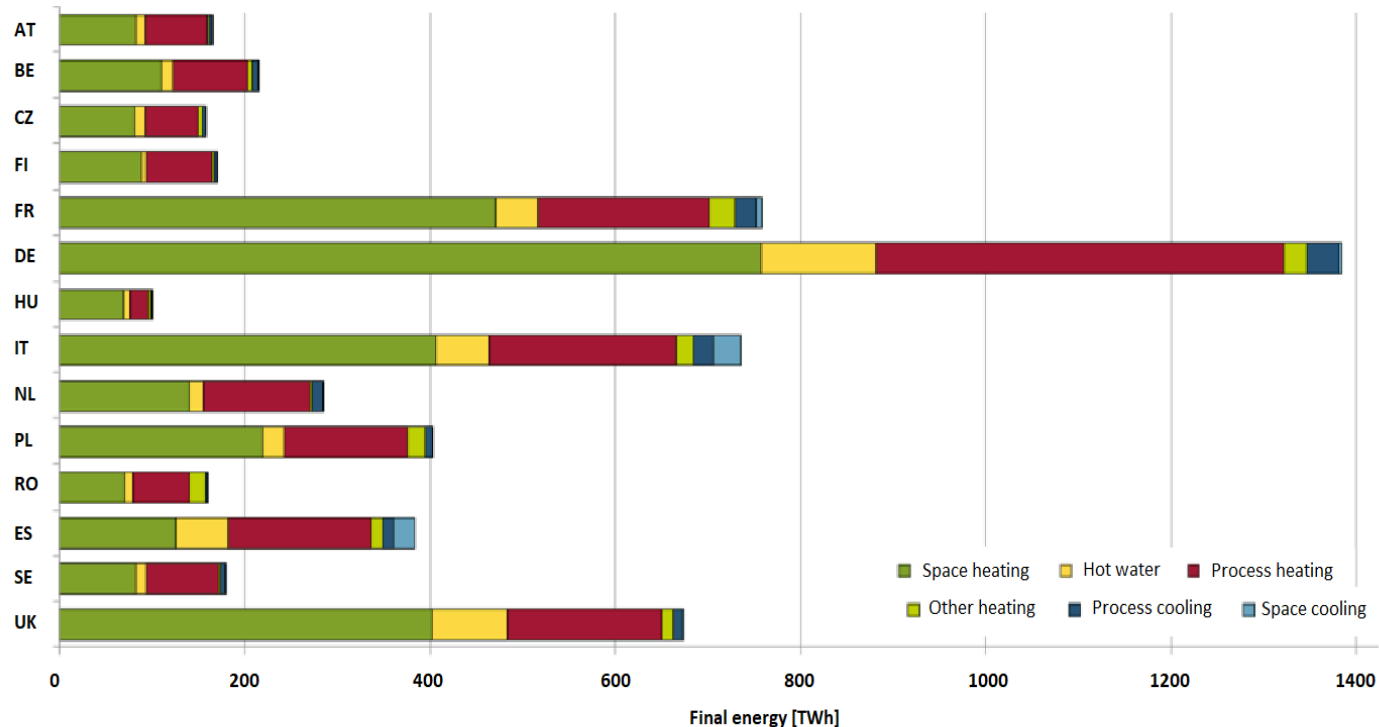
**Slika 1.** Krajnja potrošnja energije za grejanje i hlađenje u 2015. godini u EU28, u odnosu na finalnu potrošnju energije [2]



**Slika 2.** Udeo izvora toplotne energije za grejanje i hlađenje prostora u 2015. godini u zemljama EU28, [3]

Na slici 2 prikazan je udeo izvora toplotne energije za grejanje i hlađenje prostora. Izvor energije predstavlja izvor sa stanovišta krajnjeg potrošača, što može da bude sistem daljinskog grejanja ili primarni energent ukoliko potrošač poseduje uređaj za konverziju primarnog energenta u toplotnu energiju.

Na slici 3 prikazan je utrošak finalne energije za grejanje i hlađenje za 14 zemalja EU. Utrošena finalna energija za predmetni sektor zavisi od broja stanovnika određene zemlje, razvijenosti privrede i klimatskih uslova.

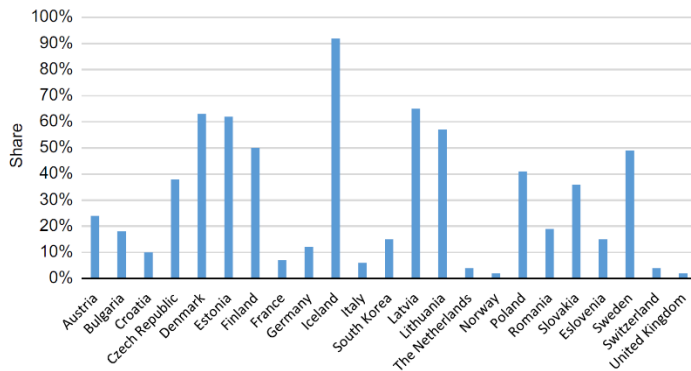


**Slika 3.** Podsektori finalne potrošnje energije za grejanje i hlađenje u 2015. godini za određene zemlje iz EU28, [3]

Na slici 4 prikazan je procenat građana koji imaju pristup distributivnoj mreži daljinskog grejanja u različitim zemljama OECD. Procenat varira od zemlje do zemlje i ne postoji

očigledna korelacija između procenta građana koji imaju pristup distributivnoj mreži daljinskog grejanja i razvijenosti privrede te zemlje, klimatskih uslova u toj zemlji i ili dostupnosti

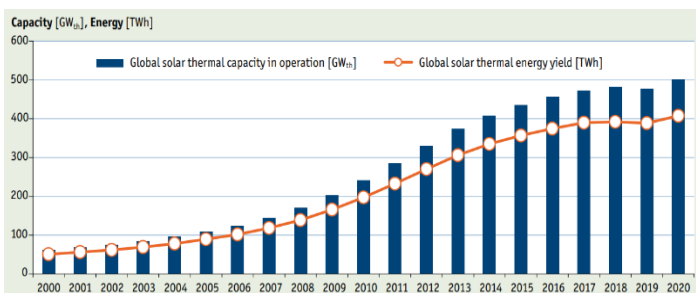
energetskih izvora.



**Slika 4.** Procenat građana koji imaju pristup distributivnoj mreži daljinskog grejanja u različitim zemljama OECD (2012) [4]

Udeo OIE bio je 8% u odnosu na ukupnu proizvodnju toplotne energije za sisteme daljinskog grejanja u 2020. na globalnom nivou, uglavnom kao bioenergija (biomasa, biogas), što je slično 2019. godini, uz zabeleženo povećanje u odnosu na njihov udeo u 2015. (7%) i 2000. (kada je bio manji od 4%). Primarni obnovljivi resursi sa potencijalom za upotrebu u sistemima daljinskog grejanja su solarna termalna, geotermalna i bioenergija. Evropa prednjači u korišćenju obnovljivih izvora za daljinsko grejanje, čineći većinu globalne upotrebe solarne termalne i geotermalne energije. Od ukupne globalne proizvodnje toplotne energije, zasnovane na biomasi i biogasu, čak 75% se ostvaruje u Evropi [1].

Na globalnom nivou najznačajniji rast obnovljivih izvora u sektoru grejanja postigla je solarna termalna energija. Na slici 5 prikazan je rast kapaciteta solarne toplotne energije, kao i rast proizvodnje energije u poslednjih 20 godina.



**Slika 5.** Globalni trend rasta solarne energije kao termalne u smislu instalisanih kapaciteta i proizvedene energije u sektoru grejanja [5]

Takođe, pravci delovanja povećanja efikasnosti sistema daljinskog grejanja idu u smeru smanjenja gubitaka u distributivnoj mreži, odnosno razvijaju se niskotemperaturni sistemi daljinskog grejanja.

Na globalnom nivou, kao i u Evropskoj Uniji, prepoznata je važnost integracije OIE u sisteme daljinskog grejanja. Formirana su udruženja i centri istraživanja za razvoj daljinskog grejanja, a pokrenuti su i projekti finansirani iz fondova EU, čiji je cilj unapređenje sistema daljinskog grejanja. U nastavku su navedene strategije, udruženja, centri i projekti koji se tiču sektora grejanja, a za koje su javno dostupni dokumentacija i materijali:

- EU Strategy on Heating and Cooling;
- The International District Energy Association (IDEA);
- IEA DHC - The hub for international DHC research;
- CELSIUS Project;
- The REWARDHeat (Renewable and Waste Heat Recovery for Competitive District Heating and Cooling Networks) project;
- Heat Roadmap Europe 4 (HRE4);
- KeepWarm (uključuje i Srbiju)

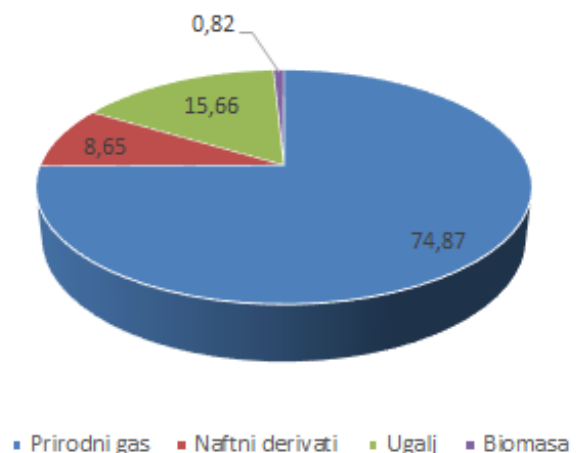
### III OPŠTE KARAKTERISTIKE SEKTORA GREJANJA U REPUBLICI SRBIJI

Sistemizovani podaci o karakteristikama sektora grejanja u Republici Srbiji nisu javno dostupni. Izveštaji Agencije za energetiku RS i Ministarstva rudarstva i energetike ne obuhvataju godišnji pregled ostvarenih rezultata sektora grejanja. Pored pojedinačnih izveštaja gradskih toplana jedini subjekt koji objedinjuje podatke o ostvarenim rezultatima dela sektora grejanja, odnosno sistema za daljinsko grejanje, jeste poslovno udruženje „Toplane Srbije“. Toplane Srbije izrađuju godišnji izveštaj [6] koji je jedini javno dostupni izvor podataka u ovom poglavlju.

**Tabela 1.** Broj priključenih domaćinstava u RS na sistem daljinskog grejanja [6]

|                                                                    | 2011. godina | Procenat priključenosti (broj priključenih domaćinstava na SDG / broj domaćinstava) [%] |
|--------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Broj domaćinstava priključenih na sistem daljinskog grejanja (SDG) | 642.457      | 100,00                                                                                  |
| Broj domaćinstava u gradovima                                      | 1.313.263    | 48,92                                                                                   |
| Ukupan broj stanova u RS                                           | 1.899.886    | 33,82                                                                                   |
| Ukupan broj domaćinstava U RS                                      | 2.497.187    | 25,73                                                                                   |

Broj priključenih domaćinstava u RS na sistem daljinskog grejanja prikazan je u tabeli 1 i prema podacima iz [6] beleži blagi rast. U poređenju sa procentima zemalja OECD, prikazanim na slici 4, procenat od oko 25% svrstava RS u zemlje sa višim brojem ukupnog broja domaćinstava koji imaju pristup sistemima daljinskog grejanja

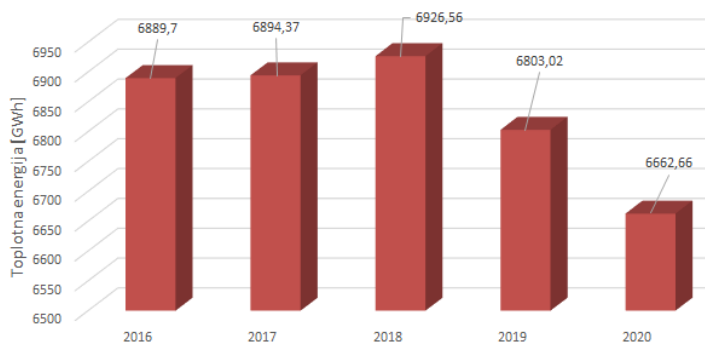


**Slika 6.** Struktura primarnih energenata koji su upotrebljeni za proizvodnju toplotne energije u sistemima daljinskog grejanja [6]

Ukupni instalisani kapaciteti gradskih toplana za proizvodnju toplotne energije u 2020. godini iznose 5.976 MW<sub>t</sub>, dok kapaciteti u vlasništvu drugih pravnih lica (dominantno JP EPS) iznose 999 MW<sub>t</sub>.

Na slici 6. data je struktura primarnih energenata koji su upotrebljeni za proizvodnju toplotne energije u sistemima daljinskog grejanja u Republici Srbiji. Dominantan energent je prirodni gas.

Godišnja proizvodnja toplotne energije koja je predata sistemima za daljinsko grejanje u RS prikazana je na slici 7. Godišnje potrebe postojećih sistema za daljinsko grejanje, zavisno od klimatskih uslova za određenu godinu, kreću se oko 7 TWh.



**Slika 7.** Godišnja proizvodnja toplotne energije koja je predata sistemima za daljinsko grejanje u RS [6]

#### IV PREGLED ZAKONSKE REGULATIVE SEKTORA GREJANJA U REPUBLICI SRBIJI

U ovom poglavlju dat je pregled zakonske regulative u smislu analize onih njenih delova kojima se podstiče integracija proizvodnje toplotne energije iz OIE u sistem daljinskog grejanja.

Krovnna osnova za integraciju OIE u sisteme daljinskog grejanja je *Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije* [7], u daljem tekstu: *Zakon*. Glava XII Zakona, *Korišćenje obnovljivih izvora energije u oblasti toplotne energije*, propisuje pravo na podsticajne mere i subvencije, dostupnost informacija o udelu OIE u proizvodnji toplotne energije kao i pitanje priključenja proizvođača toplotne energije iz OIE na sistem daljinskog grejanja. Pre dobijanja mera podsticaja, najznačajniji postupak za nove proizvođače toplotne energije iz OIE jeste priključenje na distributivni sistem toplotne energije. Članovi 72. i 73. Zakona nameću obavezu jedinici lokalne samouprave (JLS) da propiše uslove i postupak priključenja proizvođača iz OIE na distributivni sistem toplotne energije. Član 72. bliže određuje da je distributer toplotne energije dužan da priključi proizvođača iz OIE ili da mu ponudi priključenje i otkup toplotne energije u tri slučaja:

- ako se na sistem priključuju novi korisnici,
- ako se vrši zamena postojećih postrojenja za proizvodnju toplotne energije i
- ako proširuje kapacitete za proizvodnju toplotne energije.

Distributer toplotne energije može da odbije priključenje, iako je ispunjen jedan od prethodno tri nabrojana uslova, u sledećim slučajevima:

- ako postojeći sistem nema tehničkih mogućnosti za priključenje,
- ako nisu zadovoljeni tehnički parametri pouzdanog i sigurnog snabdevanja i
- ako dokaže da bi priključenje proizvođača iz OIE povećalo postojeću cenu snabdevanja električnom energijom.

Način na koji Zakon tretira priključenje nije podsticajan, jer se prvo definišu uslovi pod kojima je distributer dužan da ponudi priključenje, a potom uslovi kada distributer ni to nije dužan da uradi.

Regulativa na lokalnom nivou takođe ne stimuliše integraciju proizvođača iz OIE na sistem daljinskog grejanja jer je nepotpuna. Na primerima gradova Novog Sada i Beograda (koji imaju najveće konzume toplotne energije preko sistema daljinskog grejanja) može se konstatovati da su krovni dokumenti koji uređuju oblast daljinskog grejanja, odluke. Za Novi Sad to je Odluka o proizvodnji, distribuciji i snabdevanju toplotnom energijom iz toplifikacionog sistema Grada Novog Sada, odnosno za Beograd Odluka o snabdevanju toplotnom energijom u Gradu Beogradu. Zakon ne prepoznaje ove odluke. Obe odluke propisuju, kao i Zakon, da su određeni organi JLS dužni da propiše i donesu uslove za priključenje OIE proizvođača na sistem daljinskog grejanja, kao i uslove za sticanje statusa povlašćenog proizvođača. Nakon što su propisani u Odluci, predmetni uslovi se dalje ne pominju, odnosno sem predmetnih odluka ne postoje javno dostupna akta koja uređuju oblast priključenja i sticanja statusa povlašćenog proizvođača na nediskriminatoran način.

Positivan primer uređenja sistema daljinskog grejanja u smislu učesnika može da bude Novi Sad jer su načinjeni prvi koraci ka deregulaciji ovog sistema. Odlukom Grada osnovana je Agencija za energetiku Grada Novog Sada. Definisane su licence za proizvodnju i distribuciju toplotne energije, upravljanje distributivnim sistemom, kao i za trgovinu i snabdevanje toplotnom energijom. Definisani su postupci i uslovi za dobijanje licenci. I dalje jedno preduzeće obavlja gotovo sve funkcije definisane licencama, ali je učinjen prvi korak ka razdvajanju delatnosti.

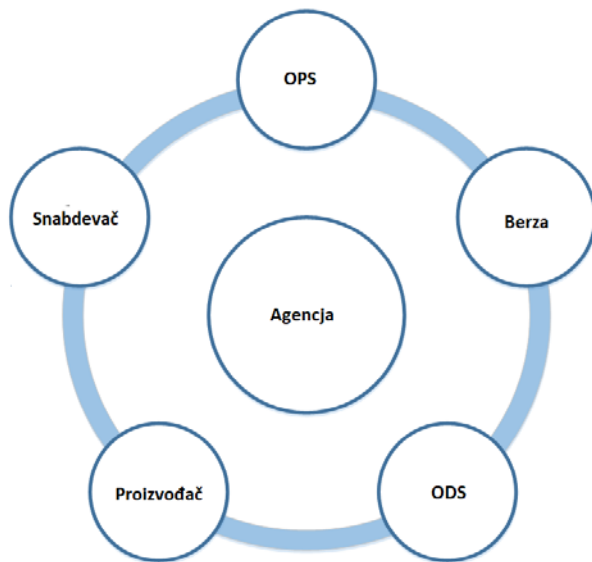
Potrebno je naglasiti da su proizvodnja, distribucija i snabdevanje toplotnom energijom komunalne delatnosti i da je krovni zakon za ove delatnosti Zakon o komunalnim delatnostima, koji nije u nadležnosti Ministarstva rudarstva i energetike. Stoga je kontrolna, objedinjujuća funkcija za oblast proizvodnje toplotne energije iz OIE, Vlada RS.

#### V PRIMER DEREGULACIJE TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE U RS I ANALOGNA PRIMENA NA SISTEME DALJINSKOG GREJANJA

Udeo OIE u sistemu daljinskog grejanja mogao bi se značajno uvećati deregulacijom tržišta daljinskog grejanja. Da bi do povećanja uдела došlo može se videti na primeru deregulacije tržišta električne energije. Postupak deregulacije koji bi trebalo sprovesti u velikoj meri bi bio sličan već izvršenoj deregulaciji tržišta električne energije. Prema tome, ne samo da je moguće uspostaviti analogiju između ova dva procesa, već je moguće iskoristiti bogato iskustvo stečeno prilikom prolaska kroz proces

deregulacije tržišta električne energije.

Deregulacija tržišta električne energije u Republici Srbiji započeta je izdvajanjem operatora prenosnog sistema iz Elektroprivrede Srbije, kao i osnivanjem Agencije za energetiku Republike Srbije, sa ulogom nezavisnog regulatornog tela u oblasti energetike. Osnivanjem operatora prenosnog sistema, delatnosti proizvodnje i prenosa električne energije su formalno-pravno razdvojene. Ovim postupkom Elektroprivreda Srbije je postala samo jedan od učesnika na tržištu, čime su se stekli uslovi za učešće i drugih proizvođača električne energije na tržištu. Deregulacija tržišta električne energije najpre je izvršena na nivou prenosnog sistema, dok je na nivou distributivnog sistema izvršena nešto kasnije, osnivanjem, odnosno izdvajanjem operatora distributivnog sistema iz Elektroprivrede Srbije. Time je formalno-pravno izdvojena i delatnost distribucije električne energije. Osnivanjem operatora distributivnog sistema stekli su se uslovi za učešće i drugih snabdevača električne energije na tržištu, pri čemu je Elektroprivreda Srbije, odnosno EPS Snabdevanje, zadržala ulogu garantovanog snabdevača. Uslovi za pojavu na tržištu i rad drugih snabdevača bili su stvoreni i pre konačnog izdvajanja operatora distributivnog sistema iz Elektroprivrede Srbije, ali uslovi učešća nisu bili u potpunosti deregulisani jer je operator distributivnog sistema bio deo iste kompanije kao i jedan od učesnika na tržištu. Na slici 8 navedeni su subjekti nastali nakon završenog procesa deregulacije.



Slika 8. Deregulacija sektora električne energije, učesnici

Tokom prethodno opisanog procesa, od jedne elektroprivredne kompanije nastale su četiri nove, odnosno dva operatora sistema kao i dve kompanije koje su ravnopravne učesnice na tržištu električne energije. Operatori prenosnog i distributivnog sistema su dobili arbitražnu ulogu na tržištu električne energije, odnosno glavni zadatak i jednog i drugog operatora je održavanje nesmetanog rada elektroenergetskog sistema kao i tržišta električne energije. Pod arbitražnom ulogom se podrazumeva organizovanje nediskriminatornog tržišta električne energije i omogućavanje jednakih uslova za pristup elektroenergetskom sistemu svim učesnicima na tržištu. Operatori prenosnog i distributivnog sistema su, po pravilu, neprofitabilne kompanije

čije troškove rada nadoknađuju svi učesnici tržišta, a kontrolu rada odnosno kontrolu nediskriminatornog ponašanja vrši Agencija za energetiku. Potrebno je napomenuti da je uloga Agencije za energetiku pre svega regulatorna, odnosno Agencija za energetiku daje saglasnost na predlog Pravila o radu prenosnog i Pravila o distributivnog sistema, koje donose operatori ovih sistema, kao i na predlog Pravila o radu tržišta. Agencija za energetiku takođe nadgleda sprovođenje predmetnih pravila i rešava sporove između učesnika na tržištu.

Prethodno opisan proces deregulacije tržišta električne energije se može, po analogiji, primeniti i na sistem daljinskog grejanja, s tim što bi u tom slučaju situacija bila nešto jednostavnija. Naime, toplotna energija se proizvodi blizu potrošnje, pa ne postoji prenosni, već samo distributivni sistem daljinskog grejanja. Samim tim, deregulaciju je potrebno izvršiti na lokalnu, na nivou distributivnog sistema odnosno izdvajanjem operatora distributivnog sistema, koji bi imao sličnu ulogu kao i operator distributivnog sistema električne energije, sa dodatnom ulogom da bude i market operator odnosno da organizuje tržište električne energije. Ovim postupkom razdvojile bi se delatnosti proizvodnje, distribucije i snabdevanja toplotne energije, što bi omogućilo učešće i drugih učesnika na tržištu. Kao i u slučaju Elektroprivrede Srbije, gradske toplane bi zadržale ulogu garantovanog snabdevača, dok bi se nadležnosti Agencije za energetiku RS proširile na oblast toplotne energije, uz ulogu objedinjavanja agencija za energetiku na lokalnom nivou (primer Agencije za energetiku Grada Novog Sada). Agencija za energetiku bi imala istu ulogu koju ima u slučaju tržišta i distributivnog sistema električne energije. Agencija bi imala i dodatnu ulogu, ulogu ujednačavanja propisa za oblast daljinskog grejanja, sa uvažavanjem lokalnih specifičnosti.

Na primeru postojećeg uređenja sistema daljinskog grejanja u Gradu Novom Sadu pokazana je primena deregulacije, odnosno transformacije postojećeg sistema:

- Proizvođači:
  - JKP Novosadska toplana, zadržalo bi funkciju proizvođača toplotne energije;
  - Drugi zainteresovani proizvođači toplotne energije.
- Distribucija:
  - Iz JKP Novosadska toplana, izdvojio bi se, kao samostalan privredni subjekt, Operator distributivnog sistema toplotne energije, sa funkcijom upravljanja, održavanja i razvoja distributivnog sistema toplotne energije.
- Snabdevači:
  - JKP Novosadska toplana, zadržalo bi funkciju snabdevača toplotnom energijom, a bilo bi i garantovani snabdevač toplotnom energijom;
  - Drugi zainteresovani snabdevači toplotnom energijom.
- Berza:
  - Operator distributivnog sistema toplotne energije obavljao bi i funkciju market operatora.
- Agencija:
  - Agencija za energetiku Novog Sada.

Deregulacijom sistema daljinskog grejanja ostvarila bi se mogućnost da se ostvare jasni, javni i nediskriminatorni uslovi za priključenje proizvođača toplotne energije na sistem daljinskog grejanja, a time bi se povećao broj proizvođača koji koriste OIE za proizvodnju, što bi dovelo do bržeg razvoja distributivnog sistema daljinskog grejanja, kao i do pada cene grejanja. Prethodno bi dalje vodilo i ka povećanju procenta građana koji imaju pristup distributivnom sistemu daljinskog grejanja, a samim tim i do povećanja procenta korisnika sistema daljinskog grejanja.

#### VI SAMOODRŽIV SISTEM PODSTICAJA ZA ULAGANJA U INFRASTRUKTURU I TOPLOTNE SISTEME KOJI KORISTE OBNOVLJIVE IZVORE ENERGIJE

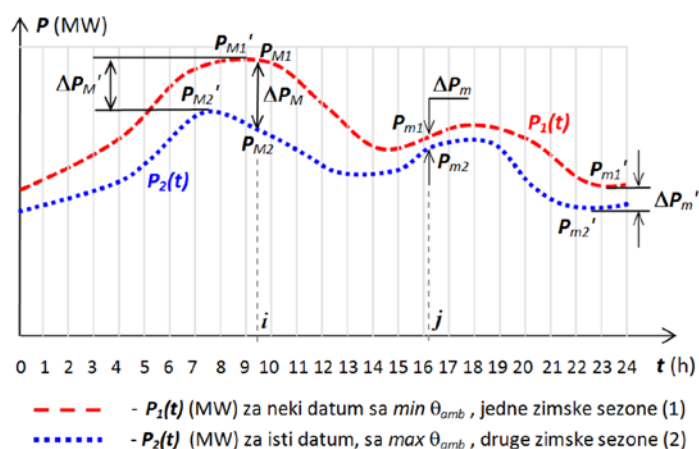
Potrebno je da sistem podsticaja favorizuje proizvođače toplotne energije koji koriste OIE. Takođe, sistem podsticaja bi trebalo da omogući i proširenje i unapređenje distributivnog sistema toplotne energije. Za potrebe sistema podsticaja potrebno je formirati fond na lokalnom nivou. Prihodi fonda obezbeđivali bi se uvođenjem i naplaćivanjem takse za potrošače toplotne energije koji koriste fosilna goriva, a sredstva fonda bi se investirala u podsticaje za integraciju proizvođača toplotne energije iz OIE. Takse, kao i podsticaji za investiranje u izvore toplotne energije iz OIE, respektivno, odnosili bi se na sve odgovarajuće potrošače toplotne energije u JLS, a ne samo na korisnike sistema daljinskog grejanja.

Sa stanovišta razrade predloga samoodrživog sistema podsticaja, mogu se definisati dva tipa korisnika kojima je potrebno uvesti takse, a to su korisnici koji toplotnu energiju dobijaju direktno iz fosilnih goriva (gas, mazut, ugalj) i korisnici koji se greju na električnu energiju.

Takse za korisnike koji koriste fosilna goriva je relativno jednostavnije odrediti. Potrebno je predvideti nivo očekivanih podsticaja i očekivanu količinu fosilnih goriva koja će biti potrošena. Taksu je potrebno obračunati proporcionalno, po jedinici mere fosilnog goriva, uzimajući u obzir količinu generisanja ugljendioksida tog fosilnog goriva u odnosu na kWh toplotne energije.

Takse za korisnike koji koriste električnu energiju za grejanje prostora nije jednostavno odrediti jer se takse primenjuju samo za deo potrošene električne energije. Procena potrošnje električne energije za grejanje nije jednoznačna. Od preuzete električne energije iz distributivne mreže samo deo se troši na grejanje. Potrebno je odrediti metodologiju kojom bi se za svakog od potrošača koji se greju na električnu energiju utvrdio procenat ukupne potrošene električne energije koji je potrošen za grejanje prostora.

Jedna od metoda je metoda poređenja dnevnih dijagrama za isto godišnje doba, sa oprečnim meteorološkim prilikama za određenog potrošača, kako bi se odredila korelacija potrošnje električne energije i ambijentalne temperature, odnosno da bi se na taj način odredio deo potrošene električne energije za potrebe grejanja. Na slici 9 prikazana je promena potrošnje jednog konzumnog područja za različite ambijentalne temperature, za isto godišnje doba, odnosno za isti datum, samo u različitim godinama.



**Slika 9.** Dnevni dijagram jednog konzumnog područja u dve zimske sezone sa oprečnim meteorološkim prilikama [8]

Ovakva metoda procene električne energije je primenjiva i na nivou pojedinačnih potrošača, ali nije očekivano da bi se koristila na taj način, zbog obimnosti posla kod primene ove metode. Realno je da se predmetna metoda iskoristi za određeno šire područje i da se na osnovu rezultata primene metode, nakon procene utroška električne energije za potrebe grejanja i utroška električne energije za druge svrhe, odredi granica potrošene električne energije nakon koje se na svaki kWh primenjuju takse.

Pored navedene metode, ukupna potrošena električna energija za potrebe grejanja mogla bi jednostavno da se odredi razlikom proizvedene i potrošene energije u toku i van grejne sezone.

Analogno za fosilna goriva, takse za korisnike koji koriste električnu energiju za proizvodnju toplotne potrebno je obračunati po jedinici mere električne energije (kWh), uzimajući u obzir količinu generisanja ugljendioksida prilikom proizvodnje električne energije u odnosu na kWh toplotne energije isporučen korisniku.

#### VII ZAKLJUČAK

Oblast grejanja, odnosno daljinskog grejanja, izuzetno je značajna u finalnoj potrošnji energije u RS i stoga je neophodno povećati učešće OIE u proizvodnom miks proizvedene toplotne energije. Postojeća regulativa koja uređuje ovu oblast nije potpuna. Za značajniju integraciju OIE u sisteme daljinskog grejanja potrebno je definisati jasne, javne i nediskriminatorne uslove priključenja na distributivni sistem toplotne energije, kao i uslove sticanja statusa povlašćenog proizvođača.

Za značajniju integraciju proizvođača iz OIE potrebno je izvršiti deregulaciju sistema daljinskog grejanja.

Proizvodnja, distribucija i snabdevanje toplotnom energijom su komunalne delatnosti i nisu u nadležnosti Ministarstva rudarstva i energetike (MRE), što predstavlja značajan problem pri kontroli sprovođenja planova strategija koje donosi MRE.

Samoodrživi sistem podsticaja potrebno je realizovati na lokalnom nivou, tako što bi se formirao fond čiji bi prihodi bili takse na potrošena fosilna goriva, kao i takse na električnu energiju korišćenu za grejanje prostorija.

Deregulacijom sistema daljinskog grejanja, uređenjem legislative, posebno pravila za priključenje i uspostavljanjem održivog sistema podsticaja zasigurno bi se povećala integracija proizvođača iz OIE u sistem daljinskog grejanja.

#### LITERATURA/REFERENCES

- [1] IEA - District Heating, <https://www.iea.org/reports/district-heating> [pristupljeno 15.04.2022]
- [2] Fleiter T, Elsland R, Rehfeldt M, Steinbach J, Reiter U, Catenazzi G, et al. Profile of heating and cooling demand in 2015. Heat Roadmap Europe Deliverable 3.1, 2017., <https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/09/3.1-Profile-of-the-heating-and-cooling-demand-in-the-base-year-in-the-14-MSs-in-the-EU28-2.pdf> [pristupljeno 15.04.2022]
- [3] 2015 Final Heating & Cooling, Demand in Austria, Country presentation, October 2017. [https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/11/HRE4-Country\\_presentation-Austria.pdf](https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/11/HRE4-Country_presentation-Austria.pdf), [pristupljeno 15.04.2022]
- [4] Colmenar-Santos, A., Rosales-Asensio, E., Borge-Diez, D., Blanes-Peiró, J. District heating and cogeneration in the EU-28: Current situation, potential and proposed energy strategy for its generalisation, Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 62, pp. 621-639, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.004>
- [5] Weiss, W., Spörk-Dür, M. *Solar Heat Worldwide* 2021, 2021. <https://doi.org/10.18777/ieashc-shw-2021-0001>
- [6] Izveštaj o radu sistema daljinskog grejanja u Republici Srbiji u 2020. godini, poslovno udruženje „Toplane Srbije“, [https://www.toplanesrbije.org.rs/uploads/ck\\_editor/files/Godisnji%20izvestaj%20pdf%202020%20final.pdf](https://www.toplanesrbije.org.rs/uploads/ck_editor/files/Godisnji%20izvestaj%20pdf%202020%20final.pdf) [pristupljeno 15.04.2022]
- [7] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije, "Službeni glasnik RS", broj 40 od 22. aprila 2021. <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2021/40/2/reg> [pristupljeno 15.04.2022]
- [8] Šiljkut, V., *Upravljanje potrošnjom u inteligentnim energetskim mrežama sa varijabilnom proizvodnjom*, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, 2015.

#### AUTORI/AUTHORS

**msr Aleksandar Latinović**, mast. inž. elektr. i računar., JP Elektroprivreda Srbije, [aleksandar.latinovic@eps.rs](mailto:aleksandar.latinovic@eps.rs)  
**msr Milan Đorđević**, mast. inž. elektr. i računar., Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu/JPElektroprivreda Srbije, [djordjevic.milan@eps.rs](mailto:djordjevic.milan@eps.rs)  
**msr Dragan Surudžić**, mast. inž. elektr. i računar., JP Elektroprivreda Srbije, [dragan.surudzic@eps.rs](mailto:dragan.surudzic@eps.rs)  
**dr Vladimir Šiljkut**, dipl. inž. el., JP Elektroprivreda Srbije, [vladimir.siljkut@eps.rs](mailto:vladimir.siljkut@eps.rs)

# Energetska tranzicija – inteligentna, pravedna i ekološki prihvatljiva

## Energy Transition – Smart, Green and Just Transition

Jasmina Mandić-Lukić, Đorđina Milovanović, Maja Stipić, Radoslav Raković, Sanja Petrović-Bećirović

Energoprojekt Entel, Beograd

**Rezime** - Energetska kriza koja je započela 2021. godine i nastavlja se u 2022, pored velike pometnje na tržištu električne energije, doprinela je da se mnoge aktivnosti vezane za energetska tranziciju i sprovođenje određenih akata u tom smislu ponovo preispituju.

Energetska tranzicija je dugotrajan proces i generalno vodi ka smanjenju proizvodnje energije zasnovane na uglju, a u skladu sa klimatskim ciljevima. S obzirom da su se u međuvremenu desile značajne promene i da one još uvek traju, kako na području razvoja novih tehnologija, tako i na energetskom tržištu, ciljeve tranzicije treba postaviti tako da imaju sledeće karakteristike, tj. da to bude: inteligentna, pravedna i ekološki prihvatljiva tranzicija.

EU projekat TRACER (H2020, [www.tracer-h2020.eu](http://www.tracer-h2020.eu)) je jedan od projekata čija će realizacija doprineti uspešnom ostvarivanju procesa tranzicije. Projektom je obuhvaćeno 9 regiona u Evropi u kojima se vrši intenzivna eksploatacija uglja. Za Srbiju je izabran Kolubarski region uglja. Cilj projekta je utvrđivanje strategije istraživanja i inovacije (R&I – Research&Innovation) koja će doprineti lakšoj i uspešnoj tranziciji pomenutih regiona u održive energetske nekarbonske sisteme. U okviru rada biće prikazani primeri dobre prakse iz projekta.

Deo rada posvećen je tranziciji Kolubarskog ugljenog regiona, sa mogućnostima koje pružaju nove tehnologije, ali su istaknute i neke pretnje koje se mogu naći na putu tranzicije. U zaključku se ističe da su ciljevi tranzicije u evropskim zemljama zajednički, a putevi do nje različiti.

**Ključne reči** - inteligentna tranzicija, pravedna tranzicija, ekološki prihvatljiva tranzicija, ugljeni regioni, primeri dobre prakse

**Abstract** - The energy crisis that began in 2021 and continues in 2022, in addition to the great confusion in the electricity market, has contributed to many activities related to energy transition and the implementation of certain acts in this regard reconsidered and new conclusions and decisions made.

Energy transition is a long-term process and generally leads to a reduction in coal-based energy production, in line with climate goals. Having in mind that changes are taking place in the meantime, both in the development of new technologies and even more in the energy market, the goals of the transition should be set so that they have the following characteristics, ie. to be: Smart transition, Just transition and Green transition.

The EU TRACER project (H2020, [www.tracer-h2020.eu](http://www.tracer-h2020.eu)) is one of the projects whose implementation will contribute to the

successful realization of the transition process. The project covers 9 regions in Europe with intensive coal exploitation. The Kolubara region of coal has been chosen for Serbia. The aim of the project is to establish a strategy for development and innovation (R & I) that will contribute to easier and more successful transition of these regions to sustainable energy non-carbon systems. The paper will present examples of good practice from the project.

Part of the paper is dedicated to the transition in the Kolubara Coal Region, with the opportunities provided by new technologies, but some threats that can be found on the transition path are also highlighted. The conclusion emphasizes that the goals of transition in European countries are common, and the paths to it are different.

**Index Terms** - Smart transition, Just transition, Green transition, Coal regions, Best practice

### I UVOD

Energetski sektor Srbije treba da se promeni, ne samo zbog pritiska Evropske unije (EU) ili Energetske zajednice jugoistočne Evrope, već i da bi se obezbedila čistija životna sredina i jeftinija električna energija za sadašnje i buduće generacije. Energetska tranzicija takođe mora da se posmatra kao razvojna prilika, što ona i jeste.

Kao važni preduslovi za razvoj energetske tranzicije i procesa dekarbonizacije, tokom 2021. godine usvojeni su sledeći zakoni [1]:

- Izmene i dopune Zakona o energetici,
- Zakon o energetske efikasnosti i racionalnom korišćenju energije,
- Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije,
- Izmene i dopune Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima.
- Zakon o klimatskim promenama.

Pored toga u toku je usvajanje Strategije nisko-ugljeničnog razvoja Republike Srbije, sa Akcionim planom, kao i niza dokumenata koji će poslužiti kao osnova za definisanje budućeg okvira energetske potrošnje i proizvodnih kapaciteta u Srbiji u koje spadaju:

- Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2040. godine sa projekcijama do 2050. godine sa programom realizacije Strategije,
- Integrisan nacionalni energetske i klimatski plan (INECP)

do 2030,

- Strateška procena uticaja na životnu sredinu nove Strategije razvoja energetike.

## II CILJEVI ENERGETSKE TRANZICIJE U EVROPI

Jedan od globalnih izazova današnjeg sveta je borba protiv klimatskih promena koja, između ostalog, uključuje i borbu protiv povećanja emisije gasova sa efektom staklene bašte, posebno CO<sub>2</sub>, u atmosferu. Povećanje emisije CO<sub>2</sub> je uzrokovano ljudskim aktivnostima i u prethodnim dekadama njegov sadržaj u atmosferi je rastao (slika 1). Glavni izvor CO<sub>2</sub> emisije je sagorevanje fosilnih goriva, koji se koriste u proizvodnji toplotne i električne energije. U cilju zaustavljanja ovog procesa neophodno je da se izvrši energetska tranzicija, čiji je osnovni zadatak značajno smanjenje dosadašnje upotreba fosilnih goriva, tako što će se ona zameniti nefosilnim izvorima energije, tj. obnovljivim izvorima energije (energija vode, vetra i Sunca, geotermalna energija ili biomasa).

Energetska tranzicija je složen, dugotrajan i skup proces, i zahteva tehnološke promene, ali i promene ličnih navika. Potrebne su stalne stimulacije i podsticaji.

Evropa je veoma heterogena i postoje razlike između država u mnogim aspektima – kulturno, istorijski, ekonomski, socijalno i politički [2]. To važi i za energetske sisteme evropskih zemalja, ali bez obzira na to Evropska unija se složila oko zajedničkih ciljeva (npr. Okvirna konvencija o klimatskim promenama UN (Ujedinjene nacije), COP (Conference of the Parties) 21 u Parizu 2015). Pored toga što su doneti ciljevi i definisani doprinosi različitih zemalja njihovom dostizanju, dogovoreno je i da se prati napredak u njihovoj realizaciji.

Skoro tri decenije UN okupljaju skoro sve zemlje na planeti na globalnim samitima o klimatskim promenama – nazvanim COP. U tom periodu klimatske promene su od marginalnog pitanja postale globalni prioritet. Jedan od ključnih samita bio je COP21, održan u Parizu 2015. i tada su se sve zemlje složile da rade zajedno na ograničavanju globalnog zagrevanja na ispod 2 °C do 2100. godine, ciljajući na 1,5°C, a time i da obezbede finansije za postizanje ovih ciljeva. Zemlje su se obavezale da naprave nacionalne planove u kojima će se utvrditi koliko će smanjiti svoje emisije – poznate kao nacionalno utvrđeni doprinosi ili „NDC“. Dogovorili su se i da će se svakih pet godina vršiti ažuriranje planova, u skladu sa promenama koje se prate.

U novembru 2021, Velika Britanija je na konferenciji koja je održana u Glazgovu, COP 26, bila domaćin događaja koji je okarakterisan kao poslednja šansa da se donesu stavovi koji bi omogućili da se klimatske promene stave pod kontrolu [3].

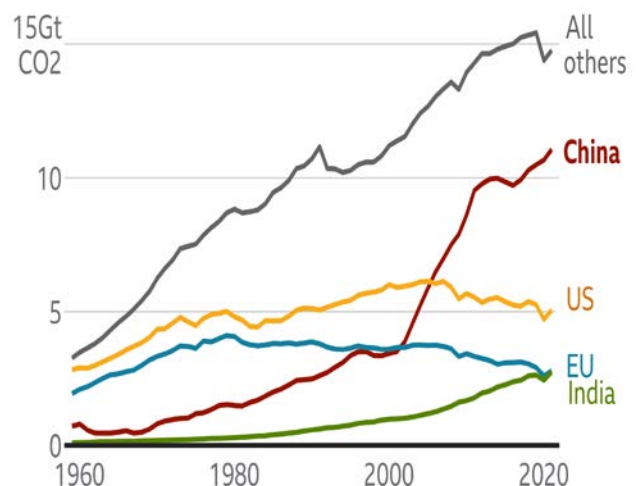
Bilo je planirano da za konferenciju u Glazgovu zemlje ažuriraju svoje planove. Pri tom je važno napomenuti da obaveze postavljene u Parizu nisu dale rezultate u pogledu približavanja ograničavanju globalnog zagrevanja na 1,5 °C.

Na sastanku u Glazgovu je dogovoreno sledeće:

1. Od zemalja se traži da iznesu ambiciozne ciljeve smanjenja emisija do 2030. koji su u skladu sa dostizanjem neto nule do sredine veka. Da bi ispunile ove dugoročne ciljeve, zemlje će morati da ubrzaju dinamiku

izbacivanja uglja, da smanje krčenje šuma, da ubrzaju prelazak na električna vozila i podstaknu ulaganja u obnovljive izvore energije.

2. Potrebno da se zaštite životne zajednice i prirodna staništa, jer klima se već menja i nastaviće da se menja, čak i kada smanjimo emisije, sa mogućim razornim posledicama. Potrebno je da se zaštite i obnove ekosistemi. Takođe, treba da se izgrade sistemi odbrane i upozorenja, kao i fleksibilna infrastruktura i poljoprivreda, kako bi se izbegli gubici domova, sredstava za život, pa i samih života.
3. Da bi se ispunila prethodna dva cilja, razvijene zemlje moraju da ispune svoje obećanje da će, do 2030. godine, mobilisati finansijska sredstva u iznosu od najmanje 100 milijardi dolara godišnje za aktivnosti u vezi sa klimatskim promenama. Takođe, međunarodne finansijske institucije moraju da daju svoj doprinos i u finansiranju treba da učestvuje i privatni i javni sektor.
4. Samo zajedničkim radom može da se odgovori na izazove klimatske krize. Potrebno je finalizirati Pariski pravilnik (detaljna pravila koja čine Pariski sporazum operativnim) i ubrzati akciju za rešavanje klimatske krize kroz saradnju institucija vlade, preduzeća i civilnog društva.



**Slika 1.** Godišnje emisije CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub>) u odabranim naprednim ekonomijama [4]

Zemlje EU-28 imaju potpuno drugačije energetske sisteme i uslove tranzicije, tako da će različitim brzinama ići ka zaštiti klime i zameni fosilnih goriva. Takođe, države članice su i suverene u svojim odlukama, pa će svaka imati i svoje zakone i regulative.

Za sada, samo nekoliko članica država EU dobro ispunjavaju zadate ciljeve i obećanja, posebno skandinavske zemlje, što je posledica njihovih postojećih energetske politike. Mnoge evropske zemlje se suočavaju sa teškoćama da održe korak sa postavljenim zahtevima, usled njihove političke i ekonomske situacije.

Ono što se zapaža je da je dosadašnji pristup zemalja EU zaštiti klime i energetske tranziciji prilično ograničen na nacionalne ciljeve i nacionalne energetske politike. Postavlja se pitanje da li bi ovaj proces bio mnogo efikasniji, uspešniji i jeftiniji ako bi se

sprovodio kroz optimizaciju u većim regionima.

### III PRINCIPI TRANZICIJE

Neophodnost energetske tranzicije je nesporna, samo je pitanje na koji način da se sprovede, odnosno zaključak je da su ciljevi isti u celom svetu, posebno u Evropi, ali su putevi za realizaciju različiti.

Evropa doprinosi i putem finansiranja velikog broja R&I projekata čija je tema energetska tranzicija i postepeno napuštanje korišćenja uglja u svrhu proizvodnje energije.

Jedan od takvih projekata je i EU projekat TRACER (H2020; [www.tracer-h2020.eu](http://www.tracer-h2020.eu)) [5] koji podržava brojne regione koji intenzivno koriste ugalj širom Evrope da osmisle (ili redizajniraju) svoje strategije istraživanja i inovacija (R&I) kako bi se olakšala njihova tranzicija ka održivom energetskom sistemu. TRACER konzorcijum se sastoji od različitih ciljnih regiona: Jugoistočni region - Bugarska, Severozapadna Češka - Češka, Lužički okrug lignita - Nemačka, Zapadna Makedonija - Grčka, Gornjošlesko ugljeno polje - Poljska, Zapadni region, dolina Jiu - Rumunija, Vels - UK, Kolubara - Srbija, Donjeck - Ukrajina. Osnovne aktivnosti TRACER-a uključuju implementaciju EDP-a (Entrepreneurial Discovery Process), tj. podsticanje preduzetništva, tako da se u svakom ciljnom regionu mobilise širok spektar zainteresovanih strana, kako bi se razvila odgovarajuća struktura upravljanja, u cilju analize i dogovora oko zajedničke vizije i prioriteta u vezi sa tranzicijom sa uglja na neke druge povoljnije izvore energije. Kroz projekat će biti razvijane R&I strategije, industrijske mape puta i alati za podršku u odlučivanju, zajedno sa ključnim zainteresovanim stranama u ciljnim regionima koje obuhvata TRACER projekat. Dalje aktivnosti TRACER-a uključuju identifikaciju i analizu primera najbolje prakse i ambicioznih procesa tranzicije u regionima sa intenzivnom upotrebom uglja i detaljnu procenu društvenih, ekoloških i tehnoloških izazova.

Imajući u vidu prethodno navedeno o neophodnosti energetske tranzicije, kao i posebnih lokalnih uslova koji diktiraju način i dinamiku, potrebno je da tranzicija ispunji neke neophodna svojstva, tj. da bude:

- pravedna,
- inteligentna,
- ekološka.

#### III.1 Pravedna tranzicija (*Just Transition*)

Pitanje potrebe za energetskom tranzicijom se ne postavlja, samo treba da se izvrši izbor kako da se izvede tranzicija. Pravedna tranzicija osigurava održivost životne sredine, kao i pristojan rad, socijalnu integraciju i iskorenjivanje siromaštva. To i jeste zahtev Pariskog sporazuma, da se ustanove nacionalni planovi za klimatske promene koji uključuju mere tranzicije sa zahtevom za pristojne uslove rada i kvalitetne poslove [6,7,8].

Transparentno planiranje koje uključuje pravedne tranzicije mere sprečiće strah, protivljenje i međudruštvene i generacijske konflikte. Ljudi moraju da shvate da uprkos pretnjama i poteškoćama koje prate proces tranzicije u tom procesu se u budućnosti nudi i veliki broj prilika i mogućnosti.

Jasno je da se pravedna tranzicija neće pokrenuti sama od sebe.

Potrebno je da se pristupi izradi planova i politike vezanim za taj proces. Radnici i zajednice koji zavise od prerade fosilnih goriva neće preko noći naći alternativne izvore prihoda, pa tranzicija nije samo postupno ukidanju zagađujućih sektora. Treba da se osmisle nova radna mesta, odnosno nove industrije, nove veštine. To podrazumeva i nove investicije, pa je to prilika da se stvori ravnopravnija i otpornija ekonomija.

Za regione koji su vezani za proizvodnju uglja, od vitalnog značaja je obnova zajednice investiranjem u novu energiju, nove industrije i nova radna mesta. U gradovima je potrebno ulagati u transport sa niskim i nultim emisijama, čistu energiju i cirkularnu ekonomiju. U industriji tranzicija donosi prelazak na energiju iz obnovljivih izvora, a svi industrijski procesi treba da budu čisti i ekološki ispravni. Kroz kolektivne pregovore, radnicima treba da se obezbedi podrška za prekvalifikaciju i nalaženje novih radnih mesta. Sama tranzicija nudi priliku da se istovremeno reše neki ključni izazovi: klimatske promene, ekonomska nejednakost i društveno uključivanje.

Preporuke EU za uključivanje u pravednu tranziciju su:

Preporuka 1: Posvećenost socijalnom dijalogu na svim nivoima kao sastavnom delu planova za smanjenje emisija i prilagođavanje uticajima klimatskih promena.

Preporuka 2: Uspostavljanje planova i strategije za pravednu tranziciju, uz podršku fondova za pravednu tranziciju.

Preporuka 3: U okviru pravedne tranzicije obezbediti podršku javnosti i poslodavaca za prekvalifikaciju svih radnika, posebno za ugrožene radnike.

Preporuka 4: Investirati u infrastrukturu sa niskim emisijama koja stvara radna mesta koja omogućavaju adekvatan kvalitet života, posebno u ugroženim zajednicama, regionima i sektorima.

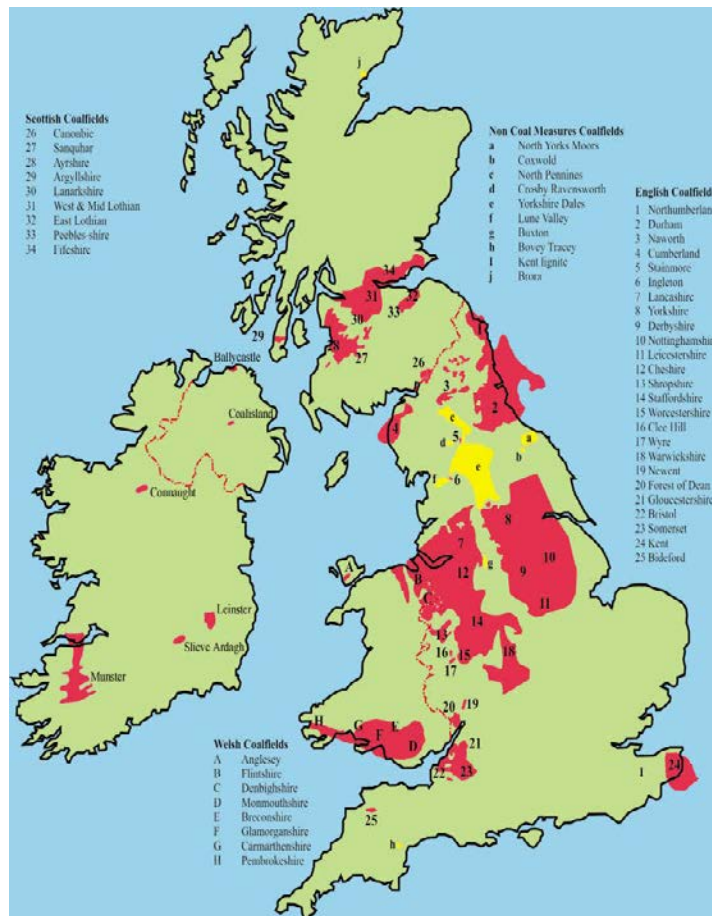
Preporuka 5: Osigurati da otkrivanje rizika vezanih za klimu od strane kompanija, takođe uključuje i rizik zapošljavanja i tranzicione planove za njihovo rešavanje.

Primeri dobre prakse [9]: U okviru projekta TRACER postoji deo koji se bavi primerima dobre prakse, koji su sortirani po različitim oblastima od značaja za energetsku tranziciju. U ovom delu su objedinjeni primeri dobre prakse u oblastima tržišta rada i prekvalifikacije, socio-kulture i turizma; predstavljeno je preko 10 modela najbolje prakse koji bi mogli da posluže i drugim ugljenim regionima za primer. U nastavku su opisani neki od njih.

*Tržište rada i prekvalifikacija* – Praksa u preduzeću Ebbv Vale, Vels, UK

Posledica zatvaranja rudnika je imala značajan društveni uticaj, iako se velška vlada borila protiv nezaposlenosti i ekonomskog pada kroz regionalnu politiku. Vlada Velsa je restrukturiranjem tržišta rada i prekvalifikacijom zaposlenih podržala procese industrijske tranzicije, pri čemu su finansijska sredstva obezbeđena iz državnog i evropskog budžeta prema programu za „Obrazovanje i veštine za starije od 16 godina”, sa fokusom na „Praksa, veštine i obuka”, za radnike ali i poslodavce. Zajednički model za praksu je da se praktikanti (bilo je obuhvaćeno preko 7000 radnika) kreću između različitih poslodavaca. Ova vrsta

obuke se uglavnom primenjuje u građevinskoj i inženjerskoj industriji, ali postaje sve popularnija i u turizmu.



**Slika 2.** Mapa rudnika uglja u Južnom Velsu (Izvor: Northern Mine Research Society, n.d.) [9]

*Društveno-kulturni* - Planeta Petrila - koraci ka umetnosti, dolina Jiu, Rumunija (Aneks 8)

Transformacija rudnika uglja Petrila bila je glavna svrha inicijative 2012. godine, sa ciljem da se od starog rudnika napravi lokacija koja će podsećati na istoriju vezanu za eksploataciju uglja (muzej), ali i da postane novi multidisciplinarni prostor za okupljanje stanovništva (kultura, umetnost, i sl.). Cilj je bio da se privuku umetnici, stručnjaci, vlasti i lokalna javnost, sa ciljem višenamenskog događaja, a da bi ceo rudnik Petrila dobio održivu budućnost, izgrađenu iz reprezentacije industrijske prošlosti. Prepoznavanje rudnika kao kulturnog nasleđa od nacionalnog značaja, u oblasti industrijskog nasleđa, privuklo je brojne turiste iz zemlje i inostranstva. Važno je napomenuti da se i dalje radi na ovom lokalitetu, uglavnom na dobrovoljnoj bazi.

*Turizam* - Od rudarstva do odmora iz snova, „Lužičko jezero“, Nemačka

Planirano je da Lužica treba da postane evropski model regiona za strukturnu tranziciju i to podržavaju nacionalna vlada, savezne države Brandenburg i Saksonija, lokalne zajednice i administrativni okruzi, poslodavci, sindikati i organizacije civilnog društva (BMVi, 2019, str.74).

Rudarstvo je prisutno u ovim krajevima još od 1844. godine. Pored dobrobiti koje je donelo, eksploatacijom rudnika degradirana je životna sredina, zagađen je vazduh, zemljište i voda. Od 1970. godine, započeto je postepeno ukidanja eksploatacije lignita.



**Slika 3.** Deo lanca jezera u Lužica regionu (Izvor: LMBV - Peter Radke, javno vlasništvo) [9]

Skoro svi rudnici na jugu Lužice su zatvoreni, a stare jame koje su ostale u procesu rudarenja pretvorene su u jezerski okrug. Na ovaj način je značajno ulepšan pejzaž, što je donelo i promenu u životima ljudi. Ovakvo rešenje je u ovoj oblasti omogućilo razvoj usluga, turizma, rekreacije i mobilnosti/transporta. Ove nove ponude se promovišu i na međunarodnim i specijalizovanim portalima i internet stranicama (booking.com, Seen.de, HotelsamSee.com) i na društvenim medijima, gde mogu da se dobiju detaljne turističke informacije.

### III.2 Inteligentna tranzicija

Inteligentna (pametna) specijalizacija sugerise da je najefikasniji način za ekonomski razvoj, kako regionalni, tako i nacionalni, usmeriti resurse na ograničen broj prioriteta, a na osnovu prepoznatih prioriteta oblasti. Pristup strategiji pametne specijalizacije (S3 – Smart Specialisation Strategy) zasniva se na istraživanju koje sugerise da inovacije zavise od saradnje, što omogućava da se nedovoljno korišćeno znanje i kapaciteti za inovacije identifikuju i efikasnije koriste.

Osnovne karakteristike pristupa pametne specijalizacije uključuju:

- opsežnu analizu regionalne (ili nacionalne) socio-ekonomske situacije;
- „proces preduzetničkog otkrivanja“ gde širok spektar zainteresovanih strana raspravlja i postiže dogovor o prioritetima i potrebama i
- dogovor zainteresovanih strana o formalnoj strategiji i mapama puta za implementaciju.

Strategija pametne specijalizacije Republike Srbije (RS) [10] predstavlja deo inovacione politike koja okuplja donosioc

odluka, akademsku i poslovnu zajednicu, kao i civilno društvo sa ciljem razvoja ograničenih prioritarnih privrednih oblasti. Na osnovu strategije pametne specijalizacije u RS, identifikovane su prioritarnostne oblasti, kako na nacionalnom nivou, tako i na regionalnom.

Beogradski administrativni region je najsnažniji ekonomski i univerzitetski centar RS, u kojem je prepoznat ekonomski potencijal u oblasti informacionih tehnologija, istraživanja i razvoja, kreativnih industrija, kao i inovacioni potencijal u nekim granama prerađivačke industrije.

U administrativnom regionu Šumadija i zapadna Srbija (gde se nalazi ugljeni basen Kolubara), poljoprivreda (uključujući industriju proizvodnje hrane) je važna privredna delatnost, pored značajnog naučnog potencijala u oblasti mašinstva i farmacije, kao i izraženog rasta proizvodnje mašina opšte namene.

*Primer hibridne elektrane* - Postoji puno primera projektovanja, implementacije i praćenja strategija pametne specijalizacije, i vezani su za različite evropske zemlje i regione, od kojih neke imaju istoriju u rudarstvu uglja. Još od 2014. strategije pametne specijalizacije su igrale ključnu ulogu u istraživanju inovacija u regionima sa intenzivnom proizvodnjom uglja, gde su uglavnom korišćene njihove konkurentne prednosti u proizvodnji i transportu energije.

Pojedini evropski regioni su prepoznali čiste tehnologije kao prioritet pametne specijalizacije u svojim strategijama. Primer je hibridna elektrana, koju čine miks fotonaponske energije i energije vetra. Naravno, primena ovog rešenja nije ograničena na regione sa intenzivnom upotrebom uglja, već se može primeniti širom zemlje.

#### *Zašto da se koristi hibridna energija?*

Prisutan je trend koji podstiče prelazak na hibridnu energiju, što je prouzrokovano značajnom primenom obnovljivih izvora energije vetra i solarne energije, a koji su nestalnog karaktera. Pored toga, industrije su zabeležile eksponencijalno smanjenje troškova baterija za skladištenje energije, kao i rast digitalnih energetskih rešenja koja omogućavaju bolju integraciju proizvodnih sredstava i interakciju sa mrežom u realnom vremenu. Prisutan je naravno i trend primene obnovljivih izvora u cilju realizacije ekoloških ciljeva.

Hibridni sistem je kombinacija korišćenja energije vetra i solarne energije, za generisanje električne energije, a ima značajne prednosti u odnosu na sisteme koji su potpuno zavisni od jednog izvora energije, prvenstveno u pogledu raspoloživosti, kao i snage. Zadatak projekatana je da maksimiziraju ukupnu proizvedenu energiju iz sistema uz nižu cenu i veću pouzdanost.

Generalno, vetro-solarni hibridni energetski sistem se sastoji od vetroturbina, fotonaponskog niza, kontrolera i baterije za skladištenje energije. Vetroturbine se koriste za pretvaranje energije vetra u mehaničku energiju, a zatim u električnu energiju. Proizvedena energija iz ovog sistema je naizmjenična i nestabilna, pa se koriste kontrolne jedinice ili invertori da bi je učinili neprekidnom i uskladištili u bateriju. Što se tiče solarne energije, koriste se solarni fotonaponski paneli (serijski ili paralelno) pomoću kojih se solarna energija pretvara u električnu energiju. Ova energija je u obliku jednosmerne struje, čuva se u

bateriji i napajanju kontrolera za AC ili DC opterećenja. Sistem ima visok dnevni kapacitet proizvodnje električne energije, niske troškove proizvodnje, malo održavanje i ima i druge prednosti [11]. Primeri dobre prakse realizovanih hibridnih sistema su:

- Holandija - zasnovano na obnovljivoj energiji - vetru, suncu i baterijama - Vattenfall gradi svoju prvu potpunu hibridnu elektranu u Holandiji, Haringvliet. Investicija je oko 35 miliona evra. "Haringvliet Zuid Energi Park" je prvi projekat u kojem Vattenfall kombinuje energiju.
- Indija - u Andra Pradešu se gradi hibridno postrojenje od 41 MW, fotonaponski sistemi od 25 MW i sistemi za proizvodnju energije vetra od 16 MW, spojeni sa optimizovanim sistemom za skladištenje energije [13].

Da bi se razvio ovakav sistem potrebno je uraditi modeliranje i matematičke proračune. Važne komponente predstavljaju:

- meteorološki podaci za izabranu lokaciju(e),
- zahtev za opterećenjem,
- konfiguracija sistema.

Generalno, važno je pokrenuti inicijative, uključiti stanovnike i lokalne političare kako bi se dobila što veća podrška za planirani projekat.



**Slika 4.** Vattenfall | Haringvliet (Holandija) fotomontaža hibridne elektrane [11]

Takođe, veliki značaj ima i postojeća infrastruktura koja je prisutna u ugljenom regionu. U Kolubarskom regionu postoji dobro razvijena saobraćajna mreža (putna i železnička), zatim dalekovodna mreža, telekomunikacije i sl.

#### *III.3 Ekološka tranzicija*

Rekultivacija zemljišta u ugljenim basenima, posle eksploatacije uglja, je složen proces, koji podrazumeva vraćanje degradiranog prostora (otkopanih prostora i deponija) u stanje pogodno za ponovno intenzivnije korišćenje. Rekultivacija zemljišta, uključuje i revegetaciju površinskih kopova prema utvrđenom planu gajenja biljaka i useva.

Ključni parametri koje treba imati u vidu prilikom koncipiranja

procesa rekultivacije posle zatvaranja rudnika su: smernice koje su primenjivane u toku eksploatacije rudnika u pogledu privremenih radova na rekultivaciji prostora, podaci o kvalitetu zemljišta i mogućnostima njegovog korišćenja, mogući načini poboljšanja kvaliteta u skladu sa aktuelnim uslovima, uključujući i klimatske promene u datom području.

Konačna strategija upravljanja zemljištem treba da bude prilagodljiva kako bi se pravovremeno reagovalo u slučaju promene uslova gajenja i prinosa primenjenih useva. Mogućnosti različitih načina korišćenja zemljišta obezbeđuju optimalnu ekonomsku i ekološku vrednost, a time i njihovu afirmaciju od strane zainteresovanih strana u celini.

Gledajući relevantnu tehničku literaturu, ali i međunarodne zakonske okvire i pravila implementacije, zajednički imenitelj je obnavljanje kopnenog pejzaža različitim tehničkim i biološkim merama.

Rekultivacija rudnika se bavi mnogim specifičnim ciljevima, od obnove produktivnih ekosistema do stvaranja industrijskih i/ili neindustrijskih područja. Rehabilitacija zemljišta i ekosistema ima za cilj ne samo oporavak narušenog pejzaža i zemljišta, već i dugoročno očuvanje rudarskih ostataka. To znači da se eliminišu svi rizici po životnu sredinu i zdravlje ljudi izazvanih nekadašnjim rudarskim aktivnostima, kao što su negativni uticaji na podzemne vode, emisiju zagađujućih materija, vetar i eroziju vode.

Savremena rekultivacija rudnika predstavlja pored ekološkog, i socio-ekonomski oporavak pogođenog regiona – neophodan za način života i dobrobit ljudi [14]. Sa ekološke tačke gledišta, rekultivacija rudnika je prilično zahtevna rekonstrukcija ekosistema – od neobnovljenog do željenog stanja oporavka.

Postojeći primeri rekultivacija pokazuju da ona često podrazumeva samo stvaranje elementarnih uslova za planiranu naknadnu upotrebu, pri čemu je još uvek je nejasno koja vrsta rekultivacije bi imala najpovoljnije efekte imajući u vidu predviđene ciljeve.

U daljem tekstu predstavljena su neka od rešenja najbolje prakse koja su opisana u projektu TRACER, kao i i preporuke iz iskustva i naučnih istraživanja (poljoprivredna i šumska rekultivacija, kao i sanacija prirode).

Na primerima za Češku i Nemačku vidi se da je rekultivacija regulisana na različit način. U Češkoj su rudarske kompanije u obavezi da vrate zemljište u povoljnije stanje, čak i u odnosu na vrednost pre otvaranja rudnika [13]. U Nemačkoj, rekultivacija u smislu ponovnog korišćenja zemljišta (kao što je definisano Saveznim zakonom o rudarstvu) potencira produktivnost zemljišta, zahteve u pogledu korišćenja, kao i ekonomske zahteve, pre nego ekološke aspekte, posebno u poljoprivredi i šumarstvu.

Prema [13] i [15] postoje tri komplementarna, a ponekad suprotstavljena koncepta obnavljanja prirode u rudarskim regionima, koji vode ka različitim pristupima i opcijama upravljanja: (1) omogućavanje prirodne dinamike rekultivacije, uticaja čoveka (pristup blizak prirodi) i (2) primena selektivnih vrsta i (3) mere zaštite staništa u smislu upravljanog (planiranog procesa projektom) procesa.

Gotovo uvek rudarska kompanija ima obavezu da obnovi prostor koji je koristila za rudarenje. Procenjuje se da su troškovi rekultivacije samo mali deo ukupnih troškova u eksploataciji rudnika. Tako, na primer, u Lužičkom okrugu, gde se eksploatiše lignit, minimalna obnova ekosistema iznosi samo 2 do 4% troškova proizvodnje.

#### IV ZAKLJUČAK

Tema rada je energetska tranzicija, sa naglaskom na osobine koje bi trebalo da sama tranzicija pokriva. Imajući u vidu da su u Srbiji još uvek u pripremi nekoliko ključnih dokumenata vezanih za tranziciju, pažnja je usmerena na osobine koje tranzicija treba da ima: da bude inteligentna, pravedna i ekološki prihvatljiva, nezavisno kojim putem se tranzicija kreće.

Pored toga, treba naglasiti da tranzicija mora da ima određeni progres i da što pre treba da se pristupi smanjenju emisija CO<sub>2</sub>. Trenutno stanje u Srbiji, a može se reći i u zemljama Zapadnog Balkana (Bosna i Hercegovina, Crna Gora itd.) [16], je najbolje predstavljeno latinskom izrekom *Periculum in mora*, tj. *Opasnost je u oklevanju!* Veliki deo donosilaca odluka i stručne javnosti smatra da napuštanje korišćenja uglja nije poželjan smer tranzicije i razvoja energetike, odnosno može se reći da je prisutna neodlučnost i spora realizacija.

U tako ozbiljan proces kao što je energetska tranzicija, koja bi trebalo da se odigra u naredne tri decenije, treba da se uključe sve zainteresovane strane, da se ostvari komunikacija i društvena dimenzija [17], što je sigurno od primarne i možda odlučujuće važnosti.

U cilju lakšeg prihvatanja tranzicije, u sve njene procese treba uključiti lokalne zainteresovane strane (*lokalni stakeholderi*). Radi boljeg razumevanja, svaka osobina tranzicije je prikazana kroz primere dobre prakse (realizovane projekte) koji su opisani u projektu TRACER (HORIZON 2020) – *Pametne strategije za tranziciju u regionima sa intenzivnom eksploatacijom uglja*. Date primere mogu korisno da upotrebe i drugi regionu koji imaju sličnu problematiku.

#### ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Autori se zahvaljuju TRACER partnerima na doprinosu, saradnji i razmeni iskustava u projektu. Takođe se zahvaljujemo Evropskoj komisiji i INEA-i na podršci projektu TRACER. TRACER je dobio sredstva od programa Evropske unije za istraživanje i inovacije Horizont 2020 prema ugovoru o grantu br. 836819. Autori se zahvaljuju dr Miodragu Mesaroviću, članu Svetskog energetskog saveta i Akademije inženjerskih nauka Srbije (AINS), na svim sugestijama i savetima u izradi rada. Odricanje odgovornosti: Isključiva odgovornost za sadržaj ovog rada leži na autorima. Ne odražava nužno mišljenje Evropske unije. Ni INEA ni Evropska komisija nisu odgovorne za bilo kakvu upotrebu informacija sadržanih u njima.

#### LITERATURA/REFERENCES

- [1] Mandić Lukić, J., Milovanović, Đ., Stipić, M., Petrović Bećirović, S., Raković, R., Popović Zdravković, B., Životić, M. Smart and Socially Responsible Energy Transition in Coal Intensive Regions, in Proc. *U susret zelenom oporavku, ENERGETIKA 2021*, Zlatibor, pp. 149-155, 22-25. jun 2021.

- [2] Energy traInsitions in Europe, common goals but different, A Euro-CASE report, Euro-CASE Energy Platform, 2019. [https://www.euro-case.org/wp-content/uploads/2019/10/Eurocase/Publications/PDF/platform\\_energie2019.pdf](https://www.euro-case.org/wp-content/uploads/2019/10/Eurocase/Publications/PDF/platform_energie2019.pdf) [pristupljeno 03.03.2022]
- [3] <https://ukcop26.org> [pristupljeno 03.03.2022]
- [4] <https://www.bbc.com/news/science-environment-59148520> [pristupljeno 03.03.2022]
- [5] [www.tracer-h2020.eu](http://www.tracer-h2020.eu) [pristupljeno 03.03.2022]
- [6] Just Transition: A Report for the OECD, May 2017. <https://justtransitioninitiative.org/resource-library/just-transition-a-report-for-the-oecd/> [pristupljeno 03.03.2022]
- [7] Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all, International Labour Organization, 2015, [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed\\_emp/@emp\\_ent/document/s/publication/wcms\\_432859.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_emp/@emp_ent/document/s/publication/wcms_432859.pdf) [pristupljeno 03.03.2022]
- [8] Popp, R., de Pous, P. The EU's lessons for a just transition beyond coal., December 2021. <https://www.e3g.org/publications/eu-lessons-just-transition-coal/> [pristupljeno 03.03.2022]
- [9] Best practice report on labour markets, social issues and tourism, D 2.4 report, TRACER project, January 2020., [https://tracer-h2020.eu/wp-content/uploads/2020/02/D2.4\\_TRACER\\_Deliverable\\_final.pdf](https://tracer-h2020.eu/wp-content/uploads/2020/02/D2.4_TRACER_Deliverable_final.pdf)
- [10] Strategija pametne specijalizacije u Republici Srbiji za period od 2020. do 2027. godine, Službeni glasnik RS, broj 30/18, 6. mart 2020.
- [11] TRACER - Best practice platform (Technologies, Industrial roadmaps and transitions strategies), 2020. <https://tracer-h2020.eu/best-practice-platform/> [pristupljeno 03.03.2022]
- [12] Best practice report on environmental protection and post-mining land reclamation, D 2.5 report, TRACER project, December 2019., [https://tracer-h2020.eu/wp-content/uploads/2019/12/TRACER\\_D-2.5\\_Best\\_practice\\_environmental\\_protection\\_FIB-2.pdf](https://tracer-h2020.eu/wp-content/uploads/2019/12/TRACER_D-2.5_Best_practice_environmental_protection_FIB-2.pdf) [pristupljeno 03.03.2022]
- [13] Hendrychova, M. Reclamation success in post-mining landscapes in the Czech Republic: a review of pedological and biological studies. *Journal of Landscape Studies* 1, pp. 63-78, 2008.
- [14] Frouz, J. (ed.) *Soil biota and ecosystem development in post mining sites*. CRC Press, Boca Raton, London, New York, 2014.
- [15] Schulz, F., Wiegand, G. Development options of natural habitats in a post-mining landscape. *Land Degradation & Development* Vol.11, No. 2, pp. 99-110, 2000. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(200003/04\)11:2<99::AID-LDR368>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(200003/04)11:2<99::AID-LDR368>3.0.CO;2-I)
- [16] Kušljagić M., Rajaković N., Miljević D., Vujnović M. *Nekontrolisana dekarbonizacija elektroenergetskog sektora Zapadnog Balkana - Nacrt*, Nerda, ASOR, Clean, januar 2022. <http://nerda1.mojweb.ba/file/barometar-bhs-final/26> [pristupljeno 03.03.2022]
- [17] Barjaktarević D., Marković Ž., Marković A. Održivi razvoj sa aspekta smanjenja uticaja na klimatske promene, na putu Republike Srbije prema Evropskoj Uniji, in Proc. *U susret zelenom oporavku, ENERGETIKA 2021* Zlatibor, pp. 172-179, 22-25. jun 2021.

## AUTORI/AUTHORS

**dr Jasmina Mandić Lukić dipl.ing.**, Rukovodilac projekta TRACER i savetnik, [jmlukic@ep-entel.com](mailto:jmlukic@ep-entel.com), ORCID [0000-0001-7763-9521](https://orcid.org/0000-0001-7763-9521)

**mr Đordina Milovanović dipl.ing.**, vodeći inženjer, [djmilovanovic@ep-entel.com](mailto:djmilovanovic@ep-entel.com)

**Maja Stipić dipl.ecc.**, fin. konsultant, [mstipic@ep-entel.com](mailto:mstipic@ep-entel.com), ORCID [0000-0002-5480-8027](https://orcid.org/0000-0002-5480-8027)

**dr Radoslav Raković dipl.ing.**, Rukovodilac službe za intergrisani sistem menadžmenta, [rrakovic@ep-entel.com](mailto:rrakovic@ep-entel.com), ORCID [0000-0002-8067-6582](https://orcid.org/0000-0002-8067-6582)

**dr Sanja Petrović Bećirović dipl.ing.**, Rukovodilac biroa za studije životne sredine, ekonomije i elektroenergetskog sistema, Rukovodilac službe za marketing, [spetrovic@ep-entel.com](mailto:spetrovic@ep-entel.com), ORCID [0000-0002-2508-4971](https://orcid.org/0000-0002-2508-4971)

# Optimalno podešavanje rezolucije registra električne energije pametnog brojila

## Optimal Adjustment of the Resolution of the Electricity Register of the Smart Meter

Dorđe Dukanac

Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije“ Beograd

**Rezime** - Tehnički gubici u prenosnoj mreži su: gubici snage, odnosno električne energije, koji su posledica utroška snage, odnosno energije, na zagrevanje elemenata u prenosnoj mreži usled postojanja aktivnog otpora u ovim elementima, gubici usled histerezisa, gubici usled vrtložnih struja, gubici od struja odvoda u izolaciji, gubici usled korone i dielektrični gubici. Pri najčešćoj upotrebi pametnih brojila za indirektni priključak u radu u postrojenju podešenih za pokazivanje električne energije sa sekundarne strane, aktivna električna energija biće očitavana na ekranu brojila sa dodatnom greškom. Tada se prenosni odnosi naponskih i strujnih mernih transformatora podešavaju u pametnom brojilu kao 1:1. Da bi se dobila stvarna vrednost energije, potrebno je naknadno da se izmerena vrednost električne energije očitana sa brojila pomnoži sa prenosnim odnosima mernih transformatora. Drugi način je da se u pametnom brojilu podese stvarni prenosni odnosi naponskih i strujnih mernih transformatora pa da se na ekranu brojila očitava stvarna vrednost električne energije u megavat-satima. U ovom radu razmatraju se greške očitavanja električne energije uzimajući u obzir: prenosne odnose mernih transformatora, rezolucije i jedinice električne energije, metode podešavanja pametnih brojila, unutrašnje konstante merila, nazivne sekundarne struje električnih brojila i propisanu najveću energiju koja se registruje na ekranu električnog brojila. Istražuje se koliko su veće greške sekundarno podešenih električnih brojila za indirektni priključak sa uobičajenom rezolucijom za pokazivanje električne energije na tri decimalna mesta i jedinicom merenja u kilovat-satima u odnosu na druga moguća podešenja za očitavanje brojila. Primetne su greške u proračunu tehničkih gubitaka električne energije na visokonaponskim dalekovodima i kablovima i energetske transformatorima.

**Ključne reči** - greška očitavanja, podešenja brojila, pokazivanje energije, prenosni odnos, unutrašnja konstanta brojila

**Abstract** - Technical losses in the transmission network are: losses of power, i.e. electrical energy, which are a consequence of the consumption of power, i.e. energy for heating the elements in the transmission network due to the existence of active resistance in these elements, losses due to hysteresis, losses due to eddy currents, losses due to drain currents in insulation, losses due to corona and dielectric losses. With the most frequent use of

smart meters for indirect connection in operation in a plant set up to display electricity from the secondary side, the active electricity will be read on the meter screen with an additional error. Then the transformation ratios of voltage and current instrument transformers are set in the smart meter as 1:1. In order to obtain the actual value of energy, it is necessary to multiply the measured value of electricity from the meter by the transformation ratios of instrument transformers. Another way is to adjust the actual transformation ratios of voltage and current instrument transformers in the smart meter, so that the actual value of electricity in megawatts can be read on the meter screen. In this paper, the errors of electricity reading are considered, taking into account: transformation ratios of measuring transformers, resolutions and units of electricity, methods of setting smart meters, internal constants of meters, nominal secondary currents of electric meters and the prescribed maximum energy that is registered on the screen of electric meter. It investigates how much larger the errors of secondarily set electric meters for indirect connection with the usual resolution for displaying electricity in three decimal places and the unit of measurement in kilowatt hours compared to other possible settings for reading meters. Errors in the calculation of technical losses of electricity on high-voltage transmission lines and cables and power transformers are noticeable.

**Index Terms** - Energy display, Internal constant of meter, Meter setting, Reading error, Transformation ratio

### I UVOD

Brojilo električne energije je uređaj kojim se meri utrošena energija (aktivna ili reaktivna) u električnom kolu i prikazuje u vrednostima koje su podesne za korišćenje. Za to se koristi merna jedinica kojom se izražava potrošena količina energije za jedinicu vremena.

Izmerena vrednost brojilom električne energije očitava se sa ekrana brojila u kilovat-časovima (*kWh*) ili megavat-časovima (*MWh*).

Pametnim brojilima uspostavlja se dvosmerni protok podataka između potrošača i distributera električne energije [1]. Pametnim brojilima značajno je olakšano očitavanje i omogućeno je da se u

realnom vremenu prati koliko se električne energije razmeni na nekom mernom mestu i kakvi su tekući računi.

Merno mesto je mesto na kome su priključeni naponski i strujni merni transformatori koji napajaju pripadajuća brojila za merenje razmenjene električne energije između objekta korisnika prenosnog sistema i prenosne mreže.

Preko komunikacionih priključaka brojila RS 485 ostvaruje se daljinska komunikacija brojila ili niza brojila sa sistemom za daljinsko očitavanje brojila i obračun isporučene električne energije (SRAAMD – Remote Acquisition and Accounting of Metering Data).

Radi daljinskog očitavanja brojila može da se koristi prenos podataka:

- 1) optičkim vlaknima u zaštitnom užetu dalekovoda u prenosnoj mreži (OPGW/Ethernet);
- 2) GSM/GPRS/LTE mrežom mobilne telefonije;
- 3) javnom telefonskom mrežom.

Osnovni obračunski merni podaci su:

- 1) prikupljeni podaci o predatoj, odnosno preuzetoj električnoj energiji za obračunski period iz registara energije brojila i
- 2) podaci o 15-minutnim dijagramima opterećenja predate, odnosno preuzete električne energije.

Obračunski period je vremenski period koji je, po pravilu, kalendarski mesec.

U ovom radu razmatraju se trofazna električna brojila za četvorožični priključak sa tri merna sistema koja se uobičajeno koriste u elektroenergetskim postrojenjima. Takođe ova brojila su predviđena za indirektni priključak na trofaznu mrežu preko odgovarajućih naponskih i strujnih mernih transformatora.

Na tržištu SAD najpoznatiji svetski proizvođači pametnih brojila aktivne električne energije za klasu tačnosti 0,2 S ili 0,5 S su [2]:

- Honeywell International Inc. (Elster Group);
- Itron Inc.;
- Landis + Gyr;
- Schneider Electric SE.

Postoje dva osnovna moguća načina da se rezultat merenja električne energije prikaže na ekranu električnog brojila.

Prvi način je da rezultat izmerene aktivne električne energije bude prikazan na ekranu električnog brojila kao stvarno izmerena energija sa sekundara strujnih i naponskih mernih transformatora. U samom brojilu se prenosni odnosi mernih transformatora podeše kao 1:1. Jedinica merenja električne energije se podešava u kWh. Za potrebe mesečnog obračuna električne energije i energije gubitaka potrebno je da se očitana „sekundarna“ energija sa brojila naknadno množi sa prenosnim odnosima mernih transformatora na mernom mestu kako bi se dobila tražena stvarno potrošena aktivna električna energija.

Drugi način je da rezultat izmerene aktivne električne energije bude prikazan na ekranu električnog brojila kao tražena energija sa primara strujnih i naponskih mernih transformatora.

U samom brojilu se podeše stvarni prenosni odnosi mernih transformatora kao na mernom mestu gde je ugrađeno brojilo.

Prikazana energija na ekranu brojila predstavlja stvarno izmerenu „primarnu“ energiju, tj. „sekundarnu“ energiju pomnoženu u samom brojilu sa unapred zadatim prenosnim odnosima mernih transformatora na mernom mestu. Tako se odmah dobija tražena stvarno potrošena aktivna električna energija za potrebe mesečnog obračuna električne energije i energije gubitaka. Jedinica merenja električne energije u ovom slučaju podešava se u MWh.

U odnosu na drugi deo rada [3], ovde je detaljno uzet u obzir uticaj konstante brojila na grešku pri izračunavanju gubitaka na elementima elektroenergetskog sistema (EES-a). Takođe je ispitan uticaj rezolucije ekrana brojila pri „primarnom“ podešenju brojila uslovljen Pravilima o radu prenosnog sistema [4].

„Sekundarno“ podešenje je zastupljeno npr. iz razloga da bi zaposleni za pravljenje obračuna električne energije imali lakši posao u smislu da registar aktivne energije ekrana (brojčanik ili brojač) nijednog brojila sigurno ne prolazi kroz nulu za osam godina koliko je period overe električnih brojila za posredni priključak. Isto tako zaposleni za obračunsko i kontrolno merenje električne energije ne moraju da misle o prenosnom odnosu brojila koja odnose na teren radi ugradnje niti o posebnom podešavanju prenosnih odnosa mernih transformatora u samim brojilima pre davanja brojila na overu (jer se stavljaju oba prenosna odnosa kao 1:1).

## II PERIODI ČUVANJA SNIMLJENIH STANJA REGISTARA ENERGIJE

U električnom brojilu se čuvaju snimljena stanja svih podešenih registara za aktivnu i reaktivnu električnu energiju i maksimalnu snagu najmanje za dvanaest meseci unazad, posle čega se vrši ciklični upis: trinaesti mesec umesto prvog meseca itd. [4].

Za izračunavanje ukupne aktivne električne energije  $E_{1g}$  za dvanaest meseci unazad biće korišćena jednačina:

$$E_{1g} = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_f \cdot \cos\varphi \cdot T. \quad (1)$$

gde su:

$U_l$  – međufazni napon [V],

$I_f$  – fazna struja [A],

$\cos\varphi$  – faktor snage,

$T$  – period vremena [s] u 12 meseci.

Pretpostaviće se da je faktor snage  $\cos\varphi = 0,97$ .

Period vremena u 12 meseci je:

$$T = N_h \cdot N_d \cdot N_m = 24 \cdot 30,5 \cdot 12 \text{ h} = 8784 \text{ h}. \quad (2)$$

gde su:

$N_h$  – broj časova u jednom danu,

$N_d$  – prosečni broj dana u jednom mesecu i

$N_m$  – razmatrani najmanji broj meseci.

U slučaju „sekundarno“ podešenog trofaznog brojila za posredni priključak preko mernih transformatora, sa merenjem aktivne energije u kWh na tri decimalna mesta, za 12 meseci pri naznačenoj struji brojila od 1 A i naznačenom međufaznom naponu 100 V dobija se:

$$E_{1g}^S = \sqrt{3} \cdot 100 \cdot 1 \cdot 0,97 \cdot 8784 \text{ Wh} = 1475,79 \text{ kWh} \quad (3)$$

Ni na kraju osme godine, koliki je period periodične overe brojila, na brojčaniku brojila se neće dostići najveća moguća vrednost 99999,999 kWh kod osmocifrenog registra ekrana brojila posle čega bi se svi brojevi postavili na nulu (za sledećih 0,001 kWh):

$$E_{8g}^S = 8 \cdot E_{1g}^S = 8 \cdot 1475,79 \text{ kWh} = 11806,323 \text{ kWh} \quad (4)$$

Za 1 mesec protekla „sekundarna“ aktivna električna energija je:

$$E_{1m}^S = \frac{E_{1g}^S}{12} = 122,983 \text{ kWh} \quad (5)$$

Na brojčaniku bi se dostigla vrednost 99999,999 kWh za:

$$T_O^S = \frac{99999,999 \cdot T}{E_{8g}^S [\text{kWh}]} = \frac{99999,999 \cdot 8784 \text{ h}}{1475,79} = 595206,46 \text{ h} = 813,12 \text{ meseci} = 67,76 \text{ godina.} \quad (6)$$

Za osam godina procentualno se dostigne na osmocifarskom ekranu:

$$\zeta_O^S = \frac{11806,323 \text{ kWh}}{99999,999 \text{ kWh}} \cdot 100 \% = 11,81 \% \quad (7)$$

celog opsega brojčanika brojila, odnosno 1,48 % godišnje.

Za devetocifarni ekran često korišćenog brojila na slici 1., vrednost 999999,999 kWh bi se dostigla za  $T_D^S = 677,6$  godina. Za osam godina procentualno se dostigne na devetocifarskom ekranu:  $\zeta_D^S = 1,181 \%$ , što je 0,148 % godišnje.



**Slika 1.** Često korišćeno brojilo električne energije u industriji i transformatorskim stanicama i razvodnim postrojenjima, klase 0,2 S ili 0,5 S za aktivnu električnu energiju sa devetocifarskim ekranom, koje se pravi za konstantu 10000 imp./kWh za brojila za indirektni priključak preko mernih transformatora [5].

Biće razmotrena četiri primera „primarnog“ podešenja brojila.

1) Prvi primer je merenje energije na primarnoj strani trofaznog energetskog transformatora (npr. TR2 300 MVA, 400/115±8\*1,25%/10,5 kV u TS 400/110kV Sombor) ili na dalekovodu 400 kV, pri čemu je prenosni odnos naponskih mernih transformatora  $\frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} \text{ kV}$ , a prenosni odnos strujnih mernih transformatora 2·500A/1A.

Na slici 2. prikazani su induktivni naponski merni transformatori za najviši napon 420 kV. Na slici 3. prikazani su strujni merni

transformatori za najviši napon 420 kV sa izolatorom od sive silikonske gume.



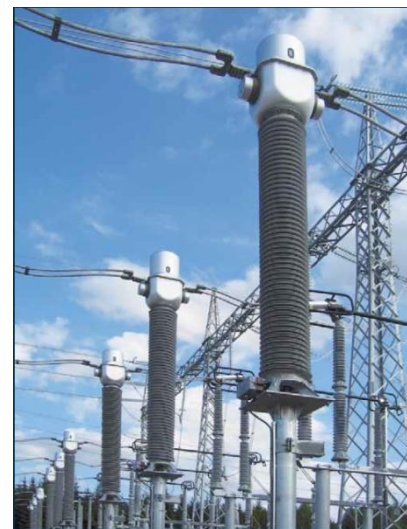
**Slika 2.** Induktivni naponski merni transformatori za najviši napon 420 kV [6]

Primenom jednačine (1), pod pretpostavkom proticanja stalne naznačene struje, dobija se protekla energija za godinu dana:

$$E_{1,1g}^P = \sqrt{3} \cdot 400000 \cdot 2 \cdot 500 \cdot 0,97 \cdot 8784 \text{ Wh} = 5903161,71 \text{ MWh.} \quad (8)$$

Za 1 mesec aktivna električna energija je:

$$E_{1,1m}^P = \frac{E_{1,1g}^P}{12} = 491930,142 \text{ MWh} \quad (9)$$



**Slika 3.** Strujni merni transformatori za najviši napon 420 kV sa izolatorom od sive silikonske gume [6]

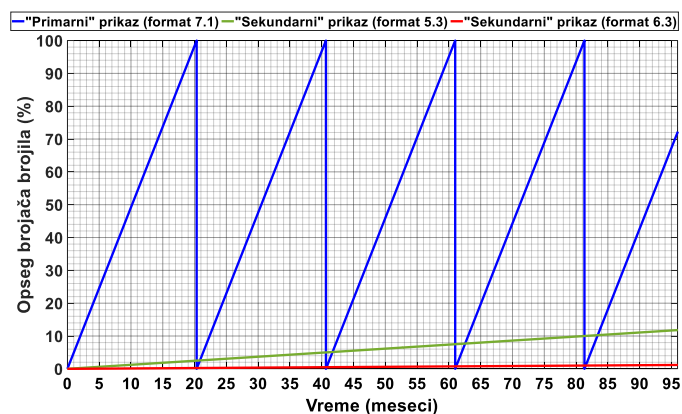
Prema tome, za prikaz aktivne električne energije na osmocifarskom ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,9 MWh za:

$$T_{O1}^P = \frac{9999999,9 \cdot T}{E_{1,1g}^P [\text{MWh}]} = \frac{9999999,9 \cdot 8784 \text{ h}}{5903161,7} =$$

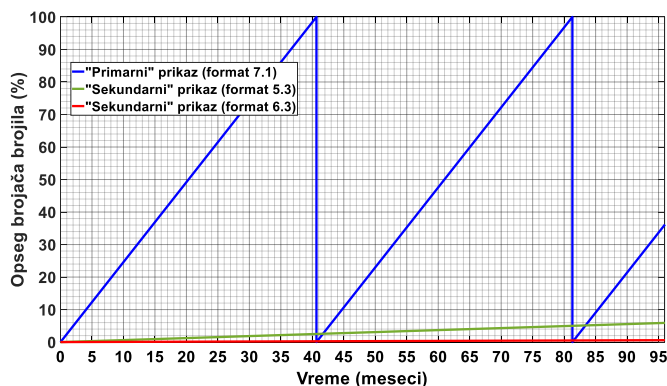
$$= 14880,16 \text{ h} = 20,33 \text{ meseci} = 1,69 \text{ godina.} \quad (10)$$

Takođe, za prikaz aktivne energije na devetocifarskom ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,99 MWh za:  $T_{D1}^P = 20,33 \text{ mes.} = 1,69 \text{ god.}$

Za prvi primer, na slici 4. prikazani su tokovi energije prikazane na ekranu brojila iz (a) registra ukupne energije i (b) tarifnog registra sa duplo sporijim tokom energije. Pretpostavljaju se stalno naznačene vrednosti struje i napona za slučajeve „primarnog“ podešenja (na prvi način) i „sekundarnog“ podešenja brojila za dva formata registra ekrana brojila.



(a)



(b)

**Slika 4.** Za prvi primer tokovi prikazane energije na osmocifarskom ekranu brojila za slučajeve 1) „primarnog“ podešenja brojila u formatu 7.1 (plava kriva), 2) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 5.3 (zeleno kriva) i 3) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 6.3 (crvena kriva) za (a) registar ukupne energije i (b) tarifni registar sa duplo sporijim tokom usrednjene energije

Sa slike 4. se vidi da će četiri i dva puta za osam godina da se pojavi prelazak brojčanika brojila na rad od nule kod „primarnog“ podešenja brojila na prvi način kod registra ukupne energije i tarifnog registra, respektivno. Kod „sekundarnog“ podešenja za osam godina se iskoristi svega 11,81 % i 5,9 % opsega brojčanika u formatu 5.3 i 1,181 % i 0,59 % u formatu 6.3 kod registra ukupne energije i tarifnog registra ekrana brojila, respektivno.

2) Drugi primer je merenje energije na primarnoj strani trofaznog energetskog transformatora (npr. TR6 250 MVA, 220/110/10 kV u TS 220/110/35 kV Beograd 5) ili dalekovodu 220 kV pri čemu je prenosni odnos naponskih mernih transformatora  $\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} \text{ kV}$ , a prenosni odnos strujnih mernih transformatora 2·600A/1/1/1A.

$$E_{2,1g}^P = \sqrt{3} \cdot 220000 \cdot 2 \cdot 600 \cdot 0,97 \cdot 8784 \text{ Wh} = 3896086,73 \text{ MWh.} \quad (11)$$

Za 1 mesec aktivna električna energija je:

$$E_{2,1m}^P = 324673,894 \text{ MWh} \quad (12)$$

Prema tome, za prikaz aktivne električne energije na ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,9 MWh za:

$$T_{02}^P = \frac{9999999,9 \cdot T}{E_{2,1g}^P [\text{MWh}]} = \frac{9999999,9 \cdot 8784 \text{ h}}{3896086,7} = 22545,7 \text{ h} = 30,8 \text{ meseci} = 2,57 \text{ godina.} \quad (13)$$

Takođe, za prikaz aktivne energije na devetocifarskom ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,99 MWh za:  $T_{D2}^P = 30,8 \text{ meseci} = 2,57 \text{ god.}$

Za drugi primer, na slici 5. prikazani su tokovi energije prikazane na ekranu brojila iz (a) registra ukupne energije i (b) tarifnog registra sa duplo sporijim tokom energije. Pretpostavljaju se stalno naznačene vrednosti struje i napona za slučajeve „primarnog“ podešenja (na drugi način) i „sekundarnog“ podešenja brojila za dva formata registra ekrana brojila.

Sa slike 5. se vidi da će najviše tri puta i jedanput za osam godina da se pojavi prelazak brojčanika brojila na rad od nule kod „primarnog“ podešenja brojila na drugi način kod registra ukupne energije i tarifnog registra, respektivno. Kod „sekundarnog“ podešenja zaključci su isti kao za sliku 4.

3) Treći primer je merenje energije na trofaznom dalekovodu 110 kV (npr. DV 110 kV br. 1112 TS Bogatić – TS Šabac 3) pri čemu je prenosni odnos naponskih mernih transformatora  $\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} \text{ kV}$ , a prenosni odnos strujnih mernih transformatora 2·200A/1/1/1A.

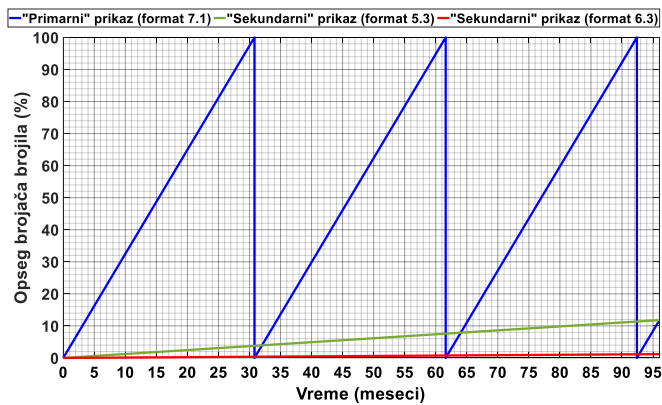
$$E_{3,1g}^P = \sqrt{3} \cdot 110000 \cdot 2 \cdot 200 \cdot 0,97 \cdot 8784 \text{ Wh} = 649347,788 \text{ MWh.} \quad (14)$$

Za 1 mesec aktivna električna energija je:

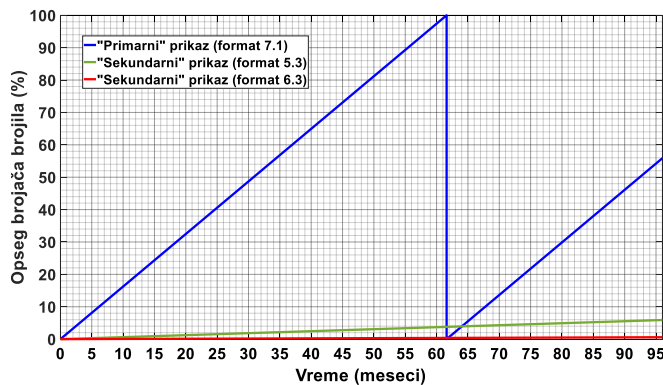
$$E_{3,1m}^P = 54112,316 \text{ MWh} \quad (15)$$

Prema tome, za prikaz aktivne električne energije na ekranu brojila potrebno je 6 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 999999,99 MWh za:

$$T_{03}^P = \frac{999999,99 \cdot T}{E_{3,1g}^P [\text{MWh}]} = \frac{999999,99 \cdot 8784 \text{ h}}{649347,788} = 13527,419 \text{ h} = 18,48 \text{ meseci} = 1,54 \text{ godina.} \quad (16)$$



(a)



(b)

**Slika 5.** Za drugi primer tokovi prikazane energije na osmocifarskom ekranu brojila za slučajeve 1) „primarnog“ podešenja brojila u formatu 7.1 (plava kriva), 2) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 5.3 (zeleni kriva) i 3) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 6.3 (crvena kriva) za (a) registar ukupne energije i (b) tarifni registar sa duplo sporijim tokom usrednjene energije

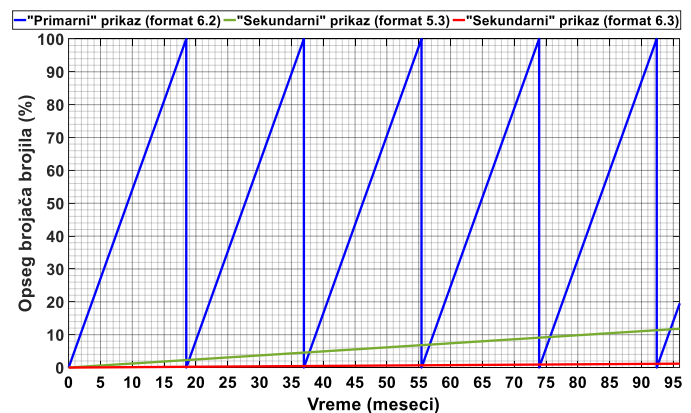
Takođe, za prikaz aktivne energije na devetocifarskom ekranu brojila potrebno je 6 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 999999,999 MWh za:  $T_{D3}^P = 18,48 \text{ mes.} = 1,54 \text{ god.}$

Za treći primer na slici 6. prikazani su tokovi energije prikazane na ekranu brojila iz (a) registra ukupne energije i (b) tarifnog registra sa duplo sporijim tokom energije. Pretpostavljaju se stalno naznačene vrednosti struje i napona za slučajeve „primarnog“ podešenja na treći način i „sekundarnog“ podešenja brojila za dva formata registra ekrana brojila.

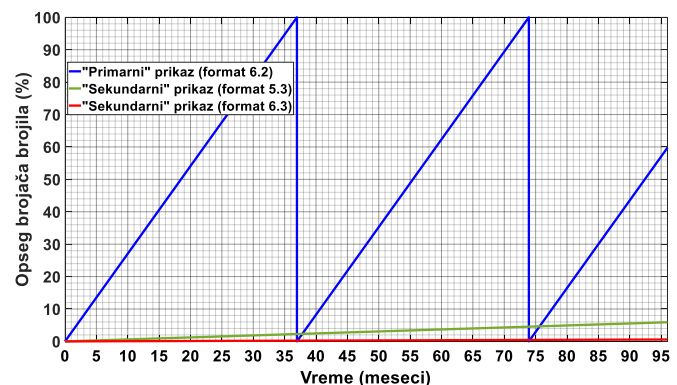
Sa slike 6. se vidi da će najviše pet puta i dva puta za osam godina da se pojavi prelazak brojčanika brojila na rad od nule kod „primarnog“ podešenja brojila na treći način kod registra ukupne energije i tarifnog registra, respektivno, sada u formatu 6.2. Da je uzeta rezolucija registra ekrana na 1 decimalno mesto ne bi bilo ni jednog prelaza brojčanika na rad od nule za osam godina rada brojila u postrojenju. Kod „sekundarnog“ podešenja zaključci su isti kao za slike 4. i 5.

4) Četvrti primer je merenje energije na sekundarnoj strani trofaznog energetskog transformatora (npr. TR6 250 MVA, 220/110/10 kV u TS 220/110/35 kV Beograd 5) ili dalekovodu 110 kV (npr. DV 110 kV br.151/5 PRP Alibunar – TS Alibunar) ili na sekundarnoj strani trofaznog energetskog transformatora (npr. TR2 300 MVA, 400/115±8\*1,25%/10,5 kV u TS 400/110kV Sombor) pri čemu je prenosni odnos naponskih mernih transformatora  $\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} \text{ kV}$ , a prenosni odnos strujnih mernih transformatora 2·750A/1/1/1A.

$$E_{4,1g}^P = \sqrt{3} \cdot 110000 \cdot 2 \cdot 750 \cdot 0,97 \cdot 8784 \text{ Wh} = 2435054,2 \text{ MWh.} \quad (17)$$



(a)



(b)

**Slika 6.** Za treći primer tokovi prikazane energije na osmocifarskom ekranu brojila za slučajeve 1) „primarnog“ podešenja brojila u formatu 6.2 (plava kriva), 2) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 5.3 (zeleni kriva) i 3) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 6.3 (crvena kriva) za (a) registar ukupne energije i (b) tarifni registar sa duplo sporijim tokom usrednjene energije

Za 1 mesec aktivna električna energija je:

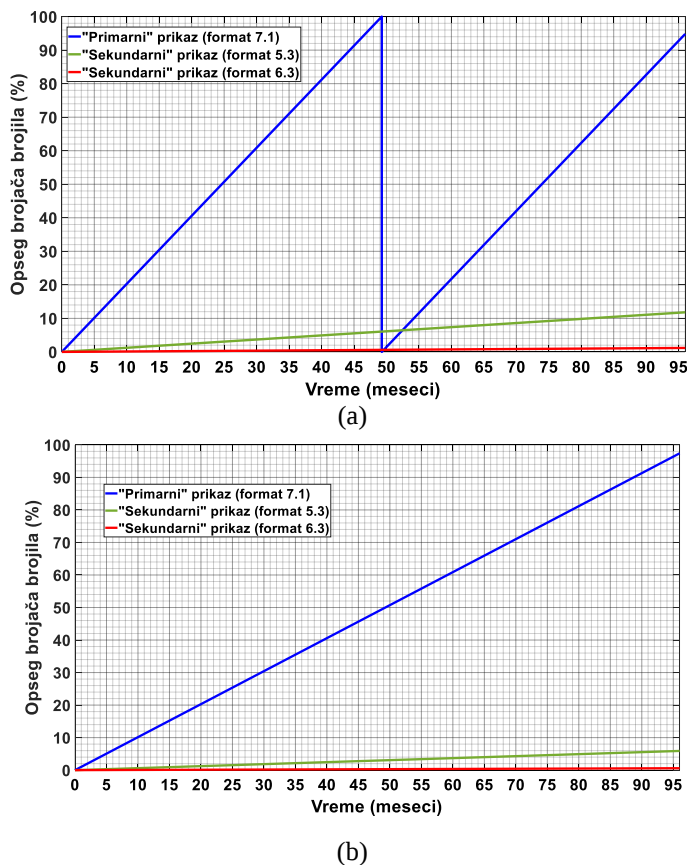
$$E_{4,1m}^P = 202921,18 \text{ MWh} \quad (18)$$

Prema tome, za prikaz aktivne električne energije na ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,9 MWh za:

$$T_{04}^P = \frac{9999999,9 \cdot T}{E_{4,1g}^P [MWh]} = \frac{9999999,9 \cdot 8784 h}{2435054,2} = 36073,119 h = 49,28 meseci = 4,11 godina. \quad (19)$$

Takođe, za prikaz aktivne energije na devetocifarskom ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,99 MWh za:  $T_{D4}^P = 49,28 mes. = 4,11 god.$

Za četvrti primer na slici 7. prikazani su tokovi energije prikazane na ekranu brojila iz (a) registra ukupne energije i (b) tarifnog registra sa duplo sporijim tokom energije. Pretpostavljaju se stalno naznačene vrednosti struje i napona za slučajeve „primarnog“ podešenja na četvrti način i „sekundarnog“ podešenja brojila za dva formata registra ekrana brojila.



**Slika 7.** Za četvrti primer tokovi prikazane energije na osmocifarskom ekranu brojila za slučajeve 1) „primarnog“ podešenja brojila u formatu 7.1 (plava kriva), 2) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 5.3 (zelena kriva) i 3) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 6.3 (crvena kriva) za (a) registar ukupne energije i (b) tarifni registar sa duplo sporijim tokom usrednjene energije

Sa slike 7. se vidi da će jedanput i nijednom za osam godina da se pojavi prelazak brojčanika brojila na rad od nule kod „primarnog“ podešenja brojila na četvrti način kod registra

ukupne energije i tarifnog registra, respektivno. Kod „sekundarnog“ podešenja zaključci su isti kao za slike 4., 5. i 6.

Radi uprošćenja, na dijagramima na slikama 4.–7. pretpostavljeno je da kroz dva tarifna registra u proseku dnevno protekne po 50 % ukupne dnevne aktivne energije, koja je prikazana usrednjeno za ta dva tarifna registra sa tarifama (7–23 h i 23–7 h).

Na dijagramima na slikama 4.–7., ako je opterećenje na mestu merenja 50 % od naznačenog opterećenja, tokovi energije na oba dijagrama biće duplo sporiji, a iskorišćenost registara aktivne energije ekrana brojila pri „sekundarnom“ podešenju duplo manja.

Na slici 8., na električnom brojilu visoke preciznosti merenja aktivne električne energije klase 0,2 S ili 0,5 S na ekranu postoji 8 cifara [7]. Trenutna stanja različitih registara se čuvaju u dijagramu opterećenja (engl. load profile) u pravilnim intervalima. Svaki unos u dijagram opterećenja sastoji se od same izmerene vrednosti (registara energije od 8 bajtova, dijagnostičkih vrednosti od 4 bajta), vremena i datuma snimanja registra od 8 bajtova i šifre stanja od 4 bajta.



**Slika 8.** Brojilo električne energije visoke preciznosti merenja, klase **0,2 S** ili **0,5 S** za aktivnu električnu energiju sa osmocifarskim ekranom [7]. Obično se koristi za merenje električne energije u prekograničnoj razmeni

64-bitni procesor ima 8 bajtova široke registre. Maksimalni broj uskladišten u 64-bitnom registru ili promenljivoj je  $2^{64} - 1 = 18446744073709551615$  (20-cifreni broj). Ove registre treba razlikovati od 8-cifrenog registra aktivne energije ekrana brojila na koji se odnosi naslov ovog rada.

U elektroenergetskim postrojenjima za naznačeni napon 110 kV i veći, zbog veličine postrojenja i velikih dužina električnih kablova, kako bi se smanjili gubici električne energije na njima srazmerni kvadratu električne struje, za merenje električne energije u mreži koriste se obično brojila visoke klase tačnosti za indirektni priključak i naznačenu struju 1 A i naznačeni međufazni napon 100 V. U elektroenergetskim postrojenjima za naznačeni napon 35 kV za merenje električne energije u mreži koriste se brojila visoke klase tačnosti za indirektni priključak i naznačenu struju 5 A, pa je razmatrana greška usled očitavanja (i podešenja) registra aktivne energije ekrana brojila 5 puta manja.

### III UDEO GREŠKE USLED OGRANIČENE REZOLUCIJE REGISTRA AKTIVNE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Najmanja brojčani korak koji može da bude prikazan na digitalnom ekranu naziva se rezolucija. Ovo je rezultat sadržan u

odgovarajuće podešenom registru aktivne električne energije. Brojila na slikama 8. i 9. imaju na ekranu 8 sigurnih cifara.

U unutrašnjem kolu digitalnog instrumenta mora da se zaokružiti izmerena vrednost tako da odgovara broju cifara za prikaz. Ovim postupkom zaokruživanja uvodi se neizvesnost jer kada se pročitana izmerena vrednost sa ekrana brojila, nikada ne bi moglo da se zna koja bi sledeća cifra bila bez zaokruživanja. Zato se nesigurnost usled ograničene rezolucije brojila predstavlja kao polovina vrednosti poslednjeg prikazanog decimalnog mesta na ekranu brojila [8]. Prema tome je vrednost sačinioća  $s = \frac{1}{2}$ .

Apsolutna greška  $\Delta e$  bilo kog mernog instrumenata, pa tako i električnog brojila, računa se prema obrascu:

$$\Delta e = b \cdot e + s \cdot e_{min} = b \cdot e + \Delta e_r \quad (20)$$

gde su:

- $b$  – data klasa tačnosti mernog instrumenta,
- $e$  – izmerena vrednost,
- $e_{min}$  – vrednost poslednje cifre (rezolucija),
- $s$  – sačinilac,
- $\Delta e_r$  – greška usled ograničene rezolucije ekrana brojila.

Drugi deo greške merenja u jednačini (20) predstavlja sistematsku (instrumentalnu) grešku merenja, a prvi deo slučajnu grešku.

Relativna greška merenja je:

$$\delta = \frac{\Delta e}{e} = b + \frac{s \cdot e_{min}}{e} \quad (21)$$

Rezultat  $e$  jednog direktnog merenja sa električnim brojilom sa apsolutnom greškom  $\Delta e$  se izražava kao:

$$e = e_e \pm \Delta e \quad (22)$$

gde je  $e_e$  – tačna vrednost koja je moguće da se izmeri etalonom.

Osnovno je da se izračuna aktivna električna energija na primarnoj strani mernih transformatora. Pri tome se razlikuju greške usled ograničene rezolucije električnog brojila pri različitim načinima podešavanja prenosnih odnosa mernih transformatora u brojilu. Pokazaće se da se pri sekundarnom podešavanju brojila povećava greška usled rezolucije registra ekrana brojila jer se izmerena zaokružena sekundarna vrednost sa brojila naknadno množi sa prenosnim odnosima mernih transformatora. Pri primarnom podešavanju se u memorijskim registrima brojila vrši množenje sa prenosnim odnosima mernih transformatora pa se vrednost zaokružuje shodno podešenom formatu registra ekrana. Tada je bitna unutrašnja rezolucija brojila i njegova konstanta.

#### IV PRORAČUNI UDELA GREŠKE U OGRANIČENE REZOLUCIJE REGISTRA AKTIVNE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Za razliku od [3], u ovom radu će se uzeti u obzir uticaj različitih unutrašnjih konstanti električnog brojila na tačnost izmerene energije električnih gubitaka na visokonaponskom dalekovodu ili kablo i energetske transformatoru. Poređenja će biti vršena za „primarno“ podešena električna brojila u odnosu na uobičajeno „sekundarno“ podešena električna brojila.

Moguće unutrašnje konstante za električno brojilo na slici 9. [9] su iz skupa [500; 1000; 2000; 5000; 10000; 20000; 40000;

50000; 100000; 200000] imp./kWh (impulsa po kilovat-času). Moguće unutrašnje rezolucije brojila su, respektivno, iz skupa [0,002; 0,001; 0,0005; 0,0002; 0,0001; 0,00005; 0,000025; 0,00002; 0,00001; 0,000005]. Trofazno brojilo za indirektni priključak na slici 1. pravi se uvek za konstantu 10000 imp./kWh, a za direktni priključak uvek za konstantu 1000 imp./kWh. U praksi se u EMS-u, kada su primarni naponi u mreži veći ili jednaki 35 kV, uglavnom koriste trofazna brojila za indirektni priključak za konstante 10000 imp./kWh i više. Postoji još jedan zanemarljiv broj starih brojila u upotrebi sa konstantom 5000 imp./kWh iz 2002. godine u vlasništvu EPS-a.



**Slika 9.** Često korišćeno brojilo električne energije kojim se postižu važne radne osobine u oblastima industrijske i komercijalne primene. Proizvodi se za klase **0,2 S i 0,5 S** za aktivnu električnu energiju i sa osmocifarskim ekranom [9]. Na levoj strani slike prikazan je izvlačivi modem

Pretpostaviće se uobičajeno „sekundarno“ podešeno električno brojilo sa rezolucijom na tri decimalna mesta ( $e_{min} = 0,001$  kWh). Radi jednostavnosti, razmatraće se primeri dalekovoda za naznačene napone 110 kV, 220 kV i 400 kV. Slična razmatranja mogu da se izvedu i za energetske kablove i energetske transformatore, s tim što su kod energetske transformatora različiti naznačeni naponi i struje na primarnoj i sekundarnoj strani, pa se tako razlikuju i prenosni odnosi mernih transformatora na tim dvema stranama.

Uvek su brojila za elemente EES-a na naponima 110 kV, 220 kV i 400 kV trofazna, četvorožična za posredni priključak, klase 0,2 S, naznačene struje 1 A, najveće struje 2 A, nazivnog faznog napona 57,7 V. Zbog veličine postrojenja na tim visokim naponima, manjom naznačenom strujom brojila od 1 A smanjuju se gubici na spojnim kablovima između mernih transformatora i brojila koji su srazmerni struji na kvadrat. Tako se dobijaju manji padovi napona na njima.

Za elemente EES-a na 35 kV naznačena struja brojila za merenje aktivne energije je 5 A, a najveća struja 10 A. Za te elemente se greška usled ograničene rezolucije brojila smanjuje 5 puta zbog 5 puta manjeg prenosnog odnosa strujnog transformatora za naznačenu struju 5 A u odnosu na slučaj kada je ta struja 1 A. Tako će relativna greška usled ograničene rezolucije brojila pri merenju gubitaka na energetske transformatoru 110/35 kV ili 220/35 kV na sekundarnoj strani, a svedeno na primarnu stranu, uvek biti manja nego na primarnoj strani tog transformatora.

Ako je unutrašnja konstanta električnog brojila veća ili jednaka 2000 imp./kWh, merna greška usled ograničene rezolucije ovako podešenog električnog brojila je  $0,5 \cdot 0,001 \text{ kWh} = 0,0005 \text{ kWh}$ .

- 1) U prvom primeru iz II poglavlja proizvod prenosnih odnosa naponskog i strujnog mernog transformatora je:

$$n_1 = n_{U1} \cdot n_{I1} = \frac{400}{0,1} \cdot 2 \cdot 500 = 4000000 = 4 \cdot 10^6 \quad (23)$$

Pri „sekundarno“ podešenom električnom brojilu, greška usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije svedena na primarnu stranu je:

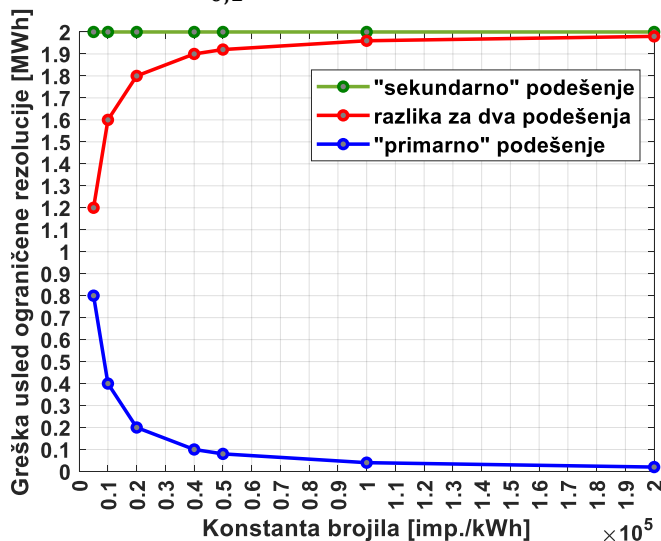
$$\Delta e_{rs1} = s \cdot e_{min} \cdot n_1 = 0,5 \cdot 0,001 \cdot 4 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 2000 \text{ kWh} = 2 \text{ MWh} \quad (24)$$

Na slici 10, obeležena je crvenom linijom razlika grešaka usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije ekrana brojila za dva podešenja brojila: sekundarno podešenje (prikazano zelenom linijom) i primarno podešenje (prikazano plavom linijom) za konstante brojila od [5000 – 200000] imp./kWh.

Za opseg konstanti brojila  $C_b = [5000 - 200000]$  imp./kWh greška pri primarnom podešenju je srazmerno manja sa činiocem  $2000/C_b$ . To znači, da će za dati opseg konstanti  $C_b$ , greška pri primarnom podešenju biti [40–1] % greške pri sekundarnom podešenju, respektivno. I za ostala tri primera grafici su sa krivama istog oblika i međusobnog položaja, pa se neće nadalje navoditi (vrednosti po y-osi bi se samo razlikovale).

- 2) U drugom primeru iz II poglavlja proizvod prenosnih odnosa naponskog i strujnog mernog transformatora je:

$$n_2 = n_{U2} \cdot n_{I2} = \frac{220}{0,1} \cdot 2 \cdot 600 = 2640000 = 2,64 \cdot 10^6 \quad (25)$$



**Slika 10.** Za prvi primer, crvenom linijom obeležena je razlika grešaka usled ograničene rezolucije registra ukupne aktivne energije ekrana brojila za: sekundarno podešenje (prikazano zelenom linijom) i primarno podešenje (prikazano plavom linijom) za konstante brojila od [5000 – 200000] imp./kWh

Pri „sekundarno“ podešenom električnom brojilu, greška usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije svedena

na primarnu stranu tada je:

$$\Delta e_{rs2} = s \cdot e_{min} \cdot n_2 = 0,5 \cdot 0,001 \cdot 2,64 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 1320 \text{ kWh} = 1,32 \text{ MWh} \quad (26)$$

- 3) U trećem primeru proizvod prenosnih odnosa naponskog i strujnog mernog transformatora je:

$$n_3 = n_{U3} \cdot n_{I3} = \frac{110}{0,1} \cdot 2 \cdot 200 = 440000 = 0,44 \cdot 10^6 \quad (27)$$

Pri „sekundarno“ podešenom električnom brojilu, greška usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije svedena na primarnu stranu tada je:

$$\Delta e_{rs3} = s \cdot e_{min} \cdot n_3 = 0,5 \cdot 0,001 \cdot 0,44 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 220 \text{ kWh} = 0,22 \text{ MWh} \quad (28)$$

- 4) U četvrtom primeru proizvod prenosnih odnosa naponskog i strujnog mernog transformatora je:

$$n_4 = n_{U4} \cdot n_{I4} = \frac{110}{0,1} \cdot 2 \cdot 750 = 1650000 = 1,65 \cdot 10^6 \quad (29)$$

Pri „sekundarno“ podešenom električnom brojilu na uobičajeno tri decimalna mesta, greška usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije svedena na primarnu stranu tada je:

$$\Delta e_{rs4} = s \cdot e_{min} \cdot n_4 = 0,5 \cdot 0,001 \cdot 1,65 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 825 \text{ kWh} = 0,825 \text{ MWh} \quad (30)$$

Ako je unutrašnja konstanta električnog brojila veća od 2000 imp./kWh i merna greška usled ograničene rezolucije „primarno“ podešenog električnog brojila biće srazmerno manja. Rezolucija primarno podešenih brojila je ograničena uslovom za period čuvanja snimljenih stanja registara energije, što je objašnjeno u II poglavlju.

U praksi se uglavnom koriste brojila sa konstantom 10000 imp./kWh i većom. Za konstantu brojila 10000 imp./kWh greška usled ograničene rezolucije „primarno“ podešenog električnog brojila biće pet puta manja u ustaljenom stanju nego greška usled ograničene rezolucije „sekundarno“ podešenog električnog brojila. Za konstantu brojila 200000 imp./kWh greška usled ograničene rezolucije brojila biće 100 puta manja u ustaljenom stanju, itd.

#### V PRORAČUNI UDELA GREŠKE U GUBICIMA ENERGIJE U MREŽI USLED OGRANIČENE REZOLUCIJE I NAČINA PODEŠENJA PRIKAZA REGISTRA EKRANA BROJILA

Radi jednostavnosti, proračuni iz naslova ovog poglavlja biće izvršeni za registar ukupne aktivne električne energije brojila. U stvarnosti u najvećem broju postoje u brojilima registri aktivne električne energije za dve tarife, dok se registar ukupne energije ne podešava da se prikazuje na svim brojilima. Obično se u proračunima uzimaju te pojedinačne energije po tarifama i množe se sa cenom po kWh da bi se izračunali troškovi nabavke energije za pokrivanje gubitaka u EES-u.

Vrednosti energije na brojilima na dva kraja dalekovoda ili energetskeg transformatora su neke slučajno zabeležene vrednosti energije koja je protekla tokom vremena. Zato mora da se izračunava protekla energija na svakom od mernih mesta

posebno.

### V.1 PRORAČUNI GREŠAKA GUBITAKA ENERGIJE NA DALEKOVODU

Prvo će da se razmatra računanje grešaka gubitaka energije na dalekovodu uz pretpostavku da su brojila „sekundarno“ podešena.

Na mernom mestu 1, kada se protekla električna energija za mesec  $e_{m1}^{SD}$  dana svedena na primarnu stranu mernih transformatora računa kao razlika dva merenja (za trenutno  $e_{m1}''^S$  i prethodno  $e_{m1}'^S$  očitano „sekundarno“ stanje) i pomnoži sa proizvodom prenosnih odnosa  $n$ , dobija se:

$$e_{m1}^{SD} = n \cdot (e_{m1}''^S - e_{m1}'^S) \quad (31)$$

Ukupna greška merenja aktivne energije  $\Delta e_{m1}^{SD}$  na mernom mestu 1 svedena na primarnu stranu pri tome će da bude jednaka:

$$\Delta e_{m1}^{SD} = n \cdot [b \cdot (e_{m1}''^S - e_{m1}'^S) + 2 \cdot 0,5 \cdot e_{in}^S] \quad (32)$$

Na mernom mestu 2, kada se protekla električna energija za mesec dana  $e_{m2}^{SD}$  svedena na primarnu stranu računa kao razlika dva merenja (za trenutno  $e_{m2}''^S$  i prethodno  $e_{m2}'^S$  očitano „sekundarno“ stanje) i pomnoži sa proizvodom prenosnih odnosa  $n$ , dobija se:

$$e_{m2}^{SD} = n \cdot (e_{m2}''^S - e_{m2}'^S) \quad (33)$$

Ukupna greška merenja aktivne energije  $\Delta e_{m2}^{SD}$  na mernom mestu 2 svedena na primarnu stranu pri tome će da bude jednaka:

$$\Delta e_{m2}^{SD} = n \cdot [b \cdot (e_{m2}''^S - e_{m2}'^S) + 2 \cdot 0,5 \cdot e_{in}^S] \quad (34)$$

Ukupna greška pri proračunu električne energije gubitaka na dalekovodu svedena sa sekundarne strane na primarnu stranu, ako je smer električne energije od početka (mernog mesta 1) ka kraju (mernom mestu 2) dalekovoda, je:

$$\begin{aligned} \Delta e^{SD} &= \Delta e_{m1}^{SD} - \Delta e_{m2}^{SD} = \\ &= n \cdot \{b \cdot [(e_{m1}''^S - e_{m1}'^S) + (e_{m2}''^S - e_{m2}'^S)] + 4 \cdot 0,5 \cdot e_{in}^S\} \end{aligned} \quad (35)$$

Kod proračuna greške gubitaka električne energije na dalekovodima sada će da se smatra da su brojila „primarno“ podešena. U jednačini (35) treba da se stavi 1 umesto  $n$  za prvi deo greške, a u drugom delu greške umesto rezolucije ekrana brojila pri sekundarnom podešenju  $e_{in}^S = 0,001 \text{ kWh}$  treba da se stavi  $e_{in}^P = \frac{2000}{C_b} \cdot e_{in}^S$ , pod pretpostavkom da su iste konstante brojila  $C_b$  na krajevima dalekovoda. Prema tome, važi da je:

$$\begin{aligned} \Delta e^{PD} &= \Delta e_{m1}^{PD} - \Delta e_{m2}^{PD} = b \cdot [(e_{m1}''^P - e_{m1}'^P) + (e_{m2}''^P - e_{m2}'^P)] + \\ &+ n \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot \frac{2000}{C_b} \cdot e_{in}^S \end{aligned} \quad (36)$$

gde su:

$e_{m1}''^P$  i  $e_{m1}'^P$  – očitane aktivne električne energije na primarnoj strani mernih transformatora u  $MWh$  na mernom mestu 1 dalekovoda,

$e_{m2}''^P$  i  $e_{m2}'^P$  – očitane aktivne električne energije na primarnoj strani mernih transformatora u  $MWh$  na mernom mestu 2 dalekovoda.

### V.2 PRORAČUNI GREŠAKA GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA ENERGETSKOM TRANSFORMATORU

Sada će se da se razmatra računanje grešaka gubitaka energije na energetskom transformatoru uz pretpostavku da su brojila „sekundarno“ podešena.

Na mernom mestu 1 na primarnoj strani energetskog transformatora, kada se protekla električna energija za mesec dana  $e_{m1}^{ST}$  svedena na primarnu stranu mernih transformatora računa kao razlika dva merenja (za trenutno  $e_{m1}''^S$  i prethodno  $e_{m1}'^S$  očitano „sekundarno“ stanje) i pomnoži sa proizvodom prenosnih odnosa  $n_I$ , dobija se:

$$e_{m1}^{ST} = n_I \cdot (e_{m1}''^S - e_{m1}'^S) \quad (37)$$

Ukupna greška merenja na mernom mestu 1 svedena na primarnu stranu mernih transformatora pri tome će da bude jednaka:

$$\Delta e_{m1}^{ST} = n_I \cdot [b \cdot (e_{m1}''^S - e_{m1}'^S) + 2 \cdot 0,5 \cdot e_{in}^S] \quad (38)$$

Na mernom mestu 2 na sekundarnoj strani energetskog transformatora, kada se protekla električna energija za mesec dana  $e_{m2}^{ST}$  svedena na primarnu stranu mernih transformatora i primarnu stranu energetskog transformatora računa kao razlika dva merenja (za trenutno  $e_{m2}''^S$  i prethodno  $e_{m2}'^S$  očitano „sekundarno“ stanje) i pomnoži sa proizvodom prenosnih odnosa mernih transformatora  $n_{II}$  i prenosnim odnosom energetskog transformatora  $n_T$ , biće:

$$e_{m2}^{ST} = n_{II} \cdot n_T \cdot (e_{m2}''^S - e_{m2}'^S) \quad (39)$$

Ukupna greška merenja aktivne energije na mernom mestu 2 svedena na primarnu stranu pri tome će da bude jednaka:

$$\Delta e_{m2}^{ST} = n_{II} \cdot n_T \cdot [b \cdot (e_{m2}''^S - e_{m2}'^S) + 2 \cdot 0,5 \cdot e_{in}^S] \quad (40)$$

Ukupna greška pri proračunu energije gubitaka na energetskom transformatoru svedena sa sekundarne strane na primarnu stranu, ako je smer električne energije od primara (mernog mesta 1) ka sekundaru (mernom mestu 2) energetskog transformatora, je:

$$\begin{aligned} \Delta e^{ST} &= \Delta e_{m1}^{ST} - \Delta e_{m2}^{ST} = b \cdot [n_I \cdot (e_{m1}''^S - e_{m1}'^S) + n_{II} \cdot n_T \cdot \\ &\cdot (e_{m2}''^S - e_{m2}'^S)] + 2 \cdot 0,5 \cdot e_{in}^S \cdot (n_I + n_{II} \cdot n_T) \end{aligned} \quad (41)$$

Ako se pretpostavi da je  $n_I \cong n_{II} \cdot n_T$ , jednačina (41) može da se napiše u obliku:

$$\begin{aligned} \Delta e^{ST} &= \Delta e_{m1}^{ST} - \Delta e_{m2}^{ST} = n_I \cdot \{b \cdot [(e_{m1}''^S - e_{m1}'^S) + \\ &+ (e_{m2}''^S - e_{m2}'^S)] + 4 \cdot 0,5 \cdot e_{in}^S\} \end{aligned} \quad (42)$$

Sada će, kod proračuna greške gubitaka električne energije na energetskom transformatoru, da se smatra da su brojila „primarno“ podešena. Uzimaju se „primarno“ izmerene vrednosti energije, pa se u jednačini (42) u prvom delu greške umesto  $n_I$  stavlja 1, a u drugom delu greške umesto rezolucije ekrana brojila pri sekundarnom podešenju  $e_{min}^S = 0,001 \text{ kWh}$ , stavlja se  $e_{in}^P = \frac{2000}{C_b} \cdot e_{in}^S$ . Prema tome, je:

$$\begin{aligned} \Delta e^{PT} &= \Delta e_{m1}^{PT} - \Delta e_{m2}^{PT} = b \cdot [(e_{m1}''^P - e_{m1}'^P) + \\ &+ n_T \cdot (e_{m2}''^P - e_{m2}'^P)] + n_I \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot \frac{2000}{C_b} \cdot e_{in}^S \end{aligned} \quad (43)$$

gde su:

$e''_{m1}$  i  $e'_{m1}$  – očitane aktivne električne energije na primarnoj strani mernih transformatora u  $MWh$  na mernom mestu 1 energetskog transformatora u trenutnom i prethodnom stanju,

$e''_{m2}$  i  $e'_{m2}$  – očitane aktivne električne energije na primarnoj strani mernih transformatora u  $MWh$  na mernom mestu 2 energetskog transformatora u trenutnom i prethodnom stanju.

Radi uprošćenja jednačine su pisane pod pretpostavkom da su iste unutrašnje konstante brojila na krajevima transformatora. Ovi proračuni važe i za pojedine tarifne registre energije samo su izračunate mesečne aktivne električne energije manje.

Prvi deo grešaka u gubicima aktivne energije u jednačinama (35), (36), (42) i (43) je unutrašnja osobina samog brojila i može da se smanji primenom brojila velike tačnosti i preciznosti.

Drugi deo grešaka u gubicima aktivne električne energije u jednačinama (35), (36), (42) i (43) može da se smanji drugim načinom podešenja prenosnih odnosa mernih transformatora u samim brojilima. Umesto što se u praksi koriste električna brojila uglavnom sa „sekundarnim“ podešenjem i rezolucijom na tri decimalna mesta, primenom „primarnog“ podešenja brojila drugi deo greške gubitaka može da se značajno smanji. To smanjenje je srazmerno sa  $\frac{2000}{C_b}$  gde je  $C_b$  unutrašnja konstanta brojila.

### V.3 PROCENA NAJVEĆE MOGUĆE GREŠKE U GUBICIMA AKTIVNE ENERGIJE SVEDENE NA PRIMARNU STRANU USLED OGRANIČENE REZOLUCIJE I „SEKUNDARNOG“ PODEŠENJA PRIKAZA REGISTRA EKRANA BROJILA (TZV. GREŠKA GUBITAKA PRI OČITAVANJU)

Za prvi primer iz poglavlja II i III, pri sekundarnom podešenju, ali svedeno na primarnu stranu, ako se uporedi jednačina (24) za grešku usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije i jednačina (1) ukupne električne energije koja je protekla za mesec dana, njihovim deljenjem dobija se:

$$\frac{\Delta e_{rs1}}{E_{1,1m}^P} = \frac{12 \cdot s \cdot e_{min} \cdot n_1}{\sqrt{3} \cdot U_{l1}^P \cdot I_{f1}^P \cdot \cos \varphi \cdot T} = \frac{12 \cdot s \cdot e_{min}}{\sqrt{3} \cdot U_{l1}^S \cdot I_{f1}^S \cdot \cos \varphi \cdot T} = \frac{12 \cdot s \cdot e_{min}}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 1 \cdot \cos \varphi \cdot T} = 4,0656 \cdot 10^{-6} \quad (44)$$

Vidi se da izraz (44) važi za sva 4 razmatrana primera tako da završni rezultati mogu da se uopšte za slučajeve kada su trofazna električna brojila za indirektno priključenje, za naznačeni sekundarni međufazni napon 100 V i sekundarnu naznačenu struju 1 A. Uzima se u obzir klasa tačnosti 0,2 S.

Za nazivne primarne vrednosti struja i napona, pri jednom očitavanju brojila za 1 mesec na jednom mernom mestu, greška pri sekundarnom podešenju, usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije i svedena na primarnu stranu iznosi  $\pm 4,07 \cdot 10^{-4}$  % primarne mesečne ukupne aktivne energije.

Ako se traži protekla aktivna električna energija na mernom mestu za mesec dana onda se greška udvostručava (videti drugi član zbira u jednačinama (32), (34), (38) i (40)), pa tako iznosi  $\pm 8,13 \cdot 10^{-4}$  % primarne mesečne ukupne aktivne energije.

Ako se razmatra razlika aktivnih električnih energija na dalekovodu naznačenog napona 400 kV, 220 kV ili 110 kV ili

energetskom transformatoru prenosnog odnosa 400/220 kV, 400/110 kV ili 220/110 kV, tada se dodatno udvostručava greška pri sekundarnom podešenju usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije svedena na primarnu stranu i iznosi  $\pm 1,63 \cdot 10^{-3}$  % u odnosu na primarnu mesečnu ukupnu aktivnu električnu energiju proteklu kroz razmatrani element EES-a (videti drugi član zbira u jednačinama (35), (36), (42) i (43)).

Uzimajući u obzir glavne delove uobičajene mreže za prenos i raspodelu električne energije, prosečne vrednosti gubitaka električne energije u različitim koracima (elementima EES-a) su:

- (1 – 2) % - za energetski transformator podizač napona od generatora do dalekovoda;
- (2 – 4) % - za dalekovod;
- (1 – 2) % - za energetski transformator spuštač napona sa dalekovoda na distributivnu mrežu;
- (4 – 6) % - za transformatore i kablove distributivne mreže.

U odnosu na prosečna merenja energije, proučavana greška biće:

1. za gubitke na dalekovodu (25 – 50) puta veća, odnosno  $\pm(0,041 - 0,081)$  % prosečnih aktivnih gubitaka energije.
2. za gubitke na energetskom transformatoru (50 – 100) puta veća, odnosno  $\pm(0,081 - 0,163)$  % prosečnih gubitaka.

Ako se pretpostavi prosečno opterećenje od 50 % naznačene vrednosti tokom veka trajanja dalekovoda i energetskog transformatora [10], greška pri sekundarnom podešenju usled ograničene rezolucije registra ukupne aktivne električne energije svedena na primarnu stranu biće dvostruko veća tj.:

1. za dalekovod je  $\pm(0,081 - 0,163)$  % prosečnih gubitaka.
2. za energetski transformator je  $\pm(0,163 - 0,325)$  % prosečnih gubitaka energije na energetskom transformatoru.

Poslednje su navedene greške za registar ukupne aktivne električne energije. Pošto su pri obračunu cene gubitaka energije bitne vrednosti aktivne energije iz registara za višu i nižu tarifu, razmatrana greška će da bude dvostruko veća i pod uslovom da u proseku tarifni registri dele opterećenje po pola, greška je:

1. za dalekovod  $\pm(0,163 - 0,325)$  % prosečnih gubitaka.
2. za energetski transformator  $\pm(0,325 - 0,65)$  % prosečnih gubitaka aktivne energije na energetskom transformatoru.

### VI ZAKLJUČAK

Pri „sekundarnom“ podešenju trofaznog električnog brojila za indirektno priključenje, vrednost aktivne energije očitana sa ekrana brojila sa uobičajenom rezolucijom na tri decimalna mesta ( $0,001 kWh$ ) biće sa mernom greškom od  $\pm 0,0005 kWh$  usled ograničene rezolucije registra aktivne energije. Ova greška će pri svodjenju na primarnu stranu da bude višestruko veća posle „ručnog“ množenja sa prenosnim odnosima strujnog i naponskog mernog transformatora, nego kada se ovo množenje vrši u samom brojilu čiji su memorijski registri veličine 8 bajtova.

Umesto što se u praksi koriste električna brojila uglavnom sa „sekundarnim“ podešenjem i rezolucijom na tri decimalna mesta, primenom „primarnog“ podešenja brojila greška usled ograničene rezolucije može da se značajno smanji. To smanjenje

je srazmerno sa činiocem  $\frac{2000}{C_b}$ , gde je  $C_b$  unutrašnja konstanta električnog brojila iz opsega [5000 – 200000] imp./kWh.

Prema tome, radi tačnijeg merenja aktivne električne energije gubitaka na elementima EES-a, najbolje moguće podešenje registara ekrana brojila za aktivnu električnu energiju je „primarno“ podešenje. Rezolucija ekrana brojila pri „primarnom“ podešenju se bira zavisno od moguće protekle registrovane godišnje aktivne električne energije, vrednosti konstante brojila i pod uslovom da se u električnom brojilu čuvaju snimljena stanja svih podešenih registara za aktivnu energiju najmanje za dvanaest meseci unazad (što zavisi od proizvoda vrednosti prenosnih odnosa strujnih i naponskih mernih transformatora na mestu merenja).

#### LITERATURA/REFERENCES

- [1] Imamović, J., Kurtagić, S. M., Manić E., Analiza potencijala za uvođenje sistema pametnih mreža u Bosni i Hercegovini, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 23, No. 3, pp. 61-65, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.611>
- [2] The US Smart Meter Market: Size, Trends & Forecast with Impact Analysis of COVID 19 (2021-2025), ID: 5481223, United States, November 2021. <https://www.marketresearch.com/Daedal-Research-v3440/Smart-Meter-Size-Trends-Forecast-30306512/> [pristupljeno 27.10.2022]
- [3] Dukanac, Đ., Analiza vremena ispitivanja i greške očitavanja pametnih brojila električne energije u zavisnosti od njihovog podešenja, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 23, No. 1, pp. 50-55, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-1.50D>
- [4] Pravila o radu prenosnog sistema, Elektromreža Srbije AD, [http://ems.rs/media/uploads/PRAVILA\\_O\\_RADU\\_PRENOSNOG\\_SISTEMA.pdf](http://ems.rs/media/uploads/PRAVILA_O_RADU_PRENOSNOG_SISTEMA.pdf) [pristupljeno 27.05.2022]
- [5] User Guide SL7000 IEC7, <https://www.manualslib.com/download/1599460/Itron-SI7000-Iec7.html> [pristupljeno 27.05.2022]
- [6] High voltage instrument transformers | Artech, <https://www.el-instaenergo.cz/files/download/produkty/artche-pristrojove-transformatory/artche-high-voltage-instrument-transformers/artche-brochure-high-voltage-instrument-transformers-en.pdf/> [pristupljeno 27.05.2022]
- [7] ZMQ200, ZFQ200, ZCQ200 – User Manual, Landis+Gyr AG, [https://www.landisgyr.eu/webfoo/wp-content/uploads/2012/09/7102000215\\_en-I-ZxQ-User-Manual.pdf](https://www.landisgyr.eu/webfoo/wp-content/uploads/2012/09/7102000215_en-I-ZxQ-User-Manual.pdf) [pristupljeno 27.05.2022]
- [8] Measurement: Uncertainty and Error in Lab Measurements. [https://d32ogoqmya1dw8.cloudfront.net/files/sp/library/uncertainty/introduction\\_measurement\\_advan.v3.pdf](https://d32ogoqmya1dw8.cloudfront.net/files/sp/library/uncertainty/introduction_measurement_advan.v3.pdf) [pristupljeno 27.05.2022]
- [9] ZMD400AT/CT, ZFD400AT/CT – E650 Series 4 – User Manual, Landis+Gyr AG. <https://landisgyr.com.cn/uploadfiles/d000062026.pdf> [pristupljeno 27.05.2022]
- [10] Environmental Product Declaration - Power Transformer TrafoStar 500 MVA (ONAN/ONAF), ABB Power Transmission, <https://library.e.abb.com/public/566748ad75116903c1256d630042f1af/Prod-uctdeclarationStarTrafo500.pdf> [pristupljeno 27.05.2022]

#### AUTOR/AUTHOR

**Djordje Dukanac** – magistar elektrotehničkih nauka, Akcionarsko društvo “Elektromreža Srbije” Beograd, djordje.dukanac@ems.rs, ORCID [0000-0002-1090-3129](https://orcid.org/0000-0002-1090-3129)

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](http://www.savezenergeticara.org)