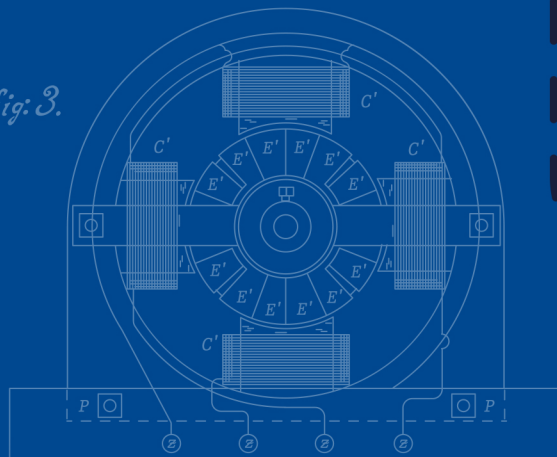




fig. 3.



ISSN 3009-2892 (Online)

UDK 620.9
621.31

Elektroprivreda

Electric Power Industry Journal

2023

Godina 1, Broj 1
Volume 1, Issue 1



SPECIJALNO
IZDANJE



CIRED Srbija



Elektroprivreda

Electric Power Industry Journal



Naučno-stručni časopis Akcionarskog društva „Elektroprivreda Srbije“
u suizdavaštvu sa Elektrotehničkim institutom „Nikola Tesla“ Beograd



Godina 1, Broj 1

Sadržaj

Impresum	
Reč Uredništva	1-1
Reč Gostujućeg urednika	2-2
Članci	
Nikola N. Krstić, Dragan S. Tasić: Metoda za određivanje optimalne lokacije i konfiguracije sistema sačinjenog od fotonaponskog i sistema za skladištenje energije uzimajući u obzir smanjenje gubitaka u distributivnoj mreži	3-14
Dunja S. Grujić, Miloš Kuzman: Uloga agregatora u razvoju tržišta električne energije	15-27
Vladimir M. Šiljkut, Nikola Georgijević, Saša Milić, Aleksandar Latinović, Dušan Vlaisavljević, Radoš Čabarkapa: Agregacija kompozitne virtuelne elektrane – mogućnosti i ograničenja za primenu u Srbiji	28-45
Maja Grbić, Dejan Hrvić, Aleksandar Pavlović: Analiza izloženosti ljudi magnetskoj indukciji u stanu usled uticaja niskonaponskih kablovskih priključnih kutija	46-55
Milica Porobić, Radislav Milankov, Dragan Cvetinov, Ratko Rogan: Analiza isporučene električne energije korisniku „Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad“	56-68
Dodatak - prilozi	
Uređivačka politika i tematske oblasti časopisa	69-69
Kategorizacija (rangiranje) rukopisa	70-70
Detaljno uputstvo autorima o načinu pripreme članka	71-75



IZVRŠNI IZDAVAČ:

AKCIONARSKO DRUŠTVO „ELEKTROPRIVREDA SRBIJE“ BEOGRAD

11 000 Beograd, Balkanska 13

Elektronska prezentacija: www.eps.rs

Telefon Uredništva: +381-11-365-23-63

Imejl: epijournal.editor@eps.rs

Web platforma Časopisa: <https://epijournal.eps.rs>

SUIZDAVAČ:

ELEKTROTEHNIČKI INSTITUT „NIKOLA TESLA“ BEOGRAD

11 000 Beograd, Koste Glavinića 8a

Elektronska prezentacija: www.ieent.org

Telefon: +381-11-39-52-000

Telefaks: +381-11-36-90-487

ZA IZVRŠNOG IZDAVAČA:

Dušan Živković, dipl. inž. el.

v.d. generalnog direktora EPS AD

ZA SUIZDAVAČA:

Dr Dragan Kovačević, dipl. inž. el.

direktor ETI „Nikola Tesla“

GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK:

Dr Vladimir M. Šiljkut, dipl. inž. el.

IZDAVAČKI SAVET

Dr Dragan Kovačević, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“ Beograd

Nebojša Petrović, „Elektromreža Srbije“ AD Beograd, predsednik CIGRE Srbija

Vanr. prof. dr Željko Popović, FTN Novi Sad, predstavnik CIRED Srbija

Mr Nenad Šijaković, „Elektromreža Srbije“ AD Beograd

Mr Dušan Vukotić, „Elektro distribucija Srbije“ d.o.o. Beograd

Prof. dr Vladimir A. Katić, profesor u penziji FTN Novi Sad, predsednik Uređivačkog odbora

Dr Vladimir M. Šiljkut, „Elektroprivreda Srbije“ AD Beograd, glavni i odgovorni urednik

UREĐIVAČKI ODBOR

Prof. dr Vladimir A. Katić, profesor u penziji FTN Novi Sad, predsednik

Prof. dr Dragutin D. Salamon, profesor u penziji ETF Beograd, zamenik predsednika

Prof. dr Aleksandar Gajić, Akademija inženjerskih nauka Srbije (AINS),
profesor u penziji Mašinskog fakulteta Beograd

Prof. dr Jovan Nahman, AINS, profesor u penziji ETF Beograd

Prof. dr Nikola Rajaković, predsednik Saveza energetičara Srbije, profesor u penziji ETF Beograd

Prof. dr Mladen Kezunović, Texas A&M University

Prof. dr Miroslav Begović, Texas A&M University

Prof. dr Jovica Milanović, University of Manchester, School for Electrical Engineering

Prof. dr Vladimir Terzija, Newcastle University

Prof. dr Boris Dumnić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Prof. dr Luka Strezoski, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Prof. dr Dragan Tasić, Elektronski fakultet, Niš

Prof. dr Lidija Korunović, Elektronski fakultet, Niš

Prof. dr Dragana Životić, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Prof. dr Mića Jovanović, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Vanr. prof. dr Tina Dašić, Građevinski fakultet, Beograd

Doc. dr Jelena Ponočko, SP Energy Networks i University of Manchester, School for Electrical Engineering

Dr Ana Dajić, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Dr Dragoslav Perić, Akademija tehničkih strukovnih studija, Beograd

Dr Saša M. Stojković, Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija, Beograd

Dr Dragan Kovačević, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd

Dr Ninel Čukalevski, Institut „Mihajlo Pupin“, Beograd

Dr Milinko Radosavljević, Rudarski institut, Beograd

Dr Marija Đorđević, „Elektromreža Srbije“ AD, Beograd

Dr Jasna Marković-Petrović, EPS AD, Beograd

Dr Rada Krgović, EPS AD, Beograd

Dr Vladimir Đorđević, EPS AD, Beograd

Dr Milorad Pantelić, EPS AD, Beograd
Dr Milisav Tomić, EPS AD, Beograd
Mr Dragan Vlasisavljević, EPS AD, Beograd
Mr Aleksandar Jakovljević, EPS AD, Beograd
Mr Nikola Obradović, „Elektromreža Srbije“ AD, Beograd
Vladan Ristić, „Elektromreža Srbije“ AD, Beograd
Radovan Stanić, EPS AD, Beograd
Biljana Stekić-Jovanović, EPS AD, Beograd
Jovan Ilić, EPS AD, Beograd
Milan Đorđević, EPS AD, Beograd
Radoš Čabarkapa, EPS AD, Beograd
Aleksandar Latinović, EPS AD, Beograd
Željko Lazarević, EPS AD, Beograd

**GOSTUJUĆI UREĐIVAČKI ODBOR SPECIJALNOG IZDANJA
(Posvećenog najzapaženijim radovima 13. Savetovanja CIRED Srbije 2022)**

Dr Zoran Simendić, predsednik CIRED Srbija, gostujući glavni urednik,
Dr Vladimir Šiljkut, predsednik Stručne komisije STK-1 CIRED Srbija,
Prof. dr Vladimir Katić, predsednik STK-2 CIRED Srbija, gostujući urednik,
Mr Dušan Vukotić, predsednik STK-3 CIRED Srbija, gostujući urednik,
Vanr. prof. dr Željko Popović, predsednik STK-4 CIRED Srbija, gostujući urednik,
Vanr. prof. dr Aleksandar Janjić, predsednik STK-5 CIRED Srbija, gostujući urednik,
Vanr. prof. dr Nenad Katić, predsednik STK-6 CIRED Srbija, gostujući urednik.

TEHNIČKO UREDNIŠTVO

Razvoj, dizajn i uređivanje veb platforme:

Igor Medenica
Danilo Mijatović
Radovan Brajović

Lektor i korektor:

Milesa Karadžić, prof. srpskog jezika i književnosti

Prevodioci:

Jasna Đurović
Srđan Bugarić
Ivana Jevtović
Sunčica Đokić-Krstić
Ranka Mladenović

Tehnički sekretarijat:

Mr Angelina Milovanović
Dejana Kosanović

Narodna Biblioteka Srbije, Beograd

Časopis „Elektroprivreda“
Electric Power Industry Journal
Glavni i odgovorni urednik
Dr Vladimir M. Šiljkut, naučni saradnik

Časopis izlazi dvaput godišnje
ISSN 3009-2892 (Online) Open Access
COBISS.SR-ID - 121874441

REČ UREDNIŠTVA

Poštovani čitaoci i saradnici,

Časopis „Elektroprivreda“ je počeo da izlazi davne 1948. godine, najpre pod drugačijim nazivom, kao stručno glasilo u kome su objavljivani mnogobrojni stručni, pa i naučni rukopisi, iznoseći iskustva iz elektroprivredne delatnosti na celom prostoru tadašnje Jugoslavije. Časopis je objavljivao u kontinuitetu, uglavnom kvartalno, u štampanom obliku, pune 64 godine. Stoga se može slobodno reći da je bio i savremenik i svedok elektrifikacije zemlje, ubrzanog razvoja, ali i potonjih, velikih problema, kao i brojnih preobražaja elektroprivrede celog ovog područja, a i šire interkonekcije. Stoga nije čudno što je tokom svoje duge istorije, stekao rang istaknutog časopisa, nacionalnog značaja. Poslednji broj starog Časopisa „Elektroprivreda“, međutim, izašao je još 2011. godine. Naime, Časopis se suočio sa organizaciono-tehničkim problemima i rad na pripremi i publikovanju novih izdanja je ubrzo prekinut.

Sa vizijom strateškog razvoja i razumevajući da bez čvrste saradnje ljudi iz struke i prakse sa naučno-istraživačkim institucijama i inovativnim centrima, kao ni bez otvorene razmene njihovih mišljenja i iskustava, nema daljeg napretka u oblasti elektroenergetike, rukovodstvo EPS je 2022. i početkom 2023. godine donelo dve značajne odluke. Prva je oformljavanje i početak rada Naučnog saveta EPS, koji čine predstavnici akademske, naučno-istraživačke zajednice i zaposlenih u EPS sa akademskim i naučnim zvanjima. Druga je odluka o ponovnom pokretanju izdavanja časopisa „Elektroprivreda“, kao naučno-stručnog, po novoj, široj koncepciji i dvojezično, na srpskom i engleskom. Naučni savet EPS i nova „Elektroprivreda“ predstavljaju poligone, platforme i alate za prikazivanje iskustava, konstruktivno iskazivanje i sučeljavanje stavova, stručne diskusije i formulisanje saveta i zaključaka po pitanjima strateškog razvoja i opredeljivanja za nove tehnologije. Naime, uvereni smo da će samo na taj način elektroprivredna delatnost u Srbiji, a i šire, suočena sa neminovnošću dekarbonizacije, digitalizacije i tranzicije ka održivom razvoju, biti u stanju da iznađe adekvatne i optimalne tehničko-tehnološke, pravno-ekonomske i organizaciono-poslovne odgovore na sve izazove.

Na liniji ovih ideja, Uredništvo vas poziva na saradnju i drži stalno otvoren ljubazan poziv za dostavu vaših rukopisa koje će detaljno recenzirati eminentni stručnjaci u oblastima na koje se rukopisi odnose. Takođe pozivamo zainteresovane eksperte s iskustvom u recenziranju, da se prijave za recenzente rukopisa koji budu prijavljivani za objavljivanje u Časopisu. Sve čitaoce takođe pozivamo da se uključe u naš rad, slanjem pisanih diskusija, u slučaju da osete potrebu da na neki od objavljenih tekstova u Časopisu daju svoj komentar, da prilože polemiku ili pruže neki sličan doprinos. Naime, samo uz interesovanje i dragoceno, aktivno učešće čitalačke publike, autora i recenzenata, biće moguće ne samo uspešno ponovno pokretanje časopisa „Elektroprivreda“, nego i njegova održivost, redovnost izlaženja, aktuelnost i kvalitet.

U ime Uredništva,



dr Vladimir Šiljkut
glavni i odgovorni urednik

REČ GOSTUJUĆEG UREDNIKA

Poštovani čitaoci,

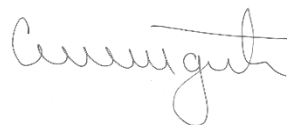
Pred vama se nalazi prvi broj obnovljenog časopisa „Elektroprivreda“. Odluci Akcionarskog društva „Elektroprivreda Srbije“ (EPS AD) da ponovo pokrene njegovo izdavanje, prethodilo je uspešno održavanje 13. Savetovanja u organizaciji nacionalnog komiteta za elektrodistributivne mreže, CIRED Srbije, na Kopaoniku, septembra 2022. S obzirom na raniju praksu starog Časopisa, u okviru i formalno donete Odluke EPS AD predviđeno je da neparnim kalendarskim godinama budu objavljivani nagrađeni radovi sa prethodno održanog savetovanja CIRED Srbije, ali sada u okviru posebnog, specijalnog izdanja, tekstualno prošireni za najmanje trećinu u odnosu na nagrađeni rad, kvalitativno unapređeni i dodatno recenzirani, po istoj proceduri koja je predviđena za rukopise kandidovane za objavljivanje u redovnim izdanjima Časopisa. Sticajem okolnosti i pomenutog sleda događaja, prvi broj obnovljenog Časopisa je upravo Specijalno izdanje, posvećeno radovima nagrađenim na CIRED Srbije 2022.

Nacionalni komitet CIRED Srbije, po uzoru na međunarodni CIRED, ima šest svojih Stručnih komisija (STK). Nacionalna savetovanja sa regionalnim učešćem održavaju se biženalno i tom prilikom svaka STK dodeljuje nagradu za najzapaženiji rad u oblastima elektrodistributivne delatnosti kojima se ta STK bavi. Takođe, predviđena je mogućnost dodele i sedme nagrade, za rad koji prikazuje tehničku inovaciju, i ona se može dodeliti samo jednom radu, na nivou celog nacionalnog komiteta CIRED Srbije. Upravo na 13. Savetovanju je to bio slučaj – dodeljena je i ta nagrada.

Autori svih radova nagrađenih u septembru 2022. odazvali su se našem i ljubaznom pozivu stalnog Uredništva Časopisa i dostavili rukopise sa proširenim i unapređenim verzijama svojih radova. Nakon sprovedenog postupka detaljnih pregleda i recenzija rukopisa, usaglašavanja autora sa recenzentima, pred vama se nalazi izbor onih nagrađenih radova koji su obezbedili najmanje dve pozitivne recenzije i dobili konačno odobrenje za objavljivanje.

Nadam se da će nagrađeni radovi, objavljeni u ovom izdanju u svojim proširenim i unapređenim verzijama, dati naučni i stručni doprinos elektroenergetici u Srbiji i podstaći autore iz Srbije i drugih zemalja da ubuduće objavljuju svoje radove u novom časopisu „Elektroprivreda“.

U ime Gostujućeg uređivačkog odbora
Specijalnog izdanja Časopisa,



dr Zoran Simendić
gostujući glavni urednik

Nikola N. Krstić¹, Dragan S. Tasić¹

Metoda za određivanje optimalne lokacije i konfiguracije sistema sačinjenog od fotonaponskog i sistema za skladištenje energije uzimajući u obzir smanjenje gubitaka u distributivnoj mreži

¹ Elektronski fakultet u Nišu, Niš, Srbija*

Kategorija rada: originalni naučno-istraživački članak

Ključne poruke

- Ovaj rad razmatra smanjenja gubitaka u distributivnoj mreži priključenjem sistema sačinjenog od fotonaponskog (PV) i sistema za skladištenje energije (ESS).
- Određena je optimalna lokacija i optimalna snaga sistema sačinjenog od PV sistema i ESS uvažavajući minimizaciju gubitaka.
- Izvršeno je dimenzionisanje PV sistema i ESS.
- Sagledan je uticaj nepoklapanja stvarnih i očekivanih vrednosti opterećenja i sunčeve iradijacije na povećanje gubitaka u mreži i promenu nivoa napunjenosti ESS.

Kratak sadržaj

U ovom radu je predstavljena dvostepena metoda za određivanje optimalne lokacije i konfiguracije sistema sačinjenog od PV sistema i ESS uzimajući u obzir smanjenje gubitaka u distributivnoj mreži. U prvom koraku je uvažavajući očekivani dnevni dijagram opterećenja distributivne mreže, a korišćenjem metaheurističke optimizacione metode roja čestica (PSO), određena optimalna lokacija i optimalna snaga u toku dana sistema sačinjenog od PV sistema i ESS kako bi se minimizovali gubici u distributivnoj mreži. U drugom koraku procedure, određene su pojedinačne snage PV sistema i ESS i izvršena je njihova konfiguracija (dimenzionisanje). Ovo je urađeno iterativnim postupkom koristeći vrednosti optimalne zbirne snage ova dva sistema u toku dana dobijene u prvom koraku i oblika dnevnog dijagrama sunčeve iradijacije PV sistema u slučaju vedrog dana. Postupak konfiguracije je detaljno objašnjen, a u okviru njega je određena potrebna maksimalna snaga PV sistema, maksimalna snaga ESS kao i energetska kapacitet ESS. Takođe, sagledan je uticaj odstupanja stvarnog od očekivanog dijagrama opterećenja kao i smanjenje sunčeve iradijacije u toku dana na povećanje gubitaka u distributivnoj mreži i promenu nivoa napunjenosti ESS. U radu su razmatrani slučajevi sa različitim dijagramima opterećenja i različitim stepenima efikasnosti ESS. Svi rezultati su dobijeni korišćenjem IEEE radialne distributivne mreže sa 33 čvora.

Ključne reči

Fotonaponski (PV) sistem, sistem za skladištenje energije (ESS),
optimizaciona metoda roja čestica (PSO), gubici u distributivnoj mreži

Primljeno: 5. april 2023. Recenzirano: 25. april 2023.
Izmenjeno: 28. april 2023. Odobreno: 4. maj 2023.

*Korespondirajući autor: Nikola N. Krstić
E - mail: nikola.krstic@elfak.ni.ac.rs

Napomena:

Članak predstavlja proširenu, unapređenu i dodatno recenziranu verziju rada „Optimalna lokacija i konfiguracija sistema sačinjenog od fotonaponskog i sistema za skladištenje energije uzimajući u obzir smanjenje gubitaka u distributivnoj mreži“, nagrađenog u Stručnoj komisiji STK-4 Distribuirana proizvodnja i efikasno korišćenje električne energije, na 13. Savetovanju CIRED Srbija, Kopaonik, 12-16. septembra

1. UVOD

Povećanje ekološke svesti je uslovalo da poboljšanje efikasnosti i korišćenje zelenih tehnologija postanu jedni od osnovnih zahteva i prioriteta koji se postavljaju prilikom razmatranja rada elektroenergetskog sistema. U ostvarenju ovih zahteva značajnu ulogu igraju obnovljivi izvori energije, koji se na sve moguće načine pokušavaju implementirati u elektroenergetski sistem i poboljšati njegov rad [1]. Jedan posebno važan vid njihove primene je priključenje na distributivnu mrežu [2] gde imaju ulogu distribuirane proizvodnje. Ovime obnovljivi izvori energije približavaju proizvodnju potrošnji smanjujući gubitke u prenosu [3], ali zbog intermitentnog karaktera njihove proizvodnje često nisu u mogućnosti ostvariti potrebnu snagu koja bi donela željeno povećanje efikasnosti mreže. Jedno od rešenja ovog problema, posebno u slučajevima gde distribuirana proizvodnja i opterećenje u većoj meri nisu usaglašeni, jeste korišćenje ESS [4]-[5]. Uzimajući u obzir gore navedeno, u ovom radu je razmatrano poboljšanje efikasnosti rada distributivne mreže, odnosno smanjenje gubitaka u njoj [6], korišćenjem sistema koji se sastoji od PV sistema i ESS [7]. Sistemi od kojih je sastavljen omogućavaju mu da se prema distributivnoj mreži ponaša kao distribuirana proizvodnja sa mogućnošću upravljanja izlaznom snagom [8]-[9]. Ovom snagom sistem ostvaruje rasterećenje određenih deonica distributivne mreže, posebno onih napojnih, smanjujući gubitke u njima. Tokovi snaga u distributivnoj mreži i struje u njenim vodovima su određene iterativnom metodom za proračun tokova snaga u radijalnim distributivnim mrežama [10].

Za minimizaciju gubitaka u distributivnoj mreži, u ovom slučaju, potrebno je ispravno locirati pomenuti sistem i u svakom trenutku obezbediti adekvatnu vrednost njegove izlazne snage [8]. Optimalna lokacija i snaga koju je potrebno da u distributivnu mrežu injektira sistem sačinjen od PV sistema i ESS, kako bi minimizovao gubitke u njoj, [3], [11], određene su korišćenjem PSO metaheurističke optimizacione metode, [12]-[15], uvažavajući očekivani dnevni dijagram opterećenja. Na osnovu dobijene optimalne snage sistema u toku dana i dnevnog dijagrama sunčeve iradijacije PV sistema u slučaju vedrog dana, određuju se pojedinačne snage PV sistema i ESS i vrši se njihova optimalna konfiguracija, odnosno dimenzionisanje [11], [16]. Ovde se određuje potrebna maksimalna snaga PV sistema, maksimalna snaga ESS i potreban energetska kapacitet ESS, za različite dijagrame i tipove opterećenja, koristeći različite stepene efikasnosti ESS.

Procedura za određivanje konfiguracije sistema sačinjenog od PV sistema i ESS je iterativnog tipa kod koje se na osnovu pretpostavljenih vrednosti za periode punjenja/pražnjenja ESS određuje maksimalna snaga PV sistema [17] na osnovu koje se tačnije određuju periodi punjenja/pražnjenja ESS u narednoj iteraciji. Početne vrednosti za periode punjenja/pražnjenja ESS se određuju

na osnovu oblika dnevnog dijagrama opterećenja distributivne mreže i dnevnog dijagrama sunčeve iradijacije PV sistema. Iterativni postupak se završava kada u dve susedne iteracije periodi punjenja/pražnjenja ESS imaju istu vrednost. Navedena procedura za određivanje optimalne lokacije i konfiguracije sistema sačinjenog od PV sistema i ESS zahteva poznavanje dnevnog dijagrama opterećenja distributivne mreže i dijagrama sunčeve iradijacije PV sistema. Ovi dijagrami se zbog svoje stohastičke prirode ne mogu sa sigurnošću prognozirati [18], zbog čega se optimalna konfiguracija sistema vrši na osnovu njihovih najverovatnijih vrednosti u koje spadaju očekivani dijagram opterećenja i dijagram sunčeve iradijacije PV sistema u vedrom danu. Iz ovog razloga je takođe sagledan uticaj nepoklapanja stvarnih sa očekivanim (prognoziranim) vrednostima opterećenja kao i uticaj smanjenja sunčeve iradijacije PV sistema usled oblačnosti u toku dana, na povećanje gubitaka u mreži i promenu nivoa napunjenosti ESS [19].

2. DEFINISANJE OPTIMIZACIONOG PROBLEMA I KRITERIJUMSKA FUNKCIJA

Smanjenje gubitaka u distributivnoj mreži korišćenjem sistema sačinjenog od PV sistema i ESS predstavlja nelinearni optimizacioni problem sa ograničenjima. Nelinearnost proizilazi iz nelinearne zavisnosti gubitaka distributivne mreže i korišćenih ograničenja od snage injektiranja pomenutog sistema.

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

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

$$P_{min}(k) < P(k) < P_{max}(k) \quad (2)$$

gde je i indeks čvora u distributivnoj mreži u kome je priključen sistem sačinjen od PV sistema i ESS, dok je $P(k)$ srednja jednočasovna snaga koju ovaj sistem injektira u distributivnu mrežu u k -tom satu. Skup indeksa čvorova u kojima je moguće priključiti sistem sačinjen od PV sistema i ESS je dat kao $\{i_1, i_2, \dots, i_n\}$, a $P_{min}(k)$ i $P_{max}(k)$ su njegova minimalna i maksimalna snaga u k -tom satu, koje su određene minimalnim i maksimalnim snagama PV sistema i ESS ($P_{min}(k) = P_{PVmin}(k) + P_{ESSmin}(k)$, $P_{max}(k) = P_{PVmax}(k) + P_{ESSmax}(k)$).

Zavisne veličine koje se pojavljuju u ovom optimizacionom problemu su snage PV sistema i ESS, nivo napunjenosti ESS, struja duž vodova distributivne mreže i napon u njenim čvorovima.

Ograničenja zavisnih veličina su određena minimalnim i maksimalnim snagama PV sistema i ESS, maksimalnom radnom strujom i dozvoljenim opsegom napona distributivnih vodova, kao i dozvoljenim opsegom nivoa napunjenosti ESS, što je dato relacijama (3)-(7):

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

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

$$I < I_{max} \quad (5)$$

$$V_{min} < V < V_{max} \quad (6)$$

$$SOC_{min} < SOC < SOC_{max} \quad (7)$$

gde su I i V struja i napon u distributivnoj mreži, dok je SOC nivo napunjenosti ESS.

Snage $P_{PV}(k)$ i $P_{ESS}(k)$ predstavljaju srednje jednočasovne snage PV sistema i ESS u k -tom satu, koje kao i ostale veličine moraju biti između svojih minimalnih ($P_{PVmin}(k)$, $P_{ESSmin}(k)$) i maksimalnih vrednosti ($P_{PVmax}(k)$, $P_{ESSmax}(k)$). Granične vrednosti za snage ESS (maksimalna snaga punjenja i maksimalna snaga pražnjenja) usvojene su tako da ne predstavljaju ograničavajući faktor za dobijanje optimalnog rešenja i imaju istu vrednost u toku celog dana. Za razliku od toga, gornja granična vrednost snage PV sistema $P_{PVmax}(k)$ zavisi od rednog broja sata u danu k , i prati oblik dnevnog dijagrama sunčeve iradijacije PV sistema. Donja granična vrednost za snagu PV sistema $P_{PVmin}(k)$ je jednaka nuli za svaki sat u toku dana.

Kako bi dobijeni radni režimi ESS bili održivi u vremenu, prilikom određivanja optimalne konfiguracije sistema, usvojiće se da su nivoi napunjenosti ESS na početku (SOC_0) i kraju (SOC_T) radnog ciklusa (dana) jednaki. U ovu svrhu je usvojeno dodatno ograničenje vezano za nivo napunjenosti ESS, uvaženo realcijom (8):

$$SOC_T - SOC_0 = 0 \quad (8)$$

Rešenje optimizacionog problema je potrebno da omogući minimizaciju gubitaka u distributivnoj mreži. Iz ovog razloga je korišćena jednoparameterska kriterijumska funkcija jednaka srednjoj dnevnoj snazi gubitaka distributivne mreže, data relacijom (9):

$$C = \frac{1}{24} \cdot \sum_{k=1}^{24} \sum_{j=1}^m 3I_{k,j}^2 R_j \quad (9)$$

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, m – ukupan broj deonica distributivne mreže.

3. REŠAVANJE OPTIMIZACIONOG PROBLEMA I ODREĐIVANJE OPTIMALNE KONFIGURACIJE SISTEMA

U cilju dobijanja optimalne lokacije i konfiguracije sistema sačinjenog od PV sistema i ESS potrebno je prvo rešiti postavljeni optimizacioni problem. Rešavanje ovog optimizacionog problema se svodi na nalaženje optimalnih vrednosti za lokaciju i snagu sistema sačinjenog od PV sistema i ESS tako da se ostvari minimizacija gubitaka u distributivnoj mreži. Za dobijanje optimalne lokacije i

optimalnih srednjih jednočasovnih snaga u toku dana sistema sačinjenog od PV sistema i ESS korišćena je metaheuristička optimizaciona metoda PSO. Prednost PSO i metaheurističkih optimizacionih metoda uopšte je njihova fleksibilnost i mogućnost primene na širokom opsegu različitih optimizacionih problema.

3.1 Rešavanje optimizacionog problema

Kao što je rečeno, PSO je korišćen za rešavanje postavljenog optimizacionog problema. PSO spada u populacione metaheurističke optimizacione metode i inspirisan je procesom traženja hrane jata ptica u prirodi. Populacija se sastoji od skupa jedinki, od kojih svaka predstavlja vektor upravljačkih veličina i potencijalno rešenje optimizacionog problema. Jedinke u populaciji komuniciraju međusobno i kreću se prema onoj koja je na mestu sa najvećom količinom hrane, odnosno koja ima najnižu vrednost kriterijumske funkcije. U cilju bolje pretrage prostora u kojem se može naći optimalno rešenje, na smer kretanja jedinke ne utiče samo lokacija sa najvećom količinom hrane do tada pronađena (g_{best}), već i lokacija sa najvećom količinom hrane koju je ta jedinka do tada pronašla (p_{besti}). Na ovaj način u svakoj sledećoj iteraciji jedinke su bliže nalaženju mesta sa najvećom količinom hrane, a time i najmanjom vrednošću kriterijumske funkcije. Jedinka koja na kraju ima najmanju vrednost kriterijumske funkcije ujedno predstavlja i rešenje optimizacionog problema. Navedena optimizaciona metoda se analitički može opisati preko relacija (10) i (11):

$$v_i(t+1) = w \cdot v_i(t) + C_1 \cdot r_1 \cdot (p_{besti}(t) - x_i(t)) + C_2 \cdot r_2 \cdot (g_{best}(t) - x_i(t)) \quad (10)$$

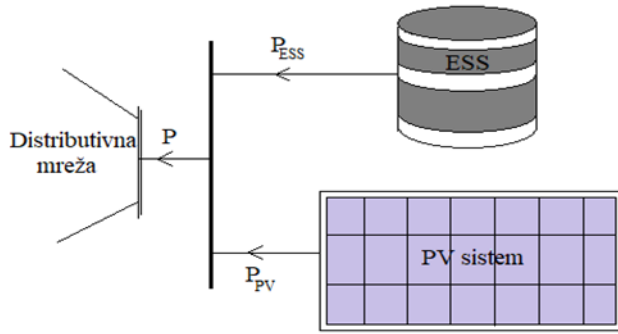
$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (11)$$

gde je: t – redni broj iteracije, x_i – lokacija i -te jedinke, v_i – pomeraj i -te jedinke, w – koeficijent inercije, C_1, C_2 – koeficijenti ubrzanja, r_1, r_2 – slučajni brojevi iz intervala $[0,1]$.

Kod rešavanja navedenog optimizacionog problema jedinku predstavlja vektor upravljačkih veličina sa 25 koordinata, od kojih je prva lokacija (indeks čvora u distributivnoj mreži u kojem se vrši priključenje sistema), a ostale 24 koordinate predstavljaju srednje jednočasovne snage posmatranog sistema u toku dana. Nakon svake iteracije menjaju se koordinate jedinki u cilju smanjenja vrednosti njihovih kriterijumskih funkcija, što posle odgovarajućeg broja iteracija (kada je promena kriterijumske funkcije najboljeg rešenja zanemarljiva) daje rešenje optimizacionog problema. Kao deo rešenja optimizacionog problema, direktno je dobijena optimalna lokacija sistema sačinjenog od PV sistema i ESS, dok su dobijene optimalne snage iskorišćene za određivanje optimalne konfiguracije sistema.

3.2 Određivanje optimalne konfiguracije sistema sačinjenog od PV sistema i ESS

U ovom radu je za optimalnu konfiguraciju sistema sačinjenog od PV sistema i ESS, čija je principijelna šema prikazana na slici 1, usvojena ona konfiguracija koja može da obezbedi minimizaciju gubitaka u distributivnoj mreži uz minimalno dimenzionisanje PV sistema i ESS.



Slika 1. Principijelna šema sistema sačinjenog od PV sistema i ESS

Za određivanje optimalne konfiguracije iskorišćena je dobijena optimalna snaga, koju pomenuti sistem treba injektirati u distributivnu mrežu u toku dana kako bi minimizovao gubitke u njoj, kao i dnevni dijagram sunčeve iradijacije PV sistema. U korišćenom pristupu prvi korak u određivanju optimalne konfiguracije sistema sačinjenog od PV sistema i ESS je dimenzionisanje PV sistema, odnosno određivanje njegove maksimalne snage. Kako bi ovo bilo moguće, potrebno je izraziti snagu PV sistema za svaki sat u toku dana preko njegove maksimalne snage (P_{PVmax}) i sunčeve iradijacije u toku dana:

$$P_{PV}(h) = P_{PVmax} \frac{I_C(h)}{I_{Cmax}} \quad (12)$$

gde su $P_{PV}(h)$ i $I_C(h)$ snaga i sunčeva iradijacija PV sistema u h -tom satu, dok je I_{Cmax} maksimalna sunčeva iradijacija PV sistema u toku dana. Snaga PV sistema prati dnevni dijagram sunčeve iradijacije njegovih panela, zbog čega najčešće ovaj sistem nije u stanju da sam ispunji traženu optimalnu snagu. Za rešavanje ovog problema iskorišćen je ESS koji u skladu sa potrebama može imati ulogu potrošnje (period punjenja) ili proizvodnje (period pražnjenja) čime obezbeđuje da snaga koja se injektira u distributivnu mrežu bude jednaka optimalnoj (P_{opt}).

$$P_{ESS} = P_{opt} - P_{PV} \quad (13)$$

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 (14) i (15) respektivno:

$$SOC_k = SOC_{k-1} - \frac{\eta}{Q_{ESS}} P_{ESS}(k) \quad (14)$$

$$SOC_k = SOC_{k-1} - \frac{1}{\eta \cdot Q_{ESS}} P_{ESS}(k) \quad (15)$$

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, računski energetska kapacitet ESS, η – stepen efikasnosti procesa punjenja i pražnjenja ESS.

Zamenom izraza (12) u (13), a zatim izraza (13) u (14) i (15), razlika između nivoa napunjenosti ESS na kraju i početku posmatranog perioda (ΔSOC) se može odrediti kao:

$$\Delta SOC = \sum_j^m \left(P_{PVmax} \frac{I_C(j)}{I_{Cmax}} - P_{opt}(j) \right) \frac{\eta}{Q_{ESS}} - \sum_i^n \left(P_{opt}(i) - P_{PVmax} \frac{I_C(i)}{I_{Cmax}} \right) \frac{1}{\eta \cdot Q_{ESS}} \quad (16)$$

gde je i redni broj sati, a n ukupan broj sati kada dolazi do pražnjenja ESS, dok je j redni broj sati, a m ukupan broj sati kada dolazi do punjenja ESS u posmatranom radnom ciklusu.

Periodi punjenja ESS nastaju kada je tražena optimalna snaga sistema sačinjenog od PV sistema i ESS manja, a periodi pražnjenja kada je ona veća od snage PV sistema. Kako unapred nije poznata maksimalna snaga PV sistema, ovi periodi se moraju pretpostaviti sagledavanjem oblika dijagrama optimalne snage i dijagrama sunčeve iradijacije. Koristeći pretpostavljene vrednosti za periode punjenja i pražnjenja, za zadati stepen efikasnosti i nultu razliku između nivoa napunjenosti ESS na kraju i početku, maksimalna snaga PV sistema na osnovu izraza (16) je:

$$P_{PVmax} = \frac{\sum_j^m P_{opt}(j) \eta + \sum_i^n P_{opt}(i) \frac{1}{\eta}}{\sum_j^m \frac{I_C(j)}{I_{Cmax}} \cdot \eta + \sum_i^n \frac{I_C(i)}{I_{Cmax}} \cdot \frac{1}{\eta}} \quad (17)$$

Nakon određivanja maksimalne snage PV sistema na osnovu izraza (17), potrebno je proveriti tačnost načinjene pretpostavke o periodima punjenja i pražnjenja ESS. Ovo se vrši upoređivanjem optimalne snage sistema sačinjenog od PV sistema i ESS sa snagom PV sistema određenom na osnovu njegove maksimalne snage koristeći izraz (12). Ukoliko se ispostavi da pretpostavka nije tačna potrebno je ponoviti navedeni postupak koristeći nove, bolje procenjene periode punjenja i pražnjenja. Potrebno je istaći da ukoliko je stepen efikasnosti ESS jednak jedinici, situacija je znatno jednostavnija jer nije potrebno pretpostavljati periode punjenja i pražnjenja, pa se maksimalna snaga PV sistema dobija direktno.

Kada je poznata maksimalna snaga PV sistema, koristeći izraze (12) i (13) moguće je odrediti snagu ESS za svaki sat posmatranog perioda. Najveća jednočasovna snaga ESS po apsolutnoj vrednosti u toku perioda rada (T) predstavlja snagu prema kojoj je potrebno dimenzionisati ESS:

$$P_{ESSmax} = \max\{|P_{ESS}(k)|\}, \quad k = \{1, 2, \dots, T\} \quad (18)$$

Nakon toga, pomoću izraza (14) i (15), određuju se nivoi napunjenosti ESS na kraju svakog sata u posmatranom periodu rada. Na osnovu dobijenih vrednosti za nivo napunjenosti ESS vrši se njegovo dimenzionisanje, odnosno određivanje potrebnog

energetskog kapaciteta. Minimalni potrebni energetski kapacitet (ΔQ_{ESS}) koji bi omogućio navedeni režim rada ESS se određuje pomoću izraza (19):

$$\Delta Q_{ESS} = Q_{ESS} \cdot (SOC_{Max} - SOC_{Min}) \quad (19)$$

gde su SOC_{Max} i SOC_{Min} maksimalni i minimalni nivo napunjenosti ESS u posmatranom periodu rada.

Pored potrebnog energetskog kapaciteta ESS, za ostvarivanje željenog (optimalnog sa aspekta smanjenja gubitaka u mreži) režima rada, neophodno je odrediti i dozvoljeni opseg u kome se može naći početni nivo napunjenosti ESS, kako bi nivo napunjenosti u toku dana bio u okviru dozvoljenih vrednosti. Maksimalni i minimalni nivo napunjenosti ESS se mogu izraziti preko početnog nivoa napunjenosti (SOC_0) i snage punjenja/praznjenja ESS (P'_{ESS}) kao:

$$SOC_{Max} = SOC_0 - \frac{1}{Q_{ESS}} \sum_{k=1}^{k_{max}} P'_{ESS}(k) \quad (20)$$

$$SOC_{Min} = SOC_0 - \frac{1}{Q_{ESS}} \sum_{k=1}^{k_{min}} P'_{ESS}(k) \quad (21)$$

gde su k_{min} i k_{max} redni broj sati u kojima se javlja minimalni odnosno maksimalni nivo napunjenosti ESS, pri čemu za vreme punjenja ESS važi da je $P'_{ESS} = \eta P_{ESS}$, a za vreme praznjenja $P'_{ESS} = P_{ESS}/\eta$.

Minimalni i maksimalni nivo napunjenosti koji se pojavljuju u radu ESS moraju biti u dozvoljenim granicama ($SOC_{Max} \leq SOC_{max}$ i $SOC_{Min} \geq SOC_{min}$), tako da se za dozvoljeni opseg u kome se može naći početni nivo napunjenosti ESS dobija:

$$SOC_{min} + \frac{1}{Q_{ESS}} \sum_{k=1}^{k_{min}} P'_{ESS}(k) \leq SOC_0 \leq SOC_{max} + \frac{1}{Q_{ESS}} \sum_{k=1}^{k_{max}} P'_{ESS}(k) \quad (22)$$

4. UTICAJ NEPOKLAPANJA STVARNIH I OČEKIVANIH VREDNOSTI OPTEREĆENJA I SUNČEVE IRADIJACIJE

Kao što se može videti u poglavlju 3, izložena metoda koristi očekivani dijagram opterećenja distributivne mreže kako bi odredila optimalnu snagu koju sistem sačinjen od PV sistema i ESS treba da injektira u mrežu. Takođe, kod određivanja optimalne konfiguracije sistema metoda zahteva poznavanje oblika dnevnog dijagrama sunčeve iradijacije PV sistema za slučaj vedrog dana. Uvažavajući navedeno, jasno je da optimalnost konfiguracije sistema, pa time i smanjenje nivoa gubitaka u distributivnoj mreži, u velikoj meri zavisi od tačnosti prognoze dijagrama opterećenja i dijagrama sunčeve iradijacije PV sistema. Kao što se može pretpostaviti moguća su tri različita slučaja:

1. nepoklapanje stvarnog i prognoziranog dijagrama opterećenja,
2. nepoklapanje stvarnog i prognoziranog dijagrama sunčeve iradijacije PV sistema,

3. nepoklapanje stvarnih i prognoziranih vrednosti oba razmatrana dijagrama.

Kako bi se kvantifikovao uticaj nepoklapanja stvarnih sa očekivanim vrednostima opterećenja i sunčeve iradijacije na povećanje gubitaka u mreži, u okviru svakog od navedena tri slučaja razmotriće se primeri u kojima dolazi do promene satnih karakteristika u odnosu na one koje se prognoziraju očekivanim dijagramom opterećenja i dijagramom sunčeve iradijacije PV sistema za slučaj vedrog dana.

U zavisnosti od načina rešavanja pomenutog problema razmotrena su dva pristupa. Kod oba pristupa, u cilju što većeg iskorišćenja sunčeve energije, usvojeno je da PV sistem radi sa maksimalnom mogućom snagom u datom trenutku, koja je direktno proporcionalna intenzitetu sunčeve iradijacije na njegove panele. Sa druge strane, način određivanja snage ESS zavisi od korišćenog pristupa. Naime, u prvom pristupu jednakost nivoa napunjenosti ESS na početku i kraju radnog ciklusa mora biti očuvana, dok u drugom pristupu to nije slučaj, već se kao jedini prioritet postavlja minimizacija gubitaka u mreži. Zbog toga je snaga ESS u prvom pristupu (P'_{ESS}) jednaka snazi ESS koja je dobijena u procesu konfiguracije sistema (P_{ESS}), gde je bio zadovoljen uslov jednakosti nivoa napunjenosti ESS na početku i kraju radnog ciklusa.

$$P'_{ESS} = P_{ESS} \quad (23)$$

Imajući u vidu da snaga PV sistema zavisi od sunčeve iradijacije na koju se ne može uticati, a da je snaga ESS unapred određena, injektirana snaga sistema sačinjenog od PV sistema i ESS u prvom pristupu može u velikoj meri odstupati od optimalne vrednosti, što bi za posledicu moglo imati znatno uvećanje gubitaka u mreži. Ovo može biti posebno izraženo u periodima sa većom oblačnošću i opterećenjem iznad očekivanog, kada snaga PV sistema bude tek tolika da obezbedi adekvatnu dopunu ESS.

Za razliku od prvog, u drugom pristupu se vrši merenje opterećenja i na osnovu te informacije korišćenjem PSO određuje optimalna snaga koju sistem u datom trenutku treba injektirati u mrežu kako bi minimizovao gubitke. Snaga ESS u drugom pristupu (P''_{ESS}) se podešava tako da se u svakom trenutku, nezavisno od trenutne snage PV sistema (P_{PV}), u mrežu injektira optimalna vrednost snage sa aspekta minimizacije gubitaka (P_{opt}).

$$P''_{ESS} = P_{opt} - P_{PV} \quad (24)$$

Jasno je da se na ovaj način vrši uspešno minimizacija gubitaka u mreži, ali se takođe može javiti i velika razlika između nivoa napunjenosti ESS na kraju i onog na početku, zbog čega je upotreba ovog pristupa ograničena na specijalne situacije. Mora se napomenuti da nezavisno od korišćenog pristupa ograničenja u vidu potrebne maksimalne snage (P_{ESSmax}) i potrebnog energetskog kapaciteta ESS (ΔQ_{ESS}), dobijenih u procesu konfiguracije sistema, moraju biti zadovoljena. Ova ograničenja za k -ti sat su data izrazima (25) i (26), respektivno:

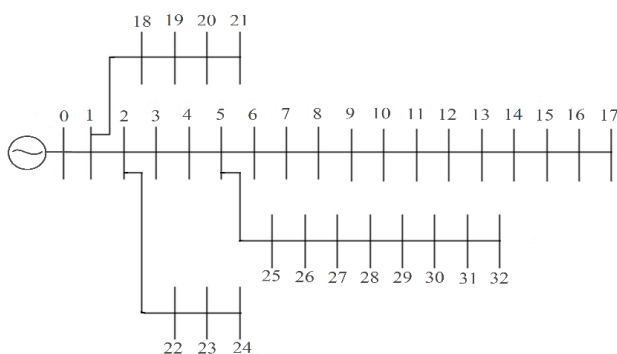
$$P_{ESS}^{I,II}(k) < P_{ESSmax} \quad (25)$$

$$P_{ESS}^{I,II}(k) < \Delta Q_{ESS} - \sum_i^{k-1} P_{ESS}^{I,II}(i) \quad (26)$$

5. PRIKAZ I ANALIZA REZULTATA

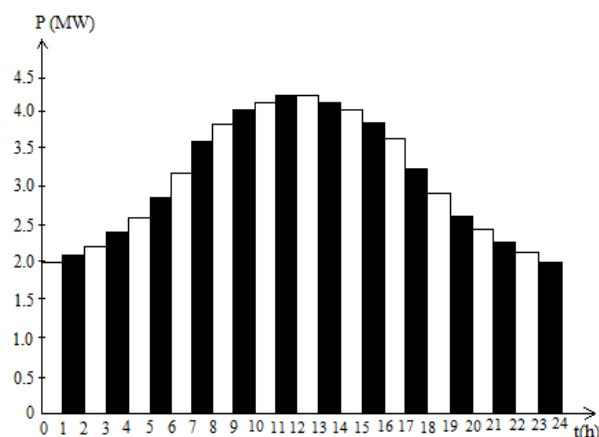
Svi rezultati dobijeni u ovom radu se odnose na IEEE radijalnu distributivnu mrežu sa 33 čvora, prikazanu na slici 2. Usvojeno je isto rastojanje između svaka dva susedna čvora i ono iznosi 250 m. Ovo je urađeno radi jednostavnosti izvođenja opštih zaključaka. Naponski nivo distributivne mreže je 10 kV, dok vrednosti podužne aktivne otpornosti i reaktanse iznose $r = 0,414 \Omega/km$ i $x = 0,365 \Omega/km$.

PSO optimizaciona metoda je realizovana tako da je optimalno rešenje dobijeno posle 100 iteracija korišćenjem populacije od 200 jedinki. Na osnovu većeg broja izvršenih simulacija usvojene su vrednosti koeficijenta inercije i koeficijenata ubrzanja koje daju najbolje rezultate, a one su: $w = 0,85$, $C_1 = 0,5$ i $C_2 = 0,6$.

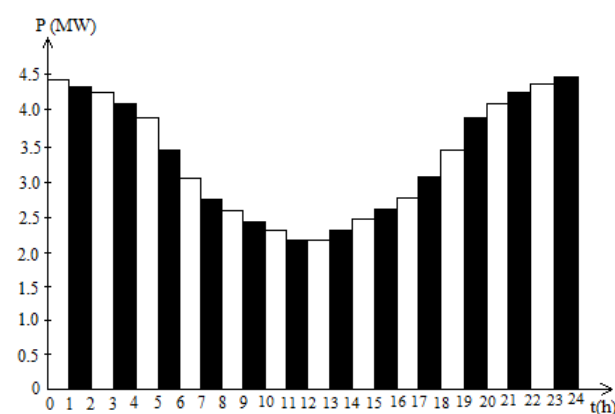


Slika 2. IEEE 33 distributivna mreža

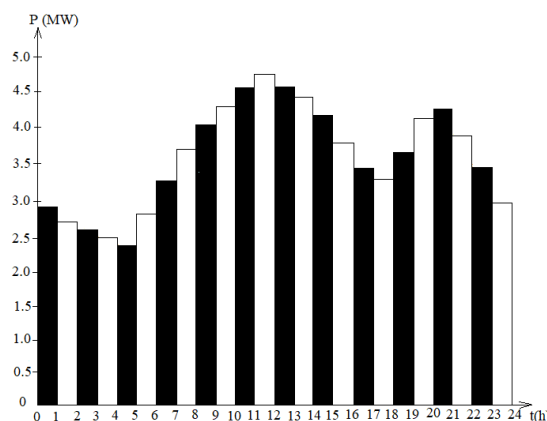
Razmatrana su tri različita dijagrama opterećenja distributivne mreže, prikazana na slikama 3, 4 i 5. Oblici prva dva dijagrama opterećenja imaju više teorijski karakter i odabrani su kao primeri opterećenja koje se u većoj ili manjoj meri poklapa sa dnevnim dijagramom sunčeve iradijacije PV sistema. Kao što se može videti sa slika 3 i 4, prvi i drugi dijagram opterećenja distributivne mreže imaju različite raspodele snage opterećenja u vremenu, ali istu maksimalnu ($P_{max1,2} = 4,462 MW$) i srednju snagu ($P_{sr1,2} = 3,285 MW$). Za razliku od njih, oblik trećeg dijagrama opterećenja, prikazanog na slici 5, bolje opisuje opterećenje koje se može naći u praksi i ima nešto veću maksimalnu ($P_{max3} = 4,75 MW$) i srednju snagu ($P_{sr3} = 3,398 MW$). U svim razmatranim slučajevima je korišćena uniformna raspodela opterećenja po čvorovima distributivne mreže. Takođe, za svaki dijagram opterećenja sagledana su dva slučaja, u prvom je opterećenje tipa konstantne snage (industrijsko opterećenje), a u drugom je ono tipa konstantne impedanse (rezistivno opterećenje), pri čemu su za naznačeni napon distributivne mreže (10 kV) aktivne snage kod oba tipa opterećenja iste i jednake onima sa dijagrama opterećenja.



Slika 3. Prvi dijagram opterećenja distributivne mreže



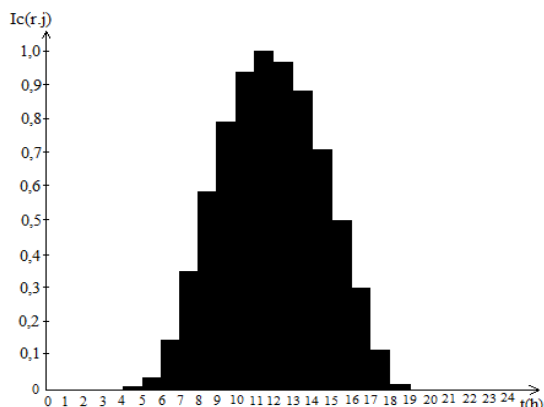
Slika 4. Drugi dijagram opterećenja distributivne mreže



Slika 5. Treći dijagram opterećenja distributivne mreže

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, pri čemu mu vrednost iznosi $\cos\varphi = 1$ i $\cos\varphi = 0,89$ za rezistivni i industrijski tip opterećenja, respektivno.

Dnevni dijagram sunčeve iradijacije panela PV sistema, korišćen pri određivanju snage PV sistema, izražen u relativnim jedinicama, je dat na slici 6.



Slika 6. Dnevni dijagram sunčeve iradijacije PV sistema

U tabeli I su prikazane vrednosti srednje dnevne snage gubitaka u distributivnoj mreži pre priključenja sistema sačinjenog od PV sistema i ESS, za sva tri dijagrama opterećenja, pri čemu se vrednosti u zagradama odnose na slučaj opterećenja konstantne impedanse, a vrednosti koje u njima nisu – na slučaj opterećenja konstantne snage.

Tabela I Srednja dnevna snaga gubitaka pre priključenja sistema sačinjenog od PV sistema i ESS

Dijagram opterećenja	I	II	III
$P_{g_{sr}}[kW]$	63,037 (46,001)	63,037 (46,001)	68,097 (49,498)

Rezultati iz tabele I su očekivani, s obzirom da su snage prvog i drugog dijagrama opterećenja, iako vremenski različito raspoređene, iste po vrednostima i nešto manje nego u slučaju trećeg dijagrama opterećenja. Takođe, činjenica da su naponi čvorova mreže nešto manji od naznačenog, kao i postojanje tokova reaktivnih snaga u mreži u slučaju opterećenja konstantne snage, za posledicu ima pojavu većih gubitaka za taj tip opterećenja.

Uzimajući u obzir dobijene optimalne lokacije i snage sistema sačinjenog od PV sistema i ESS, tabela II sadrži rezultate dobijene nakon njegovog priključenja na distributivnu mrežu. Ovi rezultati, pored srednje dnevne snage gubitaka ($P_{g_{sr}}$), sadrže optimalnu lokaciju (indeks čvora distributivne mreže) u kojoj je sistem sačinjen od PV sistema i ESS priključen (i), kao i potrebnu maksimalnu snagu PV sistema (P_{PVmax}), potrebnu maksimalnu snagu ESS (P_{ESS}) i potreban energetska kapacitet ESS (ΔQ_{ESS}) za različite stepene efikasnosti ESS ($\eta=1$, $\eta=0,9$ i $\eta=0,8$). Važno je istaći da u izloženom postupku stepen efikasnosti ESS ne utiče na lokaciju i snagu sistema sačinjenog od PV sistema i ESS, već samo na njegovu konfiguraciju (maksimalnu snagu PV sistema, maksimalnu snagu ESS i energetska kapacitet ESS).

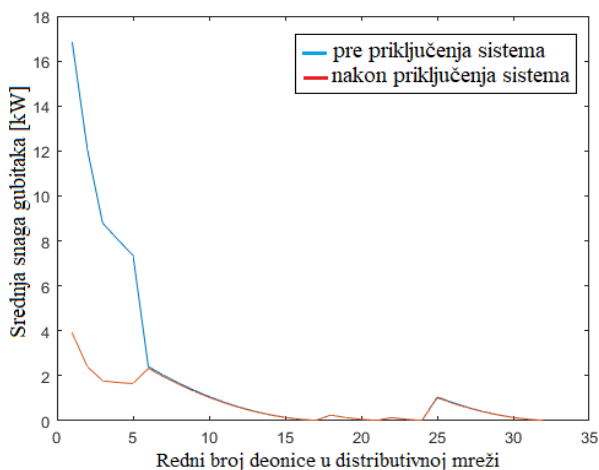
Tabela II Srednja dnevna snaga gubitaka nakon priključenja sistema sačinjenog od PV sistema i ESS, lokacija priključenja i parametri konfiguracije sistema za različite stepene efikasnosti ESS

Dijagram opterećenja	I	II	III
$P_{g_{sr}}[kW]$	24,047 (11,257)	24,047 (11,257)	25,970 (12,125)
i	5 (5)	5 (5)	5 (5)
$P_{PVmax1}[MW]$	8,530 (8,354)	8,529 (8,354)	8,830 (8,640)
$P_{ESS1}[MW]$	4,988 (4,905)	6,855 (6,702)	5,056 (4,972)
$\Delta Q_{ESS1}[MWh]$	27,115 (26,680)	40,783 (39,827)	29,219 (28,701)
$P_{PVmax0,9}[MW]$	9,382 (9,192)	9,825 (9,619)	9,758 (9,551)
$P_{ESS0,9}[MW]$	5,841 (5,744)	8,154 (7,968)	5,984 (5,884)
$\Delta Q_{ESS0,9}[MWh]$	29,508 (29,045)	44,861 (43,817)	32,131 (31,554)
$P_{PVmax0,8}[MW]$	10,522 (10,316)	11,594 (11,347)	11,026 (10,796)
$P_{ESS0,8}[MW]$	6,981 (6,867)	9,923 (9,695)	7,252 (7,128)
$\Delta Q_{ESS0,8}[MWh]$	32,370 (31,872)	49,784 (48,624)	35,657 (35,017)

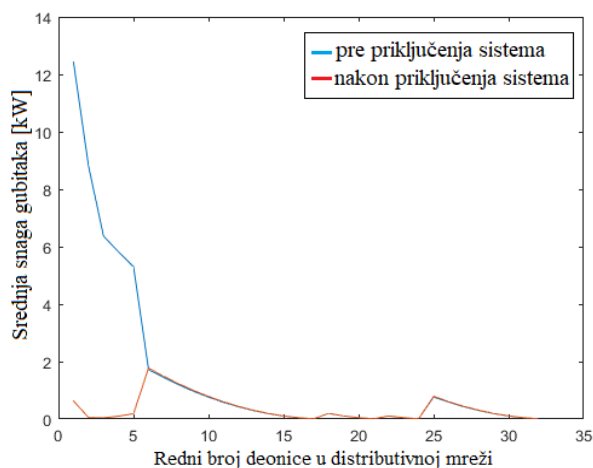
Na osnovu rezultata iz tabele II može se zaključiti da se priključenjem sistema sačinjenog od PV sistema i ESS mogu znatno smanjiti gubici u distributivnoj mreži. Kako je srednja snaga gubitaka nakon priključenja ista za prvi i drugi dijagram opterećenja, a nešto veća kod trećeg, konstatuje se da na visinu gubitaka nakon priključenja utiče vrednost snage opterećenja, a ne njen raspored u vremenu. Takođe, iz tabele II dâ se primetiti da optimalna lokacija sistema sačinjenog od PV sistema i ESS ne zavisi od dijagrama opterećenja, i da je za sva tri dijagrama opterećenja, nezavisno od tipa opterećenja, to čvor 5. Pored toga, tabela II pokazuje da vrednost maksimalne snage PV sistema raste sa povećanjem srednje dnevne snage opterećenja, dok je uticaj oblika dijagrama opterećenja veći ukoliko je efikasnost ESS manja (za jediničnu efikasnost ne postoji). Za energetska kapacitet i maksimalnu snagu ESS od najvećeg značaja je poklapanje dijagrama opterećenja sa dijagramom proizvodnje PV sistema, što se pokazuje daleko većim energetska kapacitetom i maksimalnom snagom ESS u slučaju drugog nego u slučaju prvog dijagrama opterećenja. Kao i maksimalna snaga PV sistema i potreban energetska kapacitet i maksimalna snaga ESS se povećavaju sa smanjenjem efikasnosti ESS. Ovo proizilazi iz činjenice da je za istu injektiranu snagu potrebna veća snaga pražnjenja ESS, kao i da je za istu snagu punjenja ESS potrebna veća snaga koja dolazi iz PV sistema, ukoliko dođe do smanjenja

efikasnosti ESS. Navedena zapažanja važe za oba tipa opterećenja, pri čemu su nešto veće vrednosti maksimalnih snaga PV sistema i ESS, kao i energetske kapaciteta ESS, kod opterećenja konstantne snage posledica nešto većeg opterećenja u tom slučaju.

Na slikama 7 i 8 su prikazane srednje jednočasovne snage gubitaka na deonicama distributivne mreže pre i nakon priključenja sistema sačinjenog od PV sistema i ESS, za oba razmatrana tipa opterećenja koja prate treći dijagram opterećenja. Indeksi (redni brojevi) deonica su jednaki indeksima čvorova na njihovim krajevima.



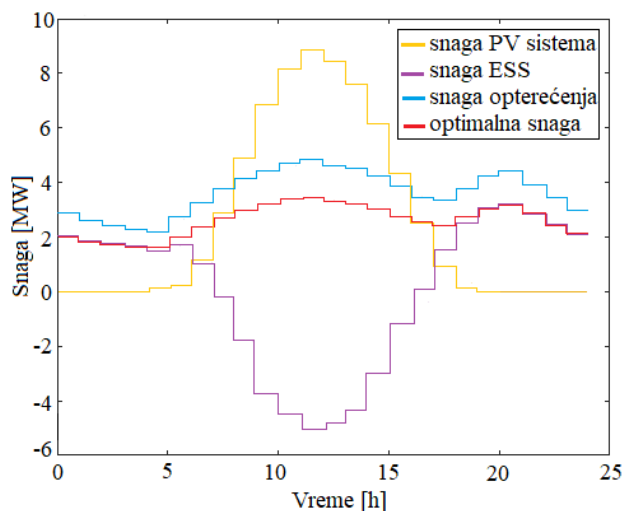
Slika 7. Srednja snaga gubitaka na deonicama distributivne mreže za opterećenje konstantne snage



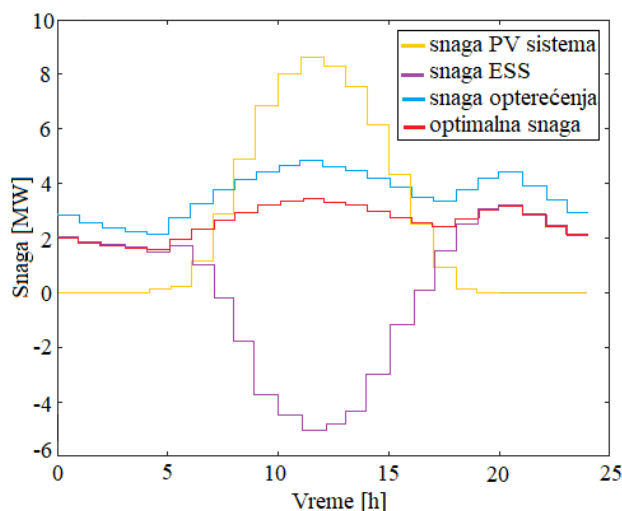
Slika 8. Srednja snaga gubitaka na deonicama distributivne mreže za opterećenje konstantne impedanse

Na osnovu slika 7 i 8 može se zaključiti da se priključenjem jednog sistema sačinjenog od PV sistema i ESS najveće smanjenje gubitaka ostvaruje na napojnim deonicama distributivne mreže odakle se granaju više njenih ogranaka i gde su gubici snage najveći. Takođe, može se uočiti da su zbog postojanja tokova reaktivnih snaga na koje se značajnije nije moglo uticati, gubici u napojnim deonicama veći u slučaju opterećenja konstantne snage.

Slike 9 i 10 prikazuju aktivnu snagu opterećenja, optimalnu (radnu) snagu sistema sačinjenog od PV sistema i ESS, kao i snage PV sistema i ESS pojedinačno za jedinični stepen efikasnosti ESS i treći dijagram opterećenja.



Slika 9. Snaga opterećenja, optimalna (radna) snaga sistema sačinjenog od PV sistema i ESS, snaga PV sistema i snaga ESS za opterećenje konstantne snage



Slika 10. Snaga opterećenja, optimalna (ukupna) snaga sistema sačinjenog od PV sistema i ESS, snaga PV sistema i snaga ESS za opterećenje konstantne impedanse

Na slikama 9 i 10 se može videti da optimalna (radna) snaga sistema sačinjenog od PV sistema i ESS prati oblik snage opterećenja, i u periodima velike sunčeve iradijacije je obezbeđena iz PV sistema, dok noću i u periodima sa malom sunčevom iradijacijom nju generiše ESS. Kao što je i očekivano, u periodima velike sunčeve iradijacije vrši se dopuna ESS, dok se u periodima sa malom sunčevom iradijacijom odvija njegovo pražnjenje.

U tabeli III je data minimalna srednja dnevna snaga gubitaka, srednja dnevna snaga gubitaka dobijena prvim i drugim pristupom i promena energetskeg nivoa ESS dobijena u drugom pristupu, za različita odstupanja snage opterećenja i sunčeve iradijacije od očekivanih vrednosti. Važno je napomenuti da je usvojeno odstupanje snage opterećenja (ΔP) procentualno isto za svaki sat u toku dana, što takođe važi i za odstupanje sunčeve iradijacije (ΔI_c). Minimalna srednja dnevna snaga gubitaka je dobijena za slučaj kada sistem sačinjen od PV sistema i ESS u svakom satu injektira optimalnu snagu sa aspekta smanjenja gubitaka, uvažavajući stvarnu vrednost opterećenja u mreži, a zanemarujući ograničenja određena konfiguracijom sistema. Ova snaga gubitaka ima teorijski karakter i služi kao referenca na osnovu koje se ocenjuje efikasnost prvog i drugog pristupa. Pomenuta dva pristupa su detaljno objašnjena u četvrtom poglavlju.

Tabela III Minimalna srednja dnevna snaga gubitaka, srednja dnevna snaga gubitaka dobijena prvim i drugim pristupom i promena energetskeg nivoa ESS dobijena u drugom pristupu, za različita odstupanja snage opterećenja i sunčeve iradijacije od očekivanih vrednosti.

$\Delta P(\%),$ $\Delta I_c(\%)$	$P_{gsr,min}[kW]$	$P_{gsr}^I[kW]$	$P_{gsr}^{II}[kW]$	$\Delta W_{ESS}^{II}[MWh]$
30, 0	44,339 (20,414)	48,202 (23,564)	44,340 (20,414)	-19,365 (-18,949)
20, 0	37,651 (17,416)	39,355 (18,823)	37,652 (17,416)	-12,910 (-12,632)
10, 0	31,530 (14,653)	31,953 (15,006)	31,530 (14,653)	-6,454 (-6,316)
-10, 0	20,951 (9,837)	21,367 (10,190)	21,839 (10,625)	3,207 (3,154)
-20, 0	16,501 (7,780)	18,152 (9,214)	18,885 (9,904)	6,401 (6,290)
-30, 0	12,593 (5,963)	16,282 (9,206)	17,402 (10,284)	9,596 (9,426)
0, -10	25,970 (12,125)	26,921 (12,963)	25,970 (12,125)	-6,455 (-6,316)
0, -20	25,970 (12,125)	29,807 (15,505)	25,970 (12,125)	-12,910 (-12,632)
0, -30	25,970 (12,125)	34,674 (19,790)	25,970 (12,125)	-19,365 (-18,948)
30, -30	44,339 (20,414)	66,161 (38,681)	51,240 (26,270)	-29,219 (-28,701)
20, -30	37,651 (17,416)	54,174 (31,468)	39,322 (18,903)	-29,219 (-28,701)
10, -30	31,530 (14,653)	43,689 (25,167)	31,530 (14,653)	-25,819 (-25,264)
-30, -20	12,593 (5,963)	14,349 (7,565)	12,593 (5,963)	6,454 (6,316)
-30, -10	12,593 (5,963)	14,385 (7,545)	13,657 (6,911)	9,324 (9,159)
-20, -20	16,501 (7,780)	18,110 (9,255)	16,501 (7,780)	0 (0)

Na osnovu rezultata iz tabele III može se zaključiti da su u najvećem broju slučajeva gubici dobijeni u drugom pristupu znatno manji od onih dobijenih korišćenjem prvog pristupa. Razlika između gubitaka dobijenih drugim pristupom i minimalnih gubitaka je posledica ograničenja vezanih za maksimalnu snagu i energetske kapacitet ESS određenih konfiguracijom sistema, koja onemogućavaju da se u svakom času ostvari optimalna injektirana snaga. Takođe, rezultati iz tabele III pokazuju da se korišćenjem drugog pristupa ESS dopunjuje ($\Delta W_{ESS} > 0$) u slučaju kada je smanjenje opterećenja značajnije od smanjenja sunčeve iradijacije, dok se u suprotnom ESS prazni ($\Delta W_{ESS} < 0$). Praznjenje ESS nakon radnog ciklusa je posebno izraženo kada istovremeno dođe do povećanja opterećenja i smanjenja sunčeve iradijacije u odnosu na njihove očekivane vrednosti toku dana.

Upoređivanjem vrednosti minimalne snage gubitaka i snage gubitaka dobijene korišćenjem prvog pristupa, može se konstatovati da zanemarivanje odstupanja stvarnih od očekivanih vrednosti opterećenja i sunčeve iradijacije prilikom određivanja snage PV sistema i ESS dovodi do uvećanja gubitaka u mreži. Sa druge strane, velika praznjenja ESS kod drugog pristupa ukazuju da se uvažavanje odstupanja i prilagođavanje snage injektiranja u mrežu ne bi trebalo vršiti samo na račun snage ESS već i povećanjem snage PV sistema u fazi konfiguracije.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljena metoda za određivanje optimalne lokacije i konfiguracije sistema sačinjenog od PV sistema i ESS u cilju smanjenja gubitaka u distributivnoj mreži. Dobijeni rezultati su pokazali da se priključenjem ovakvog sistema mogu značajno smanjiti gubici u distributivnoj mreži, nezavisno od oblika dijagrama opterećenja i njegovog tipa i da je optimalna lokacija za priključenje čvor blizu centra mreže (opterećenja). Takođe, na osnovu rezultata se može zaključiti da najveći uticaj na dimenzionisanje PV sistema, odnosno na njegovu maksimalnu snagu ima srednja dnevna snaga opterećenja, dok maksimalna snaga i energetske kapacitet ESS u najvećoj meri zavise od poklapanja dijagrama opterećenja sa dijagramom sunčeve iradijacije PV sistema. Upoređivanjem rezultata za različite stepene efikasnosti ESS može se ustanoviti, da smanjenje efikasnosti ESS dovodi do povećanja maksimalne snage PV sistema i ESS, kao i do povećanja energetskeg kapaciteta ESS za isti nivo smanjenja gubitaka u mreži. Na kraju, potrebno je istaći da nepoklapanje stvarnih i očekivanih vrednosti snage opterećenja i smanjenje sunčeve iradijacije ispod očekivane vrednosti može dovesti do uvećanja gubitaka u mreži ili u velikoj meri promeniti nivo napunjenosti EES.

LITERATURA

- [1] Anaza O. S, Haruna S. Y, Amoo L. A, Sadiq A. A, Yisah A. Y, "Potential of renewable energy sources for distributed generations: An overview", *International Journal of Scientific Advances*, Vol. 4, No. 1, pp. 107-117, 2023.
- [2] Rajaković N, Tasić D., "Distributivne i industrijske mreže", Akademski misao, Beograd, 2008.
- [3] Alam A, Gupta A, Bindal P, Siddiqui A, Zaid M., "Power loss minimization in a radial distribution system with distributed generation", *International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems*, Chennai, India, pp. 21-25, 2018.
- [4] Das C. K, Bass O, Kothapalli G, Mahmoud T.S, Habibi D, "Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 91, pp. 1205-1230, 2018.
- [5] Tang X, Deng K, Wu Q, Feng Y., "Optimal location and capacity of the distributed energy storage system in a distribution network", *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 15576-15585, 2020.
- [6] Das S, Fosso O, Marafioti G., "Efficient distribution network loss minimization with optimal DG placement and operation", *IEEE 12th Energy Conversion Congress and Exposition – Asia*, Singapore, 2021.
- [7] 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.
- [8] 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. 5046-5068, 2020.
- [9] Mahesh K, AL Nallagownden P, AL Elamvazuthi I., "Optimal placement and sizing of DG in distribution system using accelerated PSO for power loss minimization", *IEEE Conference on Energy Conversion*, Johor Bahru, Malaysia, 2015.
- [10] Michline J, Ganesh S., "Power flow analysis for radial distribution system using backward/forward sweep method", *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 8, No. 10, pp. 1628-1632, 2014.
- [11] 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.
- [12] Radosavljević J., "Metaheuristic optimization in power engineering", Institution of Engineering and Technology, London, 2018.
- [13] Elattar E. E, Elsayed S.K, "Optimal location and sizing of distributed generators based on renewable energy sources using modified moth flame optimization technique", *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 109625-109638, 2020.
- [14] Das C. K, Bass O, Kothapalli G, Mahmoud T. S, Habibi D, "Optimal placement of distributed energy storage systems in distribution networks using artificial bee colony algorithm", *Applied Energy*, Vol. 232, pp. 212-228, 2018.
- [15] Goli P, Yelem S, Jasthi K, Gampa S. R, Das D, "Optimum placement of battery energy storage systems and solar PV units in distribution networks using gravitational search algorithm" In: *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence Techniques for Electrical Engineering Systems (AITEES)*, pp. 113-123, 2022.
- [16] Duong M. Q, Pham T. D, Nguyen T. T, Doan A. T, Tran H. V, "Determination of optimal location and sizing of solar photovoltaic distribution generation units in radial distribution systems", *Energies*, Vol. 12, No. 1, pp. 174 2019.
- [17] Mansouri N, Lashab A, Guerrero J. M, Cherif A, "Photovoltaic power plants in electrical distribution networks: a review on their impact and solutions", *IET Renewable Power Generation*, Vol. 14, No. 12, pp. 2114-2125, 2020.
- [18] Parihar S. S, Malik N, "Possibilistic uncertainty assessment in the presence of optimally integrated solar PV-DG and probabilistic load model in distribution network", *Facta Universitatis Series: Electronics and Energetics*, Vol. 35, No.1, pp. 71-92, 2022.
- [19] Wang J, Wang J, Guo J, Wang L, Zhang C, Liu B, "Research progress of complex network modeling methods based on uncertainty theory", *Mathematics*, Vol.11, No. 5, 1212, 2023.

BIOGRAFIJE



Nikola Krstić je rođen 24. februara 1995. godine u Nišu. Diplomirao je 2018. i završio master akademske studije 2019. godine na Elektronskom fakultetu u Nišu.

Njegove glavne oblasti interesovanja uključuju analizu distributivnih mreža, optimizaciju elektroenergetskih sistema

primenom metaheurističkih optimizacionih metoda i fotonaponske sisteme.

Trenutno je student doktorskih akademskih studija i radi kao asistent na katedri za Energetiku Elektronskog fakulteta u Nišu.



Dragan Tasić je rođen 22. septembra 1961. u Guberevcu, opština Leskovac. Diplomirao je 1986. na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, a doktorirao 1997. godine na Elektronskom fakultetu u Nišu.

Njegove glavne oblasti interesovanja uključuju analizu

elektroenergetskih sistema, elektroenergetsku kablovsku tehniku i metode optimizacije u elektroenergetici.

Redovni je profesor na katedri za Energetiku Elektronskog fakulteta u Nišu.

Nikola N. Krstić¹, Dragan S. Tasić¹



Method for determining the optimal location and configuration of the system consisting of photovoltaic and energy storage system considering the reduction of losses in the distribution network

¹ Faculty of Electronic Engineering in Niš, Niš, Serbia*

Category of article: Original scientific research article

Highlights

- This paper considers the reduction of losses in the distribution network by connecting the system consisting of photovoltaic (PV) and energy storage system (ESS).
- The optimal location and optimal power of the system consisting of PV system and ESS is determined, taking into account the minimization of losses in the distribution network.
- Sizing of the PV system and ESS is carried out.
- The influence of the discrepancy between the actual and expected values of load and solar irradiation on the increase of losses in the distribution network and the change in the state of charge of ESS.

Abstract

In this paper two-step method for determining the optimal location and configuration of the system consisting of PV system and ESS, considering the reduction of losses in distribution network, is presented. First step takes into account the daily load diagram and uses the metaheuristic particle swarm optimization method (PSO) to determine the optimal location and optimal power during the day of the system consisting of PV system and ESS in order to minimize the losses in distribution network. In the second step of the procedure, the individual powers of PV system and ESS are obtained and their configuration (sizing) determined. This is done by iterative procedure using the optimal values of combined power of these two systems during the day, obtained in the first step, and the shape of daily solar irradiation diagram of the PV system for the clear day. The configuration procedure is explained in detail, determining the maximum power of PV system, maximum power of ESS and energy capacity of ESS. In addition, the impact of the difference between the actual and the expected load diagram and the influence of the reduction of solar irradiation during the day on the increase of losses in the distribution network and the change in the state of charge of the ESS are considered. The paper considers cases with different load diagrams and different levels of ESS efficiency. All results are obtained using IEEE radial distribution network with 33 nodes.

Keywords

**Photovoltaic (PV) System, Energy Storage System (ESS),
 Particle Swarm Optimization Method (PSO), Losses in the Distribution Network**

Received: April 5th, 2023 Reviewed: April 25th, 2023
 Modified: April 28th, 2023 Accepted: May 4th, 2023
 *Corresponding author: Nikola N. Krstić
 E - mail: nikola.krstic@elfak.ni.ac.rs

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Optimal location and configuration of the system consisting of photovoltaic and energy storage system considering the reduction of losses in distribution network", awarded by Expert Committee EC-4 Distributed Generation and Efficient Use of Electricity at the 13th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 12-16, 2022

Dunja S. Grujić¹, Miloš M. Kuzman²

Uloga agregatora u razvoju tržišta električne energije

¹ Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Beograd, Republika Srbija*² Udruženje za pravo energetike Srbije, Beograd, Republika Srbija

Kategorija rada: pregledni članak

Ključne poruke

- Agregatori kao novi učesnik na tržištu
- Značajan činilac zelene tranzicije – agregator
- Efikasna optimizacija proizvodnje i potrošnje električne energije
- Uticaj na fleksibilnost elektroenergetskog sistema

Kratak sadržaj

Poslednjih godina došlo je do ubrzane tranzicije distributivnog elektroenergetskog sistema iz pretežno pasivnog u aktivan pre svega usled porasta broja proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora priključenih na distributivni sistem. Pored toga, izmenama i dopunama Zakona o energetici definisani su novi korisnici distributivnog sistema, među kojima i kupci-proizvođači i skladištari čije se masovnije priključivanje na distributivni sistem očekuje u narednom periodu. Kao bitan novi učesnik na tržištu prepoznat je i agregator koji pruža uslugu objedinjavanja proizvodnje i potrošnje električne energije u cilju dalje prodaje, kupovine ili aukcija na tržištu električne energije.

U ovom radu biće analizirani mogući modeli poslovanja agregatora, postojeća zakonska regulativa i preduslovi koji su potrebni za njihovo funkcionisanje na tržištu Republike Srbije. Takođe, u radu će biti predstavljene i dobre međunarodne prakse u ovoj oblasti. Pored toga razmatraće se efikasni načini objedinjavanja proizvodnje i potrošnje električne energije, između ostalog krajnjih kupaca i proizvođača, od strane agregatora.

Biće razmatran i uticaj agregatora na poslovanje operatora distributivnog sistema pred kojim stoje brojni izazovi. Neki od ovih izazova vezani su i za upravljanje sistemom i promene tokova snaga usled priključenja značajnog broja novih korisnika sistema. Na kraju rada će biti prikazan konkretan primer koji ilustruje mogućnost delovanja agregatora u cilju povećanja fleksibilnosti elektroenergetskog sistema.

Ključne reči

Agregatori, upravljanje proizvodnjom i potrošnjom električne energije, energetska efikasnost, obnovljivi izvori električne energije

Primljeno: 7. april 2023. Recenzirano: 22. maj 2023.
Izmenjeno: 26. maj 2023. Odobreno: 27. maj 2023.

*Korespondirajući autor: Dunja S. Grujić

Tel. +381-64-897-46-59 E - mail: dunja.grujic@ods.rs

Napomena:

Članak predstavlja proširenu, unapređenu i dodatno recenziranu verziju rada „Modeli funkcionisanja agregatora na tržištu električne energije“, nagrađenog u STK-6 Tržište električne energije i deregulacija na 13. Savetovanju CIRED Srbija, Kopaonik, 12-16. septembra 2022.

1. UVOD

Nezavisno od toga kojom će se brzinom razvijati inovativnosti u oblasti energetike, ubrzavati energetska tranzicija ili iznalaziti alternativni načini korišćenja energenata, činjenica je da se električna energija (u daljem tekstu: EE) svakodnevno proizvodi i troši. U ovom procesu imamo proizvođače sa jedne strane, i potrošače EE sa druge. I jedni i drugi nastoje da optimizuju proizvodnju odnosno potrošnju EE na način da se ona efikasnije proizvodi odnosno troši uz niže marginalne troškove. Tamo gde je to tehnički i regulatorno moguće, a ekonomski isplativo, ključ je u njihovom udruživanju zarad postizanja zajedničkog cilja i tu na scenu stupaju agregatori.

Tradicionalna podela da su sa jedne strane proizvođači i sa druge strane potrošači EE pokazala je nedostatke u praksi, usled činjenice da se ponuda i tražnja EE na tržištu ne samo nikada ne mogu idealno poklopiti, već i stoga što u pojedinim periodima u toku kalendarske godine dolazi do značajnih odstupanja između EE koja se proizvodi i one koja se troši u datom trenutku. Brojni su razlozi za ovakvu neusklađenost kao što su npr. nedostatak EE iz hidroelektrana usred suša, povećana potrošnja EE u zimskim mesecima, veća količina EE koja u toku noći ulazi u sistem iz vetroelektrana u periodu kad je potrošnja smanjena, itd. Agregiranje teži da postigne optimizaciju navedenih neusklađenosti i zbog toga ono može predstavljati značajan faktor stabilnosti i samog distributivnog elektroenergetskog sistema (u daljem tekstu: DEES), pa i prenosnog elektroenergetskog sistema (u daljem tekstu: PEES). Agregatori imaju pozitivan uticaj i na povećanje fleksibilnosti DEES i PEES. Stoga je u radu dat i primer koji prikazuje mogućnosti koje agregatoru stoje na raspolaganju za povećanje tih fleksibilnosti.

Bitan preduslov za formiranje i razvoj agregatora i samo agregiranje predstavlja postojanje odgovarajuće zakonske regulative u ovoj oblasti. Kako u Republici Srbiji navedena regulativa još uvek nije u potpunosti zaokružena, ovaj rad predstavlja priliku da se ukaže na postojeće zakonsko rešenje, kao i rešenja koja bi regulativa koja bi tek trebalo da bude doneta mogla da sadrži, kao i modele poslovanja agregatora uključujući i načine objedinjavanja proizvodnje i potrošnje EE koji bi po mišljenju autora predstavljali optimalno rešenje u okviru postojećih tržišnih uslova. Dodatno će u ovom radu biti predstavljeno i jedno regionalno iskustvo u ovoj oblasti.

Početak rada prvih agregatora u Republici Srbiji predstavljaće izazov i za operatora DEES (u daljem tekstu: ODS). Kako bi se obezbedilo optimalno upravljanje DEES, ODS bi trebalo, oslanjajući se između ostalog i na nedostajuću regulativu u ovoj oblasti, da u svakom trenutku bude u mogućnosti da kontroliše rad agregatora usled tehničkih specifičnosti, kao što je na primer promena tokova snaga usled pristupa agregatora DEES odnosno proizvođača i potrošača čiju proizvodnju i potrošnju agregira agregator. Stoga će ovaj rad posebnu pažnju posvetiti i uticaju agregatora na poslovanje ODS.

2. IZAZOVI KOJI SU PRED ODS USLED PRIKLJUČENJA NOVIH KORISNIKA U DEES

2.1 Novi korisnici DEES

Zagađenje životne sredine, ubrzane klimatske promene, kao i ograničeni resursi fosilnih goriva doveli su do povećanja svesti čovečanstva o potrebi za proizvodnjom EE iz obnovljivih izvora, štednjom električne (kao i svih drugih vidova) energije, kao i povećanjem energetske efikasnosti.

S obzirom na navedeno, u Republici Srbiji, kao i u drugim zemljama Evrope i sveta intenzivno se grade proizvodni objekti za proizvodnju EE iz obnovljivih izvora, pre svega iz biomase, sunca i vetra. Pored toga, značajan broj krajnjih kupaca se odlučuje na izgradnju sopstvenih proizvodnih objekata iz obnovljivih izvora energije koje će priključiti na svoje unutrašnje instalacije pri čemu će proizvedenu EE koristiti za sopstvene potrebe, a viškove isporučivati u DEES, pri čemu stiču status kupca-proizvođača [1,2,3]. Republika Srbija na različite načine podstiče upotrebu obnovljivih izvora energije (kao što su fid-in tarife i aukcije [2] za proizvođače, dok su za kupce-proizvođače građanima između ostalog ponuđene državne subvencije [4], kao i model obračuna putem neto merenja, odnosno neto obračuna [2,3]).

Kao značajan korisnik DEES i učesnik na tržištu prepoznat je i skladištar [1], koji bi u periodima kada ima višak EE na raspolaganju istu skladištio, kako bi se ona koristila kada za to bude potrebe. Mogućnost ugradnje skladišta data je i kupcima-proizvođačima [2,3].

Pored promena u ponašanju svih krajnjih kupaca EE, uzrokovanih promenama životnih navika, modernizacije brojnih procesa, kao i uslova na tržištu EE posebno treba imati u vidu sektor transporta. Ovaj sektor se nalazi u tranzicionom periodu, usled potrebe za očuvanjem životne sredine, smanjenjem emisije izduvnih gasova, kao i usporavanjem klimatskih promena. Navedene okolnosti utiču na sve veći broj električnih vozila i vozila na hibridni pogon (u daljem tekstu: e-vozila) na putevima Republike Srbije. Kako bi se njihov broj u budućnosti povećao neophodno je razviti potrebnu infrastrukturu, u smislu izgradnje dovoljnog broja javnih punionica čija je potrošnja izuzetno nepredvidiva. Pored navedenog, treba imati u vidu i prednost korišćenja baterija za e-vozila koje mogu predstavljati potencijalna pokretna skladišta EE [5].

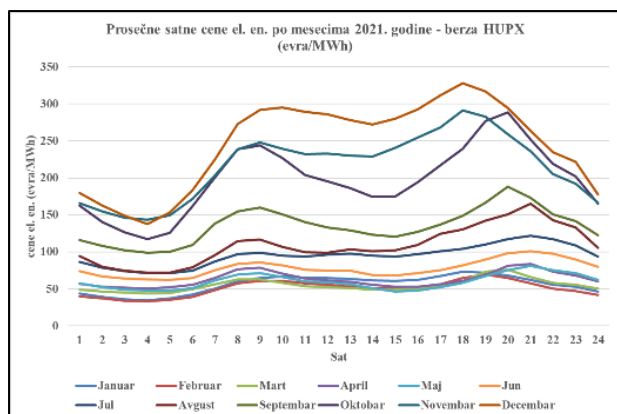
S obzirom na sve navedeno DEES postaje dinamičan, aktivan sistem u kom su tokovi snaga sve manje predvidivi usled priključenja novih, i promene delovanja postojećih, korisnika DEES sa različitim ulogama u novonastalim tržišnim uslovima. Usled prethodno opisanog, ODS se suočava sa izazovima u upravljanju DEES, regulacijom napona, povećanim tehničkim i netehničkim gubicima, povećanjem opterećenja DEES, smanjenjem kapaciteta za priključenje novih korisnika DEES, zagušenjima u DEES, injektiranjem EE iz DEES u PEES, kao i potrebama za značajnim investicijama u DEES kako bi se omogućio stabilan, pouzdan i siguran rad DEES. Sve navedeno

dovodi do potrebe veće fleksibilnosti DEES koja je predviđena i u Direktivi o zajedničkim pravilima za unutrašnje tržište EE [6].

2.2 Fleksibilnost DEES

Veća fleksibilnost DEES može se postići na različite načine. Pre svega, sam ODS može vršiti rekonfiguraciju DEES u cilju povećanja fleksibilnosti. Jedan od načina povećanja fleksibilnosti je promena izvora napajanja za pojedine korisnike DEES usled priključenja novog proizvodnog objekta kako bi se proizvedena EE efikasnije koristila i manje opterećivao DEES. Takođe, pogodan izbor tačke priključenja korisnika DEES može biti dodatni izvor fleksibilnosti, kao što je npr. priključenje proizvodnih objekata na lokacijama sa značajnim opterećenjem, kako bi se izbeglo njihovo priključenje na lokacijama na kojima je DEES inače slabo opterećen što može dovesti do novih problema u upravljanju DEES.

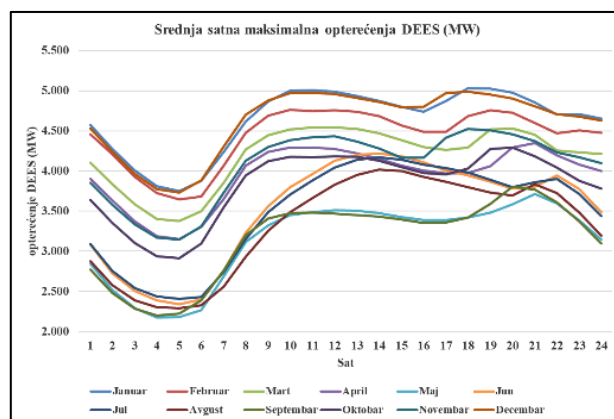
Pored navedenog i korisnici DEES mogu povećati fleksibilnost DEES. Razvojem tržišta EE korisnici DEES mogu menjati svoje navike usled fluktuacije cene EE. Prosečne satne cene EE po mesecima 2021. godine sa berze HUPX¹ date su na slici 1 [7]. Može se primetiti da kriva satnih cena prati krivu satnog opterećenja DEES, koja je data na slici 2 [8], te da su u periodima većeg opterećenja DEES i cene EE više i obrnuto. Ukoliko bi snabdevači prodavali EE krajnjim kupcima po dinamičkim cenama koje bi pratile opisane trendove (različite cene po satima, delovima dana ili slično), korisnici DEES, kako bi sebi smanjili troškove za EE, prirodno bi smanjivali svoju potrošnju u delovima dana u kojima je DEES opterećen (više cene) i svoju potrošnju odlagali za periode manjeg opterećenja DEES (periodi nižih cena), a time bi doprinisili i fleksibilnosti DEES.



Slika 1. Prosečne satne cene EE po mesecima 2021. godine - berza HUPX (evra/MWh) [7]

Kako bi se opisani efekat pojačao i tarife za pristup DEES u budućnosti mogu postati dinamičnije.

Redefinisanjem tarifa kroz izmene i dopune [9] krajnji kupci (uključujući i punionice za e-vozila), kupci-proizvođači, skladištari itd. bili bi motivisani da EE iz DEES ne preuzimaju u periodima kada je DEES veoma opterećen, već u periodima manjeg opterećenja. Trenutnim konceptom tarifa sa dnevnom tarifom u trajanju od 16 sati i noćnom u trajanju od 8 sati ne postiže se željeni efekat u potpunosti, te je predlog da se odrede bar četiri različite tarife koje će oslikavati objektivno stanje u DEES. Najskuplja tarifa bi bila u periodu od 17-21 č, a najjeftinija u periodu od 00-08 č. (videti sliku 2) [5]. Takođe, predlaže se modelovanje posebnih tarifa za proizvođače i skladištare kroz izmene i dopune [9] kojima će se stimulisati skladištari i proizvođači da upravo u periodima dana kada je DEES opterećen isporučuju EE u DEES, odnosno da u periodima manjeg opterećenja isporuku smanje ili obustave. Opisanim izmenama korisnici DEES bi se podstakli da svoju potrošnju i proizvodnju samostalno, izazvani samo cenovnim signalima, prilagode stanju u DEES čime će pomagati poslovanju ODS.



Slika 2. Srednja satna maksimalna opterećenja DEES po mesecima 2021. godine (MW) [8]

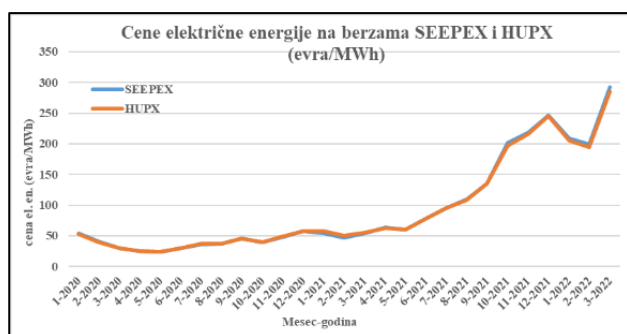
Pored navedenog, ODS se podstiče da eksplicitno nabavlja uslugu fleksibilnosti u transparentnim, nediskriminatorskim i tržišnim postupcima nabavke [6] u cilju podsticanja poslovanja i razvoja ODS. S obzirom na navedeno, ODS može u budućnosti sa korisnicima DEES zaključivati i posebne ugovore kojima bi se definisao odnos korisnika DEES i ODS u smislu povećanja fleksibilnosti DEES. ODS bi korisnicima, sa kojima ima zaključen ugovor, izdavao naloge čijom bi realizacijom ODS imao olakšano poslovanje, a korisnik DEES odgovarajuću finansijsku nadoknadu. Takođe, ODS u narednom periodu može korisnicima DEES koji žele da učestvuju u povećanju fleksibilnosti DEES davati različite povlastice u smislu smanjenja troškova priključenja na DEES, prioritetnog pristupa DEES i slično.

Korisnici DEES, motivisani prvenstveno finansijskim uštedama i dodatnim prihodima, ali i očuvanjem životne

¹ Za potrebe ovog rada, kao primer, korišćene su cene sa berze HUPX. Na slici 3 prikazano je poređenje prosečnih mesečnih cena u periodu od januara 2020. do marta 2022. godine na

berzama HUPX i SEEPEX. Može se primetiti da su cene gotovo identične.

sredine, postaju aktivni učesnici na tržištu EE, te će tako imati interesa da se uključe i u povećanje fleksibilnosti DEES na neki od opisanih načina. Opravdano je očekivati da će se u budućem periodu opisani trend nastaviti jer je došlo do naglog i značajnog povećanja cena EE na tržištu EE koje nemaju tendenciju pada (videti slike 1 i 3). Međutim, zbog svojih relativno malih kapaciteta korisnici DEES često ne mogu samostalno istupati na tržištu EE. Upravo zbog toga prepoznat je agregator [1,6] kao korisnik DEES i učesnik na tržištu.



Slika 3. Prosečne mesečne cene EE (evra/MWh); januar 2020 – mart 2022.; berze SEEPEX i HUPX [7, 10]

3. REGULATIVA U OBLASTI AGREGATORA U REPUBLICI SRBIJI

Iako je pojam agregatora globalno već rasprostranjen i konstantno se razvija [11], zakon o energetici [1] svojim izmenama i dopunama iz aprila 2021. po prvi put u zakonodavstvo Republike Srbije uvodi pojam agregatora. Tako se u članu 2 stav 1 tačka 1a) Zakona agregator određuje kao pravno ili fizičko lice koje pruža uslugu objedinjavanja potrošnje i/ili proizvodnje EE u cilju dalje prodaje, kupovine ili aukcija na tržištima EE, dok se u tački 1) istog stava agregiranje određuje kao objedinjavanje potrošnje i/ili proizvodnje EE radi kupovine, prodaje ili aukcija na tržištima EE. Iz navedenih zakonskih definicija proizlazi da agregator može agregirati samo potrošnju, ili proizvodnju EE, a može objединiti i proizvodnju i potrošnju. To zapravo znači da agregator koordinira potrošnju odnosno proizvodnju učesnika na tržištu u skladu sa zakonom, pri čemu npr. kupcima-proizvođačima usled njihove prirode može koordinirati i proizvodnju i potrošnju.

Zakon prepoznaje agregatora i kao korisnika sistema i učesnika na tržištu EE, što im garantuje širok krug kako prava tako i obaveza koje proizlaze iz [1], na prvom mestu pravo na pristup DEES, pravo na nediskriminatoran tretman, itd. Članom 195. stav 1. tačka 17 [1] predviđena je dužnost snabdevača da krajnje kupce koji su zaključili ugovor sa agregatorom ne izlaže neosnovanim troškovima ni ugovornim ograničenjima. Na ovaj način je zakonodavac želeo da garantuje da krajnjim kupcima EE neće biti nametnute dodatne obaveze u slučaju da se opredele za saradnju sa agregatorom u odnosu na one koje

već imaju u skladu sa zakonom, čime je indirektno obezbeđeno slobodno odlučivanje krajnjih kupaca na tržištu EE da se njihova potrošnja agregira.

Na nešto detaljniji način prava i obaveze agregatora određeni su u članu 210b [1]. Tako je propisano da agregator nastupa na tržištu EE u ime i za račun učesnika na tržištu za koje vrše uslugu objedinjavanja potrošnje i/ili proizvodnje, čime se agregator stavlja u funkciju zastupnika shodno opštim pravilima obligacionog prava. To zapravo znači da radnje koje preuzme agregator na tržištu EE, u granicama zakonskih ovlašćenja, pravne posledice tako preuzete radnje neposredno pogađaju proizvođača odnosno potrošača EE koji ima zaključen ugovor sa agregatorom. Na agregatora bi se stoga shodno imao primeniti institut zastupništva iz važećeg Zakona o obligacionim odnosima, uključujući i institut prekoračenja granice ovlašćenja, ukoliko isti nisu u suprotnosti sa prirodom agregatora. Stoga je potrebno da se proizvođači i/ili potrošači EE koji se odlučuju za agregiranje svoje proizvodnje odnosno potrošnje detaljno upoznaju sa pravnim posledicama delovanja agregatora, posebno u pogledu odgovornosti koju bi eventualno mogli da snose usled radnji koje je učinio sam agregator u njihovo ime i za njihov račun.

Istim članom [1] dalje je propisano da je agregator dužan da: 1) postupa prema učesniku na tržištu na nediskriminatoran način; 2) objavi opšte uslove ponude za zaključenje ugovora, odnosno da učesnika na tržištu obavesti na prigodan način o ponuđenim uslovima; 3) besplatno obezbedi sve relevantne podatke učesniku na tržištu najmanje jednom u toku obračunskog perioda ukoliko učesnik na tržištu to zatraži; i 4) da na svojoj internet stranici, ili na drugi prikladan način, obavesti učesnika na tržištu o funkciji agregiranja. Navedena pravila su samo načelno postavljena i očekuje se njihova dalja razrada, prvenstveno kroz izmene i dopune važećih Pravila o radu operatora sistema [12, 13] i Pravila o radu tržišta [14].

4. ULOGA AGREGATORA NA TRŽIŠTU EE

Svaki korisnik sistema, pa tako i agregator, dužan je da uredi pristup sistemu na koji je priključen, kao i balansnu odgovornost. Svi korisnici sistema samostalno uređuju pristup sistemu i balansnu odgovornost, izuzev onih koji sa snabdevačem imaju zaključen ugovor o potpunom snabdevanju. U opisanom slučaju snabdevač ima obavezu regulisanja pristupa sistemu i balansne odgovornosti za mesta primopredaje predmetnih korisnika sistema. Korisnici sistema koji su deo agregirane grupe, pored ugovora kojima regulišu snabdevanje, pristup sistemu i balansnu odgovornost, sa agregatorom zaključuju zaseban ugovor o agregiranju. Takođe, agregator kao korisnik sistema i učesnik na tržištu dužan je regulišu pristup sistemu i balansnu odgovornost. [1]

4.1 Odnos ODS i agregatora

Osnovni cilj ODS je da u svakom trenutku u DEES postoji dovoljno EE da zadovolji potrebe svih korisnika DEES. Upravo u realizaciji ovog cilja u budućnosti ključnu ulogu može imati agregator. Kao što je već navedeno, njegova uloga je da objedini potrošnju i proizvodnju više učesnika na tržištu sa njihovim različitim funkcijama (krajnji kupci, proizvođači, skladištari, kupci-proizvođači, itd.) kako bi se međusobno dopunjavali i omogućavali veće finansijske uštede agregiranim učesnicima na tržištu (u daljem tekstu: agregirana grupa), profit agregatoru, snabdevaču i balansno odgovornoj strani (u daljem tekstu: BOS), ali omogućiti i veću fleksibilnost DEES čime se postiže pun efekat agregacije. Agregator će dobijati finansijsku nadoknadu od strane ODS, dok će članovi agregirane grupe za promene svog plana rada, uzrokovane delovanjem agregatora, dobijati finansijsku nadoknadu od agregatora (direktnu finansijsku nadoknadu, ili različite povlastice u smislu smanjenja računa za EE itd, u zavisnosti od uslova pod kojima je zaključen ugovor o agregiranju).

U cilju realizacije naloga ODS od strane agregatora u nastavku će biti dati primeri delovanja agregatora na članove agregirane grupe. Za potrebe ovog rada analiziraće se slučaj agregirane grupe u kojoj su agregirani krajnji kupci (industrijski krajnji kupci, javne punionice e-vozila, domaćinstva, krajnji kupci koji su vlasnici e-vozila itd.), proizvođači iz obnovljivih izvora, kupci-proizvođači (sa sopstvenim skladištem i bez njega) i skladištari.

U slučaju da je DEES preopterećen ODS će agregatoru izdati nalog, u skladu sa zaključenim ugovorom, da obezbedi količinu X EE u DEES. Pri tome agregator, u skladu sa ugovorima o agregaciji koje ima sa članovima agregirane grupe, može izdati nalog:

- upravljivim proizvodnim jedinicama da povećaju proizvodnju EE za količinu PRp ;
- krajnjim kupcima (između ostalih i javnim punionicama e-vozila) da smanje potrošnju za količinu KKp , u odnosu na svoj inicijalni plan, čime će se smanjiti količina potrebne EE za predmetne krajnje kupce;
- skladištima (ukoliko su napunjena) da preko planirane količine EE za isporuku u DEES isporuče dodatnu količinu EE Sp , odnosno da smanje preuzimanje iz DEES za Ssp , u odnosu na plan;
- kupcima-proizvođačima da povećaju isporuku EE u DEES (ukoliko u predmetnom trenutku proizvodni objekat proizvodi EE, odnosno iz baterije ukoliko je imaju) za količinu $KPIp$, odnosno smanje preuzimanje iz DEES (da smanje potrošnju ili da koriste EE iz sopstvene baterije ukoliko je imaju i ukoliko je napunjena) za količinu $KPPp$.

Svim opisanim merama, delovanjem različitih učesnika na tržištu koji su deo agregirane grupe, putem agregatora, povećava se ukupna raspoloživa EE u DEES, u skladu sa zahtevom ODS, za količinu X :

$$X = PRp + KKp + Sp + Ssp + KPIp + KPPp \quad (1)$$

Takođe, postoje i obrnute situacije, u kojima u DEES postoji više EE nego što je to potrebno u datom trenutku (npr. u toku noći). ODS izdaje nalog agregatoru, u skladu sa zaključenim ugovorom, da u DEES smanji ukupnu količinu raspoložive EE u sistemu za količinu Y . Pri tome agregator, u skladu sa ugovorima o agregaciji koje ima sa članovima agregirane grupe, može izdati nalog:

- upravljivim proizvodnim jedinicama da smanje proizvodnju EE za količinu PRs ;
- krajnjim kupcima (između ostalih i javnim punionicama e-vozila) da povećaju potrošnju EE za količinu KKs u odnosu na njihov inicijalni plan, čime će se povećati potrebna EE za predmetne krajnje kupce,
- skladištima da smanje isporuku EE u DEES za količinu Ss u odnosu na plan, odnosno da povećaju preuzimanje iz DEES za Sss u odnosu na planske količine
- kupcima-proizvođačima da smanje isporuku EE u DEES za količinu $KPIs$ (ukoliko u predmetnom trenutku proizvodni objekat proizvodi EE da povećaju potrošnju proizvedene EE, odnosno da pune svoje baterije ukoliko je moguće), odnosno da povećaju preuzimanje iz DEES za količinu $KPPs$ (da povećaju potrošnju ili da EE koriste iz DEES umesto iz sopstvene baterije ukoliko je napunjena).

Svim opisanim merama, delovanjem različitih učesnika na tržištu koji su deo agregirane grupe, putem agregatora smanjuje se ukupna raspoloživa EE u DEES, u skladu sa zahtevom ODS, za količinu Y :

$$Y = PRs + KKs + Ss + Sss + KPIs + KPPs \quad (2)$$

Agregator određuje, prvenstveno na osnovu ekonomskih parametara i ugovora o agregaciji koje će od nabrojanih resursa da angažuje kako bi ispunio nalog ODS. Dejstvo agregatora ekvivalentno je jednoj elektrani koja je proizvela količinu EE X u zahtevanom trenutku u slučaju da je potrebno povećati ukupnu raspoloživu EE u DEES, odnosno smanjila svoju proizvodnju za količinu EE Y i time za tu količinu smanjila ukupnu raspoloživu EE u DEES. S obzirom na izneto, u literaturi se često može videti da se agregatori posmatraju kao virtuelne elektrane [15, 16, 17].

4.2 Modeli poslovanja agregatora na tržištu EE

Snabdevač, koji je ujedno i BOS, ili je preneo balansnu odgovornost na drugu BOS, može imati i ulogu agregatora. Dosadašnja praksa evropskih zemalja pokazala je da snabdevači nerado preuzimaju ulogu agregatora [18], jer time utiču na smanjenje prodaje EE (naročito u periodima visokih cena) što je njihova osnovna delatnost, čime umanjuju sopstveni profit.

Nasuprot tome, agregator može poslovati nezavisno od snabdevača koji je i BOS tzv. nezavisni agregator [6]. Nezavisni agregator može aktiviranjem svojih mehanizama izazvati dodatne troškove kako snabdevaču (neprodato nabavljena EE u nekom satu) tako i BOS (debalans u posmatranom satu). U takvim slučajevima predviđena je nadoknada za neprodato EE snabdevaču i

troškove debalansa BOS od strane učenika na tržištu ali samo do realne mere koje je izazvalo delovanje agregatora [6]. U [6] je definisano da način proračuna visine navedene nadoknade odobrava regulatorno telo.

Treća mogućnost je da nezavisni agregator bude i BOS, nezavisno od snabdevača. Ovakav koncept je za prvo vreme realniji, jer u slučaju da ne postoje nalozi od ODS agregator može upravljati učesnicima na tržištu koje agregira tako da doprinese smanjenju sopstvenih troškova debalansa. Snabdevači nabavljaju EE koju će prodati krajnjim kupcima, kupcima-proizvođačima, skladištima itd. koje snabdevaju u skladu sa njihovim planom potreba za EE. Takođe, snabdevači planiraju i količinu EE koju će otkupiti od proizvođača, kupaca-proizvođača, skladišta itd. BOS satne količine EE za svoju balansnu grupu prijavljuju operatoru PEES (u daljem tekstu: OPS) za dan unapred. Poređenjem pravih, realizovanih satnih vrednosti i prijavljene pozicije za BOS, OPS za svaku BOS obračunava trošak debalansa na satnom nivou [14]. Realizacija koja se u posmatranom satu razlikuje od prijavljene pozicije (npr. kišoviti dan umesto sunčanog) te je proizvodnja solarnih elektrana značajno ispod planirane, iznenadan prestanak rada velikog industrijskog krajnjeg kupca usled havarije te je njegova potrošnja 0 kWh umesto značajne koja je planirana, ili iznenadno neplanirano povećanje potrošnje npr. grejanje većeg broja domaćinstava uređajima koji rade na EE usled kvara na centralnom grejanju) izazvaće značajne troškove debalansa za predmetnu BOS. Upravo u takvim situacijama, kada pritom ne postoje nalozi ODS za agregatora, agregator može imati ključnu ulogu u smanjenju troškova debalansa BOS. U slučaju neplaniranog smanjenja potrošnje on može smanjiti proizvodnju EE upravljivih elektrana, povećati potrošnju ostalih krajnjih kupaca, smanjiti isporuku EE iz skladišta itd. i obrnuto u slučaju nepredviđenog povećanja potreba u posmatranom satu za BOS. Na opisan način agregator, koji je istovremeno i BOS, imaće prihode od obezbeđivanja fleksibilnosti ODS, ali i značajno smanjenje troškova debalansa svoje balansne grupe.

Dakle, agregator svojim funkcionisanjem može doneti finansijsku korist samom agregatoru, ali i snabdevaču, BOS, kao i članovima agregirane grupe. Pored toga, agregatori imaju značajan pozitivan uticaj na ODS u smislu povećanja fleksibilnosti DEES (generalne i lokalne) npr. pomeranjem potrošnje iz dela dana u kom je DEES preopterećen u deo dana u kom je opterećenje DEES manje, bolje izbalansiranosti celokupnog DEES, neutralisanja efekta nepredvidive proizvodnje varijabilnih izvora EE, smanjenja gubitaka u DEES, integracije novih proizvodnih kapaciteta iz obnovljivih izvora bez velikih investicija u DEES, kao i povećanja fleksibilnosti PEES i odlaganje investicija u njega. Takođe, delovanjem agregatora može se zameniti upravljanje skupim proizvodnim kapacitetima tako što će se upravljati potrošnjom, uskladištiti ili koristiti uskladištena EE ili aktivirati proizvodne jedinice čije je upravljanje jeftinije.

5. NAČINI UPRAVLJANJA PROIZVODNJOM I POTROŠNJOM U OKVIRU AGREGIRANE GRUPE

Agregatori proizvodnjom i potrošnjom mogu upravljati izdavanjem naloga za povećanje/smanjenje proizvodnje, odnosno potrošnje učesnicima na tržištu koje agregiraju. Učesnici na tržištu nalog agregatora mogu realizovati u potpunosti ili u manjoj ili većoj meri od zadate. Drugi način upravljanja je automatski, gde agregator daljinski izdaje nalog automatici koja fizički smanjuje/povećava potrošnju, odnosno proizvodnju. Za ovakav vid upravljanja potreban je izvestan stepen tehničke opremljenosti članova agregirane grupe, pri čemu oni koji već imaju mogućnost automatskog upravljanja uz relativno mala finansijska ulaganja mogu realizovati zahteve agregatora. Za ostale članove agregirane grupe neophodno je uraditi procenu isplativosti automatskog upravljanja u odnosu na upravljanje putem klasičnog naloga agregatora. Drugi model je značajno pouzdaniji od prvog, jer ne zavisi od samog člana agregirane grupe, već mu se potrošnja, odnosno proizvodnja automatski smanjuje, odnosno povećava dejstvom agregatora. U oba slučaja agregator mora voditi računa i o izdatom nalogu i o realizaciji istog. U literaturi se predlaže da i nezavisni agregator bude balansno odgovoran za svoj debalans (razlika između izdatog naloga i realizacije istog) [18].

U Republici Srbiji postoji mogućnost daljinskog upravljanja kotlovima na EE, TA pećima i protočnim bojlerima kod nekolicine krajnjih kupaca iz kategorije široka potrošnja. Za navedenu upravljivu potrošnju definisana je posebna tarifa za pristup DEES [9]. Iskustva ODS su pokazala da ovaj koncept koristi mali broj krajnjih kupaca, sa zanemarljivim količinama EE, i da nema velikog uticaja na fleksibilnost DEES. Međutim, opisani model upravljanja može biti inicijalna ideja za dalji razvoj daljinskog upravljanja potrošnjom, jer upravo sistemi za grejanje i hlađenje imaju značajan potencijal za povećanje fleksibilnosti DEES, kao i veliki industrijski potrošači sa izdvojenom potrošnjom kojom se može neposredno upravljati.

6. PREDUSLOVI ZA FUNKCIONISANJE AGREGATORA

Preduslovi za uspešno funkcionisanje agregatora su pre svega precizna prognoza proizvodnje i potrošnje EE u okviru agregirane grupe, kao i praćenje realizovane proizvodnje i potrošnje u realnom vremenu. Na prognozu proizvodnje utiče mnoštvo parametara u zavisnosti od vrste proizvodnog objekta (lokacija, temperatura, brzina vetra, iradijacija itd.). Prognoza potrošnje je takođe izuzetno zahtevna, u smislu različitih vrsta krajnjih kupaca, njihovih navika i delatnosti. Pored toga, i potrošnja i proizvodnja zavise od perioda dana i godine.

Napredni merni sistemi, predviđeni u [1], neophodni su kako bi agregatori u svakom trenutku mogli da prate proizvodnju i potrošnju agregirane grupe, kao i odziv na

naloge koje su izdali za promenu potrošnje, odnosno proizvodnje EE [19]. U 2020. godini, u Republici Srbiji OPS je na svim mestima primopredaje imao merne uređaje sa mogućnostima dvosmernog merenja (od mreže i ka mreži), čuvanja podataka, upravljanja tarifama, daljinskog očitavanja od strane OPS, kao i od strane korisnika putem aplikacije itd. [20]. Na DEES situacija je nešto drugačija pri čemu je na 1,6% mesta primopredaje krajnjih kupaca ugrađen digitalni meri uređaj, kao i kod 99% proizvođača [20]. Zbog opisane situacije sa merenjem EE ODS je formirao predefinisane, zamenske dijagrame potrošnje [12] na osnovu kojih proračunava satne potrošnje pojedinačnih krajnjih kupaca bazirano na njihovoj mesečnoj potrošnji. Primenom predefinisanih profila potrošnje zanemaruju se specifičnosti pojedinačnih krajnjih kupaca, i ne može se steći u potpunosti realna slika njihovog delovanja. U cilju lakšeg i boljeg poslovanja ODS i agregatora, intenzivnijeg razvoja tržišta, bolje reakcije učesnika na tržištu na cenovne signale, ali i povećanja fleksibilnosti i smanjenja gubitaka u DEES, ODS intenzivno radi na razvoju naprednih meri sistema.

Pored navedenog potrebno je raditi i na unapređenju upravljanja DEES, digitalizaciji ODS, sistemima za zaštitu podataka i efikasniju razmenu podataka sa korisnicima DEES i OPS [21].

7. PRIMER POTREBE ZA POVEĆANJEM FLEKSIBILNOSTI DEES U TRENUTNOJ PRAKSI ODS

Povećanjem broja proizvodnih kapaciteta koji su priključeni na DEES, ODS se suočava sa problemom injektiranja EE u PEES. Opisana pojava se prvenstveno uočava u slučaju priključenja značajnih proizvodnih kapaciteta u predelima sa generalno malom potrošnjom (npr. devastirana područja, planinski nenaseljeni ili slabo naseljeni predeli). S obzirom na to da u opisanom slučaju osnovni princip da proizvedena EE mora biti potrošena nije ispunjen na nivou DEES, EE odlazi u PEES. U 2017. godini prve količine EE su isporučene u PEES u iznosu od 3 GWh, da bi već u 2020. godini bilo isporučeno 12 GWh [20]. Tarifa za isporuku EE iz DEES u PEES (na 110 kV naponskom nivou) nije određena [9], te ODS isporučuje predmetnu EE u PEES bez nadoknade. OPS opisanu EE posmatra kao proizvodnju virtuelne elektrane koju dalje isporučuje svojim korisnicima sistema (između ostalih i ODS) i za nju obračunava pristup PEES.

Pored navedenog finansijskog gubitka, predmetna EE povećava gubitke u DEES, pa samim tim i troškove za njih, a takođe i dodatno opterećuje DEES. S obzirom na to da se opisana pojava najčešće dešava u područjima sa slabo razvijenom mrežom, rekonfiguracija mreže nije moguća. Definisanjem novog tarifnog sistema, koji je ranije opisan, kao i izbor pogodne tačke za priključenje proizvodnih objekata, a naročito delovanjem agregatora, opisani problem može biti uspešno rešen tako što će se potrošnja u datim predelima uskladiti sa proizvodnjom, a proizvodnja prilagoditi realnim potrebama potrošača.

Navedeni primer je samo jedan od brojnih izazova sa kojim se ODS trenutno suočava i sa kojim će se suočavati u budućnosti. Dakle, u budućnosti delovanje agregatora, kao i nalozi koje mu ODS izdaje, mogu biti opšteg karaktera za celu agregiranu grupu, ali i lokalizovani na određeno geografsko područje (tj. na deo agregirane grupe) u kom dolazi do preopterećenja/podopterećenja.

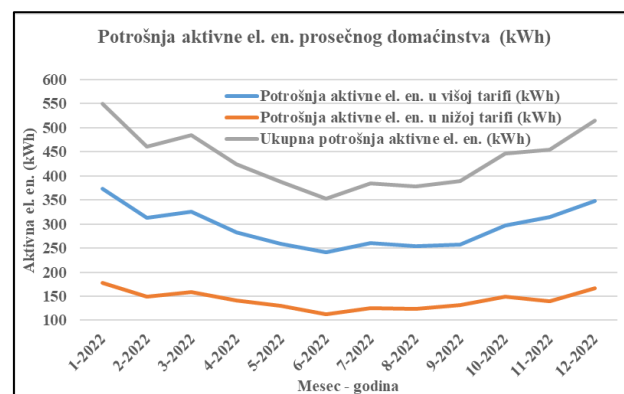
8. PRIMER RADA AGREGATORA NA TRŽIŠTU ELEKTRIČNE ENERGIJE

8.1 Opis podataka korišćenih u proračunima

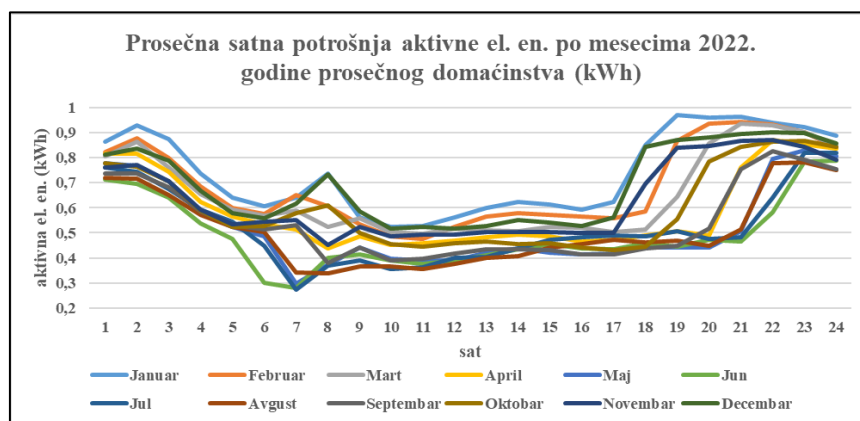
U okviru ovog rada biće dat i praktičan primer nekih od mogućih načina rada agregatora, kao i finansijskih pogodnosti za agregatora i članove agregirane grupe, a takođe i pogodnosti za ODS u smislu veće fleksibilnosti.

Posmatrana su 233 domaćinstva koja se napajaju iz jedne transformatorske stanice (u daljem tekstu: TS) pri čemu svako od njih ima pametni meri uređaj sa mogućnostima detektovanja i čuvanja satnih podataka, kao i daljinskog očitavanja. Za potrebe ovog rada korišćena je njihova potrošnja EE na satnom, kao i na mesečnom nivou. Mesečne količine EE ODS je koristio za obračun pristupa DEES domaćinstvima koja su uzeta kao primer [1, 9] u toku 2022. godine. Pojedini podaci o satnoj potrošnji EE za neka od meri mesta su nedostajala, što je očekivano s obzirom na vrstu meri uređaja i tehnologiju prikupljanja satnih podataka [22]. Nedostajući satni podaci su estimirani na osnovu mesečne potrošnje posmatranog domaćinstva i profila potrošnje koji su definisani Pravilima o radu DEES [1, 12].

Na osnovu raspoloživih meri i estimiranih satnih podataka o potrošnji EE svih posmatranih domaćinstava određena je satna potrošnja prosečnog domaćinstva koje se napaja iz posmatrane distributivne TS (u daljem tekstu: prosečno domaćinstvo). Potrošnja aktivne EE prosečnog domaćinstva, po mesecima 2022. godine, i po tarifama – višoj i nižoj [9] prikazana je na slici 4. Prosečna satna potrošnja aktivne EE po mesecima 2022. godine prosečnog domaćinstva prikazana je na slici 5.



Slika 4. Potrošnja aktivne EE prosečnog domaćinstva u toku 2022. godine (kWh)



Slika 5. Prosečna satna potrošnja aktivne EE po mesecima 2022. godine prosečnog domaćinstva (kWh)

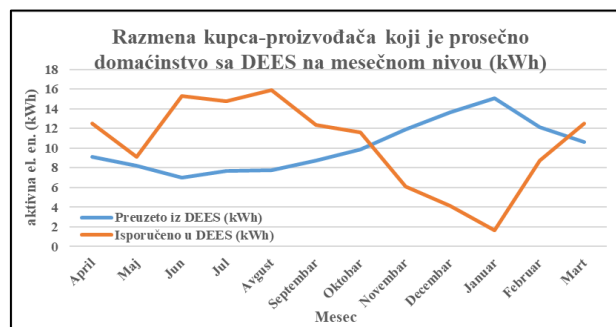
8.2 Mogućnosti za povećanje fleksibilnosti ODS na nivou prosečnog domaćinstva

Sa slika 4 i 5 može se zaključiti da je u svim mesecima potrošnja aktivne EE niska u periodu od 08 do 17 č. što je i očekivano jer je reč o potrošnji domaćinstava u radno vreme. Nakon 17 č. dolazi do naglog povećanja potrošnje koje traje do 21 č., 22 č. nakon čega sledi ponovni pad potrošnje koji traje do jutarnjih časova. Upravo i ovaj konkretan primer potvrđuje opravdanost predloga za izmenu tarifnog sistema opisanog u poglavlju 2.2. Takođe, prikazani dijagram potrošnje daje mnoštvo mogućnosti za poboljšanje fleksibilnosti ODS na osnovu upravljanja potrošnjom (pomeranje potrošnje iz perioda 17-21 č. u period 00-08 č. ili u period 08-17 č.).

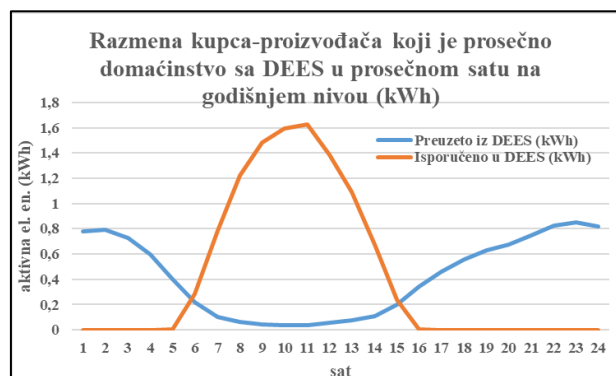
Ukoliko bi prosečno domaćinstvo izgradilo sopstveni objekat za proizvodnju EE iz obnovljivih izvora i priključilo ga na svoje unutrašnje instalacije i time steklo status kupca-proizvođača [1, 2, 3], mogućnosti za upravljanje potrošnjom bi bile još raznovrsnije uz izraženiji povoljan uticaj na kupca-proizvođača, BOS, agregatora i snabdevača (finansijske uštede i profit), kao i na ODS (manje opterećenje DEES, manji gubici, olakšano upravljanje). Na slici 6 prikazana je razmena EE kupca-proizvođača, koji je prosečno domaćinstvo, sa DEES po mesecima, dok je na slici 7 prikazana razmena na nivou prosečnog sata na godišnjem nivou. U proračunima je korišćen proizvodni objekat optimalne instalisane snage za zadovoljenje potreba kupca-proizvođača koji je prosečno domaćinstvo² [23, 24].

Za određivanje optimalne instalisane snage fotonaponske elektrane neophodno je poznavati resurse solarne energije na ciljnoj mikrolokaciji, geografsku širinu, karakteristike elemenata sistema i ambijentalne uslove [24,

25]. Optimalna instalisana snaga je određena pomoću programskog paketa PVGIS³ i njegovih integrisanih baza podataka [26]. Na osnovu proračuna iz programskog paketa PVGIS preuzeti su i podaci o satnoj proizvodnji optimalne solarne elektrane za prosečno domaćinstvo.



Slika 6. Razmena kupca-proizvođača, koji je prosečno domaćinstvo, sa DEES (kWh)



Slika 7. Razmena kupca-proizvođača, koji je prosečno domaćinstvo, sa DEES u prosečnom satu na godišnjem nivou (kWh)

² Za potrebe ovog rada pretpostavljeno je da je proizvodni objekat kupca-proizvođača solarna elektrana jer je takva situacija kod svih kupaca-proizvođača priključenih na DEES do dana pisanja ovog rada [23], što je i očekivano s obzirom na visinu investicije i kasnijih relativno malih potreba za održavanjem.

³ PVGIS je besplatan *online* programski paket. Može se koristiti za procenu proizvodnje solarnih elektrana, za bilo koju lokaciju u Evropi. Za proračune koristi baze podataka o sunčevom zračenju, temperaturi okoline, brzini vetra i karakteristikama terena dobijenih na osnovu satelitskih snimaka, [26].

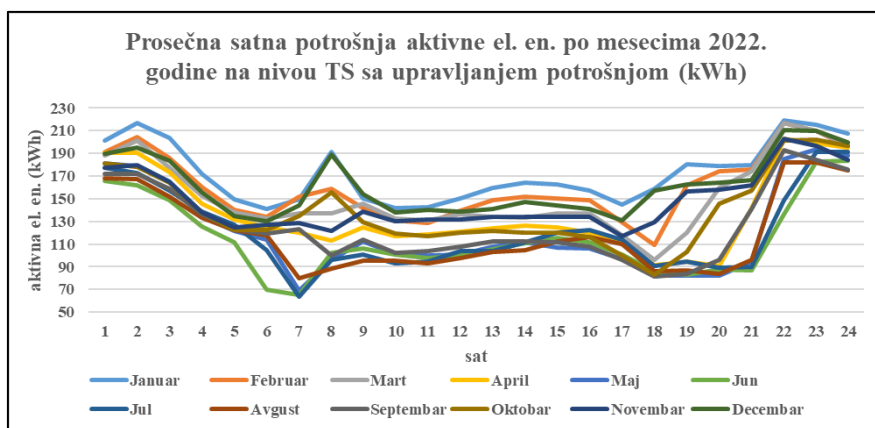
Na slici 6 može se primetiti da je značajno veća isporuka u DEES od preuzimanja iz DEES u letnjim mesecima, dok je u zimskom periodu situacija obrnuta. Sa slike 7, kao što je i očekivano, značajno je veća isporuka u DEES u periodu od 06-15 č. od preuzimanja EE dok je u ostalim periodima dana situacija obrnuta. Ovo navodi na zaključak da je upravljanje potrošnjom potpuno opravdano s ciljem da se ona premešta iz dela dana u kom solarna elektrana ne proizvodi EE u deo dana kada ona proizvodi EE. Upravo tako se postiže minimalna razmena EE sa DEES što donosi sve ranije opisane pogodnosti i za samog kupca-proizvođača, njegovog snabdevača, BOS ali i ODS.

Pored svega navedenog ugradnja skladišta, ili korišćenja baterije električnog vozila kao skladišta EE [5] može zameniti upravljanje potrošnjom tako što bi se EE skladištila u

periodima kada proizvodni objekat proizvodi EE i zatim koristila u periodima kada proizvodni objekat ne proizvodi EE. Najbolji rezultati bi se, naravno, dobili kombinacijom upravljanja potrošnjom i skladištenja EE.

8.3 Mogućnosti za povećanje fleksibilnosti ODS putem agregiranja proizvodnje i potrošnje EE

Ukoliko bi sva posmatrana domaćinstva (njih 233) koja se napajaju iz posmatrane TS bila članovi jedne agregirane grupe, potencijal za povećanje fleksibilnosti bio bi još značajniji. Na slici 8 prikazan je dijagram potrošnje svih 233 domaćinstava zajedno ukoliko bi svega 20% potrošnje u periodu od 18-21 č. bilo pomerenom na period od 08-16 č.



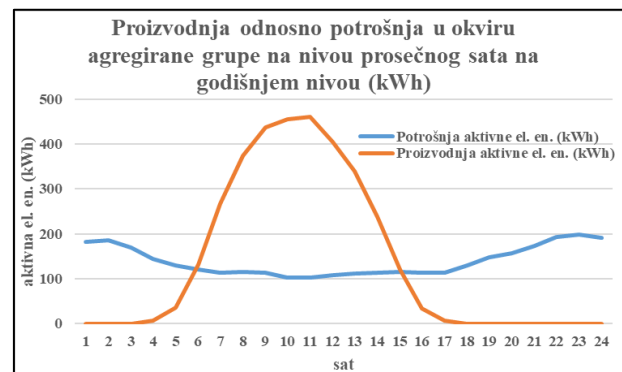
Slika 8. Prosečna satna potrošnja aktivne EE po mesecima 2022. godine na nivou TS sa upravljanjem potrošnjom (kWh)

Analizom dijagrama sa slike 8, i poređenjem njegovog oblika sa dijagramom na slici 5, može se zaključiti da i opisano minimalno upravljanje potrošnjom može doprineti uštedama krajnjih kupaca u slučaju izmene tarifnog sistema i dinamičkih cena EE kao i lakše planiranje rada BOS. Samim tim može doći i do smanjenja troškova balansiranja, odnosno povećanja prihoda za BOS i agregatore. Takođe i ODS može lakše upravljati DEES (uravnoteženiji dijagram potrošnje), a doći će i do manjeg opterećenja DEES u smislu smanjenja pikova, odnosno povećanja minimuma potrošnje.

Ukoliko bi neka od domaćinstava koja su članovi posmatrane agregirane grupe stekli status kupca-proizvođača ili ugradili skladišta električne energije (ili oba istovremeno) pozitivni efekti rada predmetnog agregatora bi bili vidljiviji, a njegovo poslovanje lakše i profitabilnije.

Navedeno bi bilo još uočljivije ukoliko bi u sklopu agregirane grupe bile npr. i solarne elektrane (jedna ili više njih) čija proizvodnja zadovoljava potrebe krajnjih kupaca članova agregirane grupe. Na slici 9 prikazan je dijagram prosečne satne potrošnje odnosno proizvodnje EE na godišnjem nivou u slučaju posmatranih 233 domaćinstava i solarne elektrane optimalne instalisane snage. U proračunima proizvodnje korišćen je programski paket PVGIS, [26]. Na slici 9 prikazana je proizvodnja odnosno potrošnja u okviru posmatrane agregirane grupe na nivou prosečnog sata na godišnjem nivou.

Ukoliko bi u okviru agregirane grupe bile i solarne i vetroelektrane i elektrane na biomasu, zbog prirode njihove proizvodnje, pozitivan uticaj na fleksibilnost ODS, BOS, snabdevače i agregatore bi bio još veći. Dodatni potencijal agregatora može biti i skladište EE u sklopu agregirane grupe. EE se može skladištiti u periodima niže cene EE i isporučivati iz skladišta u periodima više cene EE a takođe može i raditi u cilju smanjenja troškova balansiranja BOS, kao i u cilju povećanja fleksibilnosti ODS putem agregacije.



Slika 9. Proizvodnja odnosno potrošnja EE u okviru agregirane grupe na nivou prosečnog sata na godišnjem nivou (kWh)

8.4 Uticaj rada agregatora na članove agregirane grupe, druge učesnike na tržištu i ODS

Agregator može upravljati članovima agregirane grupe na način opisan u poglavlju 4. Na taj način, koji je prikazan na konkretnom primeru u okviru ovog poglavlja, agregator može ostvariti prihod na tržištu pomoćnih usluga [6], kao i smanjenje troškova debalansa BOS, jer se radom agregatora proizvodnja odnosno potrošnja agregirane grupe može lakše planirati ili realizacija prilagođavati planu. Članovi agregirane grupe mogu imati finansijske uštede, odnosno dodatni prihod, od nadoknade od strane agregatora u slučaju njegovog delovanja, kao i od prilagođavanja preuzimanja EE iz DEES u periodima nižih cena, odnosno isporuke EE u DEES u periodima viših cena EE u slučaju ugovora sa snabdevačem sa dinamičkim cenama [6], odnosno potrošnjom EE iz sopstvenog proizvodnog objekta u slučaju kupaca-proizvođača. ODS željenim dejstvom agregatora može povećati fleksibilnost, odnosno obezbediti više EE u DEES kada je nema dovoljno ili obezbediti veću potražnju za EE kada je u DEES ima više nego što je potrebno (primer dat u poglavlju 7). Navedeno olakšava upravljanje DEES, smanjuje ili odlaže potrebe za dodatnim investicijama u DEES i PEES, i dovodi do smanjenja gubitaka u DEES i PEES [27].

Svi opisani efekti bi bili još izraženiji u slučaju agregacije potrošnje krajnjih kupaca sa većom potrošnjom EE (npr. industrija) jer su veće mogućnosti za upravljanje potrošnjom i eksploataciju kapaciteta skladišta EE te bi i uticaj na fleksibilnost ODS bio značajniji, kao i finansijski efekti na krajnje kupce, snabdevače, BOS i agregatore jer cena EE za krajnje kupce koji nisu domaćinstva i mali kupci nije regulisana [1, 28] već je tržišna (slika 3) tj. značajno je viša. Efekti bi naravno bili značajni i ukoliko bi članovi agregirane grupe bila samo domaćinstva (kao u datom primeru), proizvođači EE iz obnovljivih izvora i skladišta, naročito imajući u vidu da je njihov veliki broj priključen na DEES. Ilustracije radi, na kraju 2021. godine, na DEES bilo je priključeno ukupno 3.307.538 mernih mesta tipa domaćinstvo, njima je isporučeno nešto više od polovine ukupne EE koja je isporučena korisnicima DEES [8].

Dodatnom povećanju fleksibilnosti ODS mogao bi doprineti agregator koji agregira proizvodnju i potrošnju koja je geografski grupisana npr. na nivou TS. Međutim, iako poželjno, to nije preduslov za funkcionisanje agregatora, te korisnici DEES nemaju nikakva ograničenja prilikom izbora agregatora.

Pored svega navedenog, agregatori svojim radom, koji je opisan u ovom radu, doprinose i smanjenju zagađenja životne sredine i tranziciji ka obnovljivim izvorima energije.

9. REGIONALNI PRIMER REGULARNOG OKVIRA ZA AGREGATORE

Do dana pisanja ovog rada države članice Evropske unije su u većoj ili manjoj meri preuzele odredbe Direktive o zajedničkim pravilima za unutrašnje tržište EE [6] u svoje zakonodavstvo, kojom se na osnovni način reguliše položaj

agregatora na tržištu EE Republika Srbija kao država kandidat za pristupanje Evropskoj uniji se nalazi u procesu usklađivanja svog zakonodavstva s „*acquis communautaire*“, te će stoga u budućnosti biti u obavezi da preuzme odredbe ove direktive u svoje zakonodavstvo. Republika Hrvatska kao država članica Evropske unije je implementirala ovu direktivu u svoje zakonodavstvo. Ona predstavlja državu sa sličnom pravnom tradicijom kao i Republika Srbija i elektroenergetski sistem (u daljem tekstu: EES) u ove dve države se decenijama razvijao na sličan način. Stoga će u susret detaljnijem regulisanju agregatora u Republici Srbiji ovaj rad predstaviti regulativu vezanu za agregatora u Republici Hrvatskoj.

Generalno se pitanjem agregatora u Republici Hrvatskoj bavi Zakon o tržištu EE (u daljem tekstu: Zakon o tržištu) [29] kao i drugi propisi kao što su Opći uveti za korištenje mreže i opskrbu EE [30], Pravila o promjeni opskrbljivača i agregatora [31] doneta od strane Hrvatske energetske regulatorne agencije (u daljem tekstu: HERA), kojima se uređuju uslovi i postupak promene snabdevača i/ili agregatora u pogledu snabdevanja EE, otkupa EE i agregiranja.

Agregator se u smislu Zakona o tržištu određuje kao učesnik na tržištu koji se bavi agregiranjem, nezavisni agregator je agregator koji nije povezan sa snabdevačem krajnjih kupca, odnosno nije povezani subjekt sa snabdevačem krajnjih kupaca, dok se pod agregiranjem smatra delatnost koju obavlja fizička ili pravna osoba koja može kombinovati snage i/ili iz mreže preuzete električne energije više kupaca, ili operatora skladišta energije, ili snage i/ili u mrežu predane električne energije više proizvođača ili aktivnih kupaca ili operatora skladišta energije, radi sudelovanja na bilo kojem tržištu električne energije. Dalje je u zakonu predviđeno da agregiranje predstavlja energetska delatnost [29].

U daljem tekstu ovaj zakon propisuje pravila za promenu i pravila o naknadama za promenu snabdevača i agregatora, kojima je predviđeno da se ova promena sprovede u najkraćem mogućem roku bez naknade, osim u slučaju kada korisnik sistema dobrovoljno raskine ugovor s agregatorom kojim je predviđeno obavezno trajanje i fiksne cene. Posebnim članom regulisana su pravila koja se odnose na ugovor o agregiranju, u kome je predviđeno i pravilo da snabdevači krajnje kupce s kojima imaju ugovor o snabdevanju ne smeju podvrgnuti diskriminatornim uslovima, zahtevima, postupcima i obavezanim dodatnim naknadama, na osnovu toga što imaju ugovor o agregiranju [29].

Članom 28 Zakona o tržištu određena su pravila za upravljanje potrošnjom putem agregiranja, kojima je predviđeno da krajnji kupac može samostalno ili putem agregiranja ravnopravno učestvovati na svim tržištima EE u skladu s pravilima koja uređuju pojedina tržišta EE, a da agregator može biti učesnik na svim tržištima EE u skladu s pravilima koja uređuju pojedina tržišta EE. Jasno je propisano da snabdevač ne sme svom krajnjem kupcu koji je zaključio ugovor s nezavisnim agregatorom naplatiti neopravdane troškove ili ugovorne kazne odnosno nametnuti druga neopravdana ugovorna ograničenja diskriminatornih, tehničkih, upravljačkih zahteva ili postupaka, kao i da krajnji kupac koji samostalno ili preko nezavisnog agregatora

učestvuje u upravljanju potrošnjom plaća naknadu svom snabdevaču koji je direktno pogođen aktiviranjem upravljanja potrošnjom. Određen je i karakter navedene naknade, pa je između ostalog predviđeno da je naknada strogo ograničena na pokrivanje troškova snabdevača kupca koji učestvuje u upravljanju potrošnjom putem agregiranja, troškova snabdevača kupca koji samostalno učestvuje u upravljanju potrošnjom ili troškova snabdevačeve BOS, a koji su im uzrokovani aktiviranjem upravljanja potrošnjom.

Navedeni sistem pravila u Republici Hrvatskoj stvara jasne i transparentne osnove za razvoj agregatora i povećanja njihovog broja i funkcionalnosti, što će doprineti ojačavanju pomoćnih sistema sistema za snabdevanje kao i DEES u Republici Hrvatskoj. Sa druge strane, i pored toga što u Republici Srbiji još uvek nije donet set podzakonskih propisa koji regulišu pitanja koja se odnose na agregatore, u stručnim krugovima je započeto sa razmatranjem njihovog značaja i uloge za EES, te bi predstavljanje propisa o agregiranju u Republici Hrvatskoj trebalo da kvalitativno doprinese ovim razmišljanjima. Zaokruživanje potrebne regulative bi trebalo da omogući rešavanje navedenih izazova i da u konačnici, između ostalog, omogući efikasniji rad DEES.

10. ZAKLJUČAK

U prethodnom vremenskom periodu značajan broj novih učesnika na tržištu EE unet je u zakonodavstvo Republike Srbije. Neki od njih su već postojali u praksi i obavljali svoju funkciju kao npr. punionice e-vozila, dok bi neki drugi kao što je agregator tek trebalo da zažive. Preduslov za to je zaokruživanje regulatorne celine kako bi svi učesnici u procesu mogli da imaju izvesnost o procedurama i standardima koji su potrebni kako bi agregatori koji posluju na tržištu Republike Srbije postali svakodnevnica.

Najviše koristi od razvoja agregatora pored samih proizvođača, potrošača i agregatora, trebalo bi da ima sam EES, kome bi agregatori pomagali u periodima visoke proizvodnje ili visoke potrošnje, tako što bi upravljanjem članovima svoje agregirane grupe pružali podršku stabilnom i efikasnom upravljanju EES. Stoga bi najveća podrška uvođenju ovog učesnika na tržištu EE upravo trebalo da budu ODS i OPS, kao potencijalno budući svakodnevni korisnici usluga agregatora.

Donošenje zakonske regulative koja se odnosi na agregatore predstavlja samo početak ka promovisanju prethodno navedenih pogodnosti za EES. Dalji razvoj regulative u ovoj oblasti trebalo bi da doprinese energetske efikasnijem korišćenju EE kroz propisivanje jasnih pravila koja će omogućiti da se minimizuju neefikasni oblici potrošnje kao i proizvodnje. Rešenja koja su prikazana u ovom radu, uključujući i regionalnu praksu, služe da se donosioci propisa upoznaju sa pojedinim aspektima tematike koja se odnosi na agregatore i da je koriste prilikom razmatranja sadržine budućih relevantnih akata. Takođe je rad namenjen i široj stručnoj javnosti koja ima interes da razume prirodu i značaj agregatora pre njegovog zaživljavanja u praksi.

LITERATURA

- [1] Zakon o energetici ("Sl. glasnik RS", br. 145/2014, 95/2018 - dr. zakon i 40/2021)
- [2] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije ("Službeni glasnik RS", br. 40/21)
- [3] Uredba o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanja i obaveza između kupca – proizvođača i snabdevača ("Službeni glasnik RS", br. 83/2021 od 27.8.2021. godine, 74/2022 od 01.07.2022.)
- [4] Dostupno na: <https://www.mre.gov.rs/lat/aktuelnosti/javni-pozivi/javni-poziv--za-dodelu-sredstava-za-finansiranje-programa-energetske-sanacije-porodicnih-kuca--solarni-paneli--koji-sprovode-jedinice-lokalne-samouprave-ka-i-gradske-opstine-jp-3-21>, [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [5] Kuzman M., Grujić D., "Punionice električnih vozila na tržištu Republike Srbije", CIRED 2022, Kopaonik
- [6] Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU ("Official Journal of the European Union", No. L 158/125).
- [7] HUPX Historical data, dostupno na: <https://hupx.hu/en/market-data/dam/historical-data>, [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [8] Energetski podaci 2021, Elektro distribucija Srbije d.o.o. Beograd, dostupno na: https://elektrodistribucija.rs/o-nama/informacije/dokumenta/GI_ODS_2021.pdf, [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [9] Odluka o utvrđivanju Metodologije za određivanje cena pristupa sistemu za distribuciju električne energije („Službeni glasnik RS“, broj 105/12)
- [10] SEEPEx tržišni podaci, dostupno na: <http://seepex-spot.rs/sr/market-data/day-ahead-auction>, [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [11] International Renewable Energy Agency, Aggregators Innovation Landscape Brief, str. 12, dostupno na: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Aggregators_2019.PDF, [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [12] Pravila o radu distributivnog sistema, jul 2017. Godine, dostupno na: http://aers.rs/FILES/AktiAERS/AERSDajeSaglasnost/2017-07-19_Pravila%20o%20radu%20ED-ODS%20EPS%20distr.pdf, [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [13] Pravila o radu prenosnog sistema, mart 2020. godine, dostupno na: <https://ems.rs/wp-content/uploads/2022/07/PRAVILA-O-RADU-PRENOSNOG-SISTEMA.pdf>, [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [14] Pravila o radu tržišta električne energije, novembar 2022. godine, dostupno na: <https://ems.rs/wp-content/uploads/2022/07/PRAVILA-O-RADU-PRENOSNOG-SISTEMA.pdf>

- [content/uploads/2022/12/Pravila-o-radu-trzista-elektrcn-1.pdf](#), [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [15] Naval N., Yusta J., „Virtual power plant models and electricity markets - A review“, Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 149, October 2021, 111393, dostupno na: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S136403212100678X?token=65B314150E74FF7E9307D6D02FEF118364DE7D599CDFE5979E2D60FC70A69285B5280C1FFEA6FF7A99A1E860F91F533F&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230407152242>, [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [16] Ma Z., Billanes J., Jørgensen B. N., „Aggregation Potentials for Buildings—Business Models of Demand Response and Virtual Power Plants“, Energies, October 2017, 10(10):1646; DOI: [10.3390/en10101646](https://doi.org/10.3390/en10101646)
- [17] Bahloul M., Breathnach L., Cotter J., Daoud M., Saif A., Khadem S., „Role of Aggregator in Coordinating Residential Virtual Power Plant in “StoreNet”: A Pilot Project Case Study“, IEEE Transactions On Sustainable Energy, Vol. 13, No. 4, October 2022, pp. 2148-215; DOI: [10.1109/TSTE.2022.3187217](https://doi.org/10.1109/TSTE.2022.3187217)
- [18] Vukovljak M., Janković M., „Novi učesnici na tržištu električne energije“, Cigre Srbija, Zlatibor, 2021.
- [19] Zajc M., Kolenc M., Suljanović N., „Virtual Power Plant Communication System Architecture“, Control, Communication, and Optimization of Smart Power Distribution Systems, 2019, pp. 231-250; DOI: [10.1016/B978-0-12-812154-2.00011-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812154-2.00011-0)
- [20] Izveštaj o radu Agencije za energetiku za 2020. godinu, dostupno na: <https://www.aers.rs/Files/Izvestaji/Godisnji/Izvestaj%20Agencije%202020.pdf>, [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [21] Kerscher S., Arboleya P. „The key role of aggregators in the energy transition under the latest European regulatory framework“, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 134, January 2022, 107361
- [22] Funkcionalni zahtevi i tehničke specifikacije AMI/MDM sistema, sveska 1, Tehničke specifikacije brojala električne energije i komunikacionih uređaja, verzija 4.0, Usvojeno na Stručnom savetu EPS Distribucije, Beograd, 07.02.2019. godine, dostupno na: https://elektrodistribucija.rs/interni_standardi/pravila/Specifikacija_verzija%204.0_Sveska_1_Usvojeno_na_TSS_EPSD_07022019_objaviti.pdf, [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [23] Registar kupaca-proizvođača, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, dostupno na: http://edbnabavke.edb.rs/registar_kupaca/DOMACI_NSTVA/DOMACINSTVA.pdf, http://edbnabavke.edb.rs/registar_kupaca/STAMBE_NA_ZAJEDNICA/STAMBENA_ZAJEDNICA.pdf, http://edbnabavke.edb.rs/registar_kupaca/OSTALI_KP/OSTALI_KP.pdf, [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [24] Grujić D., Kuzman M., „Modeli korišćenja električne energije kupaca-proizvođača“, Energija, ekonomija, ekologija, 2022, god. XXIV, br. 1, str. 8-16.
- [25] Grujić D., Đurišić Ž., „Uslovi razvoja projekta solarne elektrane u sklopu TS „Beograd 20“, CIGRE Srbija, Zlatibor 2015.
- [26] Climate online baze podataka, dostupno na: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [27] Rajaković N., Tasić D., „Distributivne i industrijske mreže“, Akademsko misao, Beograd 2008.
- [28] Odluka o regulisanoj ceni električne energije za garantovano snabdevanje sa primenom od 01. januara 2023. godine, <https://www.aers.rs/FILES/Odluke/OCenama/2023-01-01%20odluka%20EPS%20struja.pdf> [pristupljeno 07.04.2023. godine]
- [29] Zakon o tržištu električne energije ("Narodne novine", br. 111/21)
- [30] Opći uvjeti za korišćenje mreže i opskrbu električnom energijom ("Narodne novine", br. 104/20).
- [31] Pravila o promjeni opskrbljivača i agregatora ("Narodne novine", br. 84/2022)

BIOGRAFIJE



Dunja Grujić je završila osnovne i master studije na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, gde je trenutno student doktorskih studija na modulu Elektroenergetske mreže i sistemi. Trenutno je zaposlena u Elektrodistribuciji Srbije na poziciji višeg analitičara za poslovne procese za podršku tržištu i smanjenje gubitaka. Aktivno učestvuje u radu radnih grupa Energetske zajednice, kao i na izradi zakonskih i podzakonskih akata iz oblasti energetike. Objavila je više naučnih radova na temu integracije obnovljivih izvora energije, kao i tržišta električne energije.



Miloš Kuzman je konsultant za pravo energetike sa značajnim iskustvom u oblasti pravne podrške istraživanja i proizvodnje nafte i gasa. Specijalizovan je u oblasti energetskog, komercijalnog, bankarskog i finansijskog prava a iskustva je između ostalog sticao i na master studijama na Institute for Law and Finance u Frankfurtu na Majni i Columbia Law School u Njujorku. Trenutno je na poziciji višeg savetnika za istraživanje i proizvodnju nafte i gasa u Naftnoj Industriji Srbije, student je doktorskih studija iz oblasti prava energetike i potpredsednik je Udruženja za pravo energetike Srbije.

UDC: 621.131.1:502.131.1(497.11)
620.9:339.13(497.11)

Dunja S. Grujić¹, Miloš M. Kuzman²

The Role of Aggregators in the Electricity Market Development



¹ Elektro distribucija Srbije d.o.o. Beograd, Belgrade, Republic of Serbia*

² Serbian Energy Law Association, Belgrade, Republic of Serbia

Category of article: Review article

Highlights

- Aggregators as a new market participant
- A significant factor of green transaction - aggregator
- Efficient optimization of electricity production and consumption
- Impact on the flexibility of the power system

Abstract

In recent years, there has been an accelerated transition of the distribution power system from predominantly passive to active, primarily due to a rise in the number of electricity producers from renewable sources connected to the distribution system. In addition, amendments to the Law on Energy determined new users of the distribution system, including prosumers and electricity storage operators, whose mass connection to the distribution system is expected in the coming period. Aggregator has been recognized as an important new market participant, providing a service for the merging of electricity production and consumption in order to further sell, purchase or auction in the electricity market.

In this work, possible business models of aggregators, existing legal regulations and preconditions needed for their functioning on the market of the Republic of Serbia, shall be analyzed. Also, good international practices in this area will be presented in the work. In addition, efficient ways of merging the production and consumption of electricity, including final customers and producers, by aggregators, will be discussed.

The impact of the aggregators on the operations of the distribution system operator will be discussed, with a number of challenges ahead. Some of these challenges are related to system management and changes in power flows due to the connection of a significant number of new system users. At the end of the paper, an example will be presented that illustrates the possibility of aggregator acting in order to increase the flexibility of the power system.

Keywords

**Aggregators, Managing Electricity Production and Consumption,
Energy Efficiency, Renewable Electricity Sources**

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Models of the Functioning of Aggregators in the Electricity Market", awarded by EC-6 Electricity market and deregulation at the 13th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 12-16, 2022

Received: April 7th, 2023 Reviewed: May 22nd, 2023

Modified: May 26th, 2023 Accepted: May 27th, 2023

*Corresponding author: Dunja S. Grujić

Phone: +381-64-897-46-59 E - mail: dunja.grujic@ods.rs

Vladimir M. Šiljkut¹, Nikola Georgijević², Saša Milić³,
Aleksandar Latinović¹, Dušan Vlasisavljević², Radoš Čabarkapa¹



Agregacija kompozitne virtuelne elektrane – mogućnosti i ograničenja za primenu u Srbiji

¹ Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije“, Beograd, Srbija*

² Elektroenergetski koordinacioni centar, Beograd, Srbija

³ Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd, Srbija

Kategorija rada: Pregledni članak

Ključne poruke

- Dat detaljni prikaz literature o virtuelnim elektranama, pregled koncepata i konkretnih rešenja
- Sagledani izvori energije, načini agregacije i tehnički potencijal za uspostavljanje virtuelne elektrane
- Predložen koncept kompozitne virtuelne elektrane, procenjeni troškovi, koristi, zakonska ograničenja

Kratak sadržaj

Elektroenergetski sektor Srbije se sve više suočava s izazovima budućnosti. Većina proizvodnje električne energije zasniva se na niskokaloričnom lignitu. Njegov sve lošiji kvalitet uzrokuje pad nivoa sigurnosti, pouzdanosti i efikasnosti termoelektrana, uz povećanje zagađenja. Osim značajnih sredstava namenjenih njihovoj revitalizaciji, velika su ulaganja u nove, skupe sisteme za smanjenje emisija štetnih materija. Uz najavljene ugljenične takse, čiji se rast očekuje u budućnosti, isplativost ovih izvora i tržišna konkurentnost cene električne energije dobijene iz njih, postaju krajnje upitni i neizvesni. U procesu neminovne dekarbonizacije, postavlja se i strateško pitanje pred srpske eksperte – čime nadomestiti znatne bazne (termo)kapacitete, koji će verovatno biti ugašeni?

Na drugom kraju sistema, problem predstavljaju neefikasno korišćenje električne energije, neprihvatljivo visok nivo njenih gubitaka, uključujući i one usled njenog neovlašćenog korišćenja. Pri tome, ni iz bliza nisu iskorišćene tehničke mogućnosti za upravljanje opterećenjem niti za primenu većeg broja tarifnih stavova, radi željenog odziva potrošnje.

U takvim okolnostima, ključno je pitanje – kakvu strategiju investiranja treba odabrati? Ovaj rad predlaže rešenje koje bi imalo pozitivan uticaj na oba kraja sistema i njegove aktere, ali i na mreže između njih i njihove operatore. „Elektroprivreda Srbije“ bi mogla da iskoristi najavljeno uvođenje agregatora, kao novog učesnika na tržištu električne energije, za svojevrsni zajednički poduhvat sa krajnjim korisnicima, za uspostavljanje kompozitne virtuelne elektrane. Ona bi za elektroprivredu predstavljala novi, zamenski kapacitet, a za kupce izvor ušteda i potencijalnog prihoda. Ovakva elektrana bi obuhvatila različite, dispergovane obnovljive izvore, kako električne energije, tako i toplotne, sisteme za skladištenje energije, punjače za električna vozila, upravljivo opterećenje kupaca i različite programe za odziv potrošnje. Povećanjem obima ovakve agregacije, kompozitna virtuelna elektrana bi agregatoru takođe omogućila pružanje pomoćnih sistemskih usluga operatoru prenosnog sistema, što bi predstavljalo dodatni benefit. U sinergiji s drugim neophodnim, strateškim koracima, predloženi koncept bi Srbiji mogao da obezbedi sigurniju energetska budućnost.

Ključne reči

Agregacija, dekarbonizacija, distribuirana proizvodnja, pomoćne usluge, odziv potrošnje, upravljanje opterećenjem, virtuelna elektrana

Napomena:

Članak predstavlja proširenu, unapređenu i dodatno recenziranu verziju rada „Agregacija kompozitne virtuelne elektrane – jedan od mogućih odgovora na izazove za elektroenergetski sistem Srbije u procesu dekarbonizacije“, nagrađenog u Stručnoj komisiji STK-5 Planiranje distributivnih sistema na 13. Savetovanju CIRED Srbija, Kopaonik, 12-16. septembra 2022.

Primitljeno: 7. april 2023. Recenzirano: 9. maj 2023.

Izmenjeno: 16. maj 2023. Odobreno: 25. maj 2023.

*Korespondirajući autor: Vladimir M. Šiljkut

Tel. +381-64-897-46-72 E - mail: vladimir.siljkut@eps.rs

1. UVOD

1.1 Kontekst problematike elektroenergetike u Srbiji

Izuzev funkcionalnog i organizacionog razdvajanja kom je bio izložen u prethodnom periodu tokom procesa deregulacije, a čijim se efektima još prilagođava, kompletan elektroenergetski sektor Srbije sve više se suočava sa novim, pretećim izazovima koje donosi budućnost. Primaran problem predstavlja višedecenijsko većinsko oslanjanje na lignit kao primarno gorivo za proizvodnju električne energije. Njegov kvalitet (kalorijska vrednost) je poslednjih godina zabeležio značajan pad, a i raspoložive količine su sve više upitne. Posledice su višestruke – od pada nivoa sigurnosti, pouzdanosti rada i efikasnosti termoelektrana, preko dodatnog habanja opreme, do povećanja zagađenja vazduha. Termoelektrane (TE) su izuzetno stare pa zahtevaju ogromna ulaganja, ne samo u revitalizacije, nego i izgradnju novih i skupih (investiciono, ali i eksploataciono) pratećih sistema u funkciji zaštite životne sredine. Kad se tim troškovima dodaju i najavljene ugljenične takse koje će rapidno rasti u budućnosti, isplativost ovih izvora i tržišna konkurentnost cene električne energije dobijene iz njih, postaju krajnje neizvesni. U uslovima neminovne dekarbonizacije se, u slučaju Srbije, postavlja i pitanje – čime nadomestiti bazne (termo)kapacitete, kojima, iz jednog ili drugog razloga, preči gašenje?

Obnovljivi izvori energije (engl. *Renewable Energy Sources*, RES) na prenosnom sistemu nadomestiće deo električne energije nakon povlačenja termokapaciteta. Značajna integracija varijabilnih RES (*Variable RES*, V-RES) usloviće nove probleme. V-RES imaju niži stepen iskorišćenja kapaciteta u odnosu na TE na ugalj. Da bi se nadomestila energija koju u toku jedne godine isporuči jedna TE na ugalj, neophodno je izgraditi RES značajno veće instalisane snage, što može dovesti do zagušenja u postojećoj prenosnoj mreži ili može ograničiti priključenje novih RES. Takođe, integracija V-RES usloviće povećanje neophodne balansne rezerve za balansiranje sistema u realnom vremenu, a problem će postati i bilansiranje sistema, odnosno neusklađenost proizvodnje i potrošnje na dužem, sezonskom nivou.

Na drugom kraju sistema, ne manji problem predstavlja neefikasno korišćenje električne energije, neprihvatljivo visok nivo njenih gubitaka, uključujući i gubitke usled njenog neovlašćenog korišćenja. Pri tome, ni iz bliza nisu iskorišćene, već sada raspoložive, tehničke mogućnosti za upravljanje opterećenjem ili korišćenje eventualno većeg broja tarifnih stavova, u cilju željenog odziva potrošnje. Nadasve, interesi snabdevača i operatora distributivnog i prenosnog sistema ne moraju biti podudarni, [1]; prvi teži da proda što veću količinu električne energije, sa što većom zaradom, a drugi da sistem održi stabilnim, tj. da njegovi elementi ne budu preopterećeni.

U takvim okolnostima, pred dugoročne planere i kreatore razvoja elektroenergetskog sistema (EES), kao celine, postavlja se pitanje – u kom pravcu treba ići, kakvu strategiju investiranja treba odabrati?

Ovaj rad predlaže, kao temu za razmatranje, rešenje koje bi imalo pozitivan uticaj, kako na tehnički aspekt sistema (i to na oba njegova kraja), tako i na njegove aktere, ali i na mreže između njih i njihove operatore. Umesto ogromnih investicija u termosektor upitne perspektivnosti i isplativosti, Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije“ (EPS) bi moglo da iskoristi najavljeno uvođenje agregatora, kao novog učesnika na tržištu električne energije, [2], za svojevrsni zajednički poduhvat sa svojim krajnjim korisnicima – kupcima električne energije, za uspostavljanje multienergetske, kompozitne (tj. kolaborativne, kooperativne) virtualne elektrane, [3]-[5]. Ona bi za EPS faktički predstavljala novi, zamenski kapacitet, a za kupce izvor ušteda i potencijalnih prihoda. Ovakva elektrana bi obuhvatila različite, dispergovane, upravljive i neupravljive, obnovljive izvore, i to ne samo električne, već i toplotne energije (npr. solarne kolektore za zagrevanje vode), sisteme za skladištenje energije, punjače za električna vozila, upravljivo opterećenje kupaca (termo-akumulacione peći, električne bojlere i kotlove) i različite programe za odziv potrošnje. Povećanjem obima ovakve agregacije – svojevrsnim „povećanjem kapaciteta“ i svoje fleksibilnosti – kompozitna virtualna elektrana bi EPS-u kao Agregatoru stvorila dodatnu mogućnost za pružanje pomoćnih sistemskih usluga operatoru prenosnog sistema, poput učešća u regulaciji frekvencije, kao i pružanje usluga operatoru distributivnog sistema, što bi u odgovarajućem regulatornom okviru predstavljalo još jedan izvor prihoda za EPS. U sinergiji s drugim potrebnim koracima, kao što je jače oslanjanje na hidropotencijale, ovakav koncept bi Srbiji mogao da obezbedi sigurniju energetska budućnost.

1.2 Virtualne elektrane - pregled literature i iskustava

1.2.1 Definicije i funkcije virtualne elektrane. U svetu, osnovni motiv za nastanak i razvoj koncepta virtualne elektrane predstavlja sve veći udeo V-RES. Naime, zbog svoje neizvesne i isprekidane (tj. varijabilne) prirode, obnovljivi izvori energije kakvi su sunce i vetar, mogu izazvati probleme u radu elektroenergetskog sistema, kao što su oni sa balansiranjem i bilansiranjem sistema, kvalitetom električne energije, efikasnošću, stabilnošću i pouzdanošću. Koncept virtualne elektrane, (engl. *Virtual Power Plant*, VPP) osmišljen je kako bi se olakšala integracija V-RES, bez ugrožavanja stabilnosti i pouzdanosti rada sistema, uz nuđenje mnogih drugih tehno-ekonomskih benefita. Šta je, zapravo, virtualna elektrana? U [6] ona je definisana kao „koncept koji objedinjuje jednu raznolikost distribuiranih izvora električne energije, upravljivog opterećenja i skladišta električne energije, radi učešća u dispečingu i upravljanju tržištem električne energije i radom mreže, u vidu još jedne, specijalne elektrane.“ Druga definicija kaže da je „VPP struktura ICT (informaciono-komunikacione tehnologije – *prim. aut.*) koja integriše različite vrste distribuiranih izvora energije, fleksibilnih potrošača i skladišta energije, međusobno i sa drugim tržišnim segmentima, u realnom vremenu, putem inteligentne (smart) mreže“, [3]. U [7] se koristi naziv „novi

teleinformatički sistem koji omogućava upravljanje energetskim resursima.“ Tako VPPs obavljaju zadatak fleksibilnog upravljanja konsolidacijom V-RES, efektivnim skladištenjem i distribucijom električne energije, u promenljivim razmerama kada je to potrebno.

Brojna su istraživanja i modelovanja beskrajnih mogućnosti napajanja pametnih gradova pomoću tehnologije VPP i uopšte, mogućnosti očuvanja ekosistema životne sredine i očuvanja tj. štednje energije koje se time postižu. „Pametni gradovi“ predstavljaju model budućeg gradskog planiranja i urbanog razvoja, integrišući ICT rešenja, kao i mehanizme za očuvanje energije i borbu protiv klimatskih promena sa osnovnom tehnologijom poznatom kao internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT). Budući da je bazirana na ICT i (najčešće) na IoT, VPP je najefikasnije sredstvo distribucije energije za pametne gradove, [8].

1.2.2 Korisnici, nosioci i načini agregacije. Postavlja se i pitanje ko može da razvija i primenjuje koncept VPP i u kakvim okolnostima? Koncept VPP mogu da razvijaju mnoge vrste entiteta / energetskih subjekata, npr. operatori distributivnih sistema, proizvođači električne energije, energetski klasteri, [7]. Postoji mnogo rešenja zbog veoma širokog spektra mogućih primena, a mogućnost izgradnje sistema zasnovanog na modulima omogućava da se on prilagodi potrebama korisnika, lakše menja i integriše u veće sisteme. Donose se propisi i primenjuju koncepti koji omogućavaju razvoj obnovljivih izvora energije, uključujući kupce-proizvođače i tzv. aktivne kupce, i omogućavaju aktivno učešće potrošača energije na tržištu energije. Pored toga, uvode se stroži zahtevi za balansiranje proizvodnje i potrošnje energije, što zahteva veću tačnost balansiranja, [7]. U nastavku ćemo dati pregled različitih rešenja koja se mogu naći u relevantnoj literaturi.

Lit. [9] prikazuje strukture, tipove, arhitekturu i rad VPP, kao i stanje njihove primene širom sveta. Tipovi VPP su dati detaljno, s optimizacionim algoritmima koji se koriste za svaki od njih. VPP je povezana sa većinom komponenti elektroenergetskog sistema, kao što su distribuirana proizvodnja (*Distributed Generation*, DG), aktivni kupci-proizvođači (*prosumers*), operatori prenosnih (*Transmission System Operator*, TSO) i distributivnih sistema (*Distribution System Operator*, DSO), mrežne usluge poput eliminacije kvarova, upravljanje reaktivnom snagom, sve to uz pomoć tehnologija komunikacija, upravljanja i optimizacije. Članak daje jedan sveobuhvatni uvid u transformaciju mikromreže u VPP koji može biti od koristi istraživačima, potrošačima, kupcima-proizvođačima i operatorima sistema. Suština pristupa u [9] je da mikromreža sa optimizacijom, sposobnošću komunikacije i uz primenu metoda veštačke inteligencije, postaje VPP. Automatizacija mikromreže se podrazumeva, kao preduslov za upravljivost proizvodnje i potrošnje i optimizaciju troškova njenog rada.

Rad [10] navodi koncepte VPP iz studijâ raznih istraživača i daje detaljna objašnjenja. Predstavljani su i neki tipični projekti VPP širom sveta. Pored toga, izloženi su i neki potencijalni izazovi i saveti za budući razvoj u studijama o VPP. Raspoznata su tri tipa korisnika VPP: samostalni (*Standalone*), kupac energije (*Energy buying*) i prodavac (*Energy selling*). Nezavisni operator sistema

(*Independent Power System Operator*, IPSO) je ključni, „vezni“ igrač između spoljašnjeg tržišta, sa kojim razmenjuje podatke o prognozi opterećenja i tržišnim informacijama, i centra odlučivanja, kome ispostavlja cenovnu strategiju i od koga dobija rezultate aktivnosti.

1.2.3 Arhitektura, koncepti i modeli VPP. U [11] su predstavljeni koncept i eksperimentalni rezultati mikromreže pod nazivom Okružna elektrana (*District Power Plant*), dizajnirane da radi kao aktivni element u lokalnoj distributivnoj mreži, sposoban da pruži usluge kao što su odziv potrošnje (*Demand Response*, DR), aktivno napajanje i napredno merenje. Prikazan je stabilan rad ovakvog sistema u ostrvskom režimu i režimu ponovnog povezivanja, kao i dobar kvalitet energije i u povezanom i u ostrvskom režimu.

Rad [12] predlaže novi sistem gradske VPP, koji integriše distribuirane proizvodne jedinice, sisteme za skladištenje energije i upravljivo opterećenje. Koristi napredne tehnologije za komunikaciju i koordinisano upravljanje kako bi realizovao sveukupnu regulaciju i upravljanje različitim vrstama distribuirane energije i opterećenja. Time su ublaženi izazovi nastali usled velikog udela nasumične i promenljive distribuirane proizvodnje na rad elektroenergetske mreže i dispečing, i smanjena neravnoteža između ponude i potražnje. U radu je ilustrovana predložena arhitektura sistema gradske VPP i prikazani njeni resursi na strani korisnika.

Efikasno upravljanje i dispečing takođe su predmet rada [6]. U cilju efikasnog dispečinga i upravljanja velikim brojem resursa za odziv potrošnje (poput termički upravljivih kapaciteta opterećenja), ovaj rad proučava sistem upravljanja energetskom efikasnošću na bazi koncepta zasnovanog na tehnologiji odziva potrošnje i teoriji VPP i efikasno koristi sistem upravljanja temperaturom. Prikupljanjem i kontrolom parametara snage resursa za upravljanje opterećenjem, potpunim iskorištavanjem potencijala za smanjenje opterećenja na strani potrošnje, postiže se odgovarajuće pomeranje vršnog električnog opterećenja, pogodno za ublažavanje neusaglašenosti između napajanja (proizvodnje električne energije) i potražnje i za obezbeđivanje bezbednog i stabilnog rada elektroenergetske mreže.

VPP i komponente „smart“ energije, mreža, sistema i gradova prikazane su i povezane u članku [13]. Prikazana je VPP i odgovarajuće komponente „pametne“ mreže koje je sačinjavaju. Prikazana je struktura „pametne“ energije, koju sačinjavaju podgrupe niskouglenične proizvodnje, efikasne distribucije i optimizovanje potrošnje električne energije.

Jedna platforma za integraciju različitih tipova distribuiranih izvora energije (*Distributed Energy Resources*, DER) prikazana je u istraživanju [14]. Za planiranje i izgradnju ove platforme bili su neophodni različiti domeni znanja – telekomunikacije, elektrotehnika, mehanika, automatizacija, informatika, arhitektura, sociologija. Ključno je bilo definisanje obima projekta, usaglašavanje specifikacija i zajedničkog razumevanja među partnerima (uključujući izvođače i podizvođače), kao i definisanje zajedničkog jezika za efikasnu saradnju. Osim toga, istaknuto je da korisnici-domaćini moraju biti informisani što je više moguće tokom faze instalacije i povezani sa projektom tokom njegove operativne faze. Oni

takođe žele da razumeju svrhu intervencija i da budu svesni kada instalirani uređaji rade. Naglašena je kritičnost integracije različitih tehnologija i standarda: autorizacija http-klijenta, SSL sertifikata, web servisa, zajedničkih informacionih modela (*Common Information Models*, CIM), pametnih energetskih profila (*Smart Energy Profiles*, SEM) i dr. Pod platformom jednog tako integrisanog centra upravljanja, kome je nadređen Agregator, moguće je objediniti različite korisnike i njihove uređaje i dispergovane izvore; rezidencijalne (termička skladišta i toplotne pumpe, fotonaponske panele, baterije za skladištenje viškova električne energije, upravljanje opterećenjem), podesivo javno osvetljenje, industrijske korisnike (proizvodnju iz toplotnih solarnih kolektora, hladnjače), stanovanje i poslovne prostore (solarna termalna skladišta, upravljanje opterećenjem), [14].

Uveden je i pojam energetskog tržišta stvari (*Energy Market of Things*, EMoT), [15]. Za trgovce energijom pojava DER je istorijska prilika koja može doneti brojne prednosti, npr. mogućnost da se otvori obilna ponuda fleksibilnosti na strani snabdevanja na niskom i srednjem naponu, koja se sastoji od energetskih zajednica, pa čak i malih farmi PV panela i baterija. Neophodan je pristup podacima iza brojala koji se mogu koristiti za fino podešavanje algoritama trgovanja i predviđanja. Uređaji, od toplotnih pumpi do punjača električnih vozila (*Electrical Vehicles*, EV), DER i elektroenergetskih objekata i opreme, sada mogu prikupljati i razmenjivati podatke (tj. komunicirati) i biti povezani sa bilo kojom vrstom tržišta električne energije.

EMoT omogućava umrežavanje fizičkih uređaja koji su u vezi sa električnom energijom, za mali obim njene proizvodnje, skladištenje i fleksibilnu potrošnju električne energije, [15]. Ove „stvari“ imaju ugrađene senzore, raspolazu softverom i drugim tehnologijama u svrhu povezivanja i razmene podataka sa drugim uređajima i bilo kojom vrstom tržišta električne energije – bilo da su to lokalna tržišta fleksibilnosti, platforme za balansiranje energije ili klasične berze kao što su EPEX SPOT, Nord Pool i HUPX. Ovi uređaji variraju od običnih predmeta na nivou domaćinstva do velikih komercijalnih ili industrijskih uređaja.

1.2.4 VPP kao mreža ili sistem saradnje. U lit. [3] VPP je prikazana kao mreža saradnje. Tu je istaknuto da je VPP jedan od tipova virtuelnih organizacija, ali da su definicije VPP prvenstveno usmerene na njen tehnički aspekt i da se nedovoljno pažnje poklanja aspektu upravljanja i, posebno, poslovnom modelu. Stoga je u [3] predstavljena pravna pozadina za uspostavljanje VPP, kao i pravne mogućnosti i pretnje za stvaranje VPP u Poljskoj. Naglašeno je da je pravna analiza polazna osnova za svaki praktični projekat. Prikazani su zakonski propisi koji se odnose na kupce-proizvođače i podržavanje energetskih mikroklastera. Ova pitanja zahtevaju stvaranje novih proizvoda, npr. VPP. Zatim je napravljen pregled poslovnih modela kako bi se izabrao adekvatan model, [3]. Raspoznata su uglavnom tri tipa modela; prvi je uglavnom karakteristika odnosa između kupaca, klijenata, partnera i dobavljača; drugi naglašava značaj resursa kompanije, koji se mogu proširiti i koristiti, i potencijalnih izvora budućih ekonomskih koristi; treći predstavlja kombinaciju prva dva i kombinuje

ključne resurse i ključne odnose koji su važni za VPP (ovo odgovara sistemskom pristupu). Na osnovu odabranog modela strukturira se VPP kao mreža saradnje između različitih vrsta energetskih subjekata. Pri tome, segmentacija mogućih korisnika VPP vrši se po dva kriterijuma – prema vrsti tržišta i prema vrsti proizvoda, [3].

Trend konvergencije VPP ka kolaborativnim mrežama potvrđen je i u [4,5]. Tu se, naime, tvrdi da po svom sastavu, VPP formira neku vrstu kolaborativnog poslovnog ekosistema sa visokim stepenom interakcije i međuzavisnosti među zainteresovanim stranama. Istraživanje [4,5] je fokusirano na analizu trendova i identifikaciju oblasti konvergencije između discipline kolaborativnih mreža (*Collaborative Network*, CN) i koncepta VPP, kao i razvoja, koristeći predznanje iz domena CN. Rezultati su pokazali da se u okviru VPP formiraju različiti strateški i dinamični saradnički savezi, poput mreža orijentisanih ka cilju, okruženja za razmnožavanje virtuelnih organizacija (*Virtual Organizations Breeding Environment*, VBE), mreža vođenih korišćenjem mogućnosti i mreža vođenih kontinuiranom proizvodnjom. Različiti osnovni funkcionalni principi VPP su slični onima kod CN: stvaranje, rad i raspuštanje virtuelne organizacije, pregovori, brokerske usluge, VBE administratorske usluge, usluge planera i koordinatora virtuelne organizacije, i procesi traženja i odabira partnera, [4,5]. Učešće DER na energetskom tržištu se, naravno, obezbeđuje kroz agregaciju VPP, [4]. Ona obuhvata više zainteresovanih strana: tržišta/kupce, operatore distributivnih usluga, DER/kupce-proizvođače/upravljače kupcima-proizvođačima, sisteme upravljanja energijom, provajdere usluga, energetske zajednice i energetske kooperacije, regulatorna tela, [4].

Autori [4,5] su nadalje, u [16], razvili i razmatrali pojam ekosistema kolaborativne virtuelne elektrane (*Colaborative/Cooperative/Composite VPP Ecosystem*, CVPP-E). On doprinosi efikasnoj organizaciji obnovljivih energetskih zajednica (*Renewable Energy Communities*, REC) na način da one mogu delovati kao VPP ili ispoljavati njene atribute. Ovaj koncept je izveden spajanjem ili integracijom principa organizacionih struktura i mehanizama iz domena CN u oblast VPP. Očekuje se da, ukoliko se akteri u REC angažuju u saradničkim akcijama, to omogući da REC obavlja funkcije koje su slične VPP. Konceptualno, CVPP-E se sastoji od menadžerske zajednice, zajedničkog sistema za skladištenje energije u zajednici, potrošača koji poseduju kombinaciju fotonaponskih i sistema baterijskih skladišta i pasivnih potrošača, koji su svi povezani na energetsku mrežu. Ključni atribut ovog predloženog ekosistema je da se članovi angažuju u kolektivnim akcijama ili saradničkim poduhvatima koji se zasnivaju na zajedničkom cilju, usmerenom na postizanje održive proizvodnje energije, potrošnje i prodaje. U studiji [16] predstavljen je model visokog nivoa za aspekte saradnje u CVPP-E. Ovo uključuje okvir kompatibilnih (zajedničkih) ciljeva, okvir za deljenje i okvir kolektivnih akcija. Ovi okviri služe kao okosnica CVPP-E i igraju vitalnu ulogu u modeliranju CVPP-E. Za procenu predloženog modela, u [16] su korišćeni različiti scenariji simulacije.

1.2.5 Komponente VPP i optimizacioni modeli. Veoma su raznovrsne komponente koje mogu biti obuhvaćene konceptom kompozitne VPP, CVPP. U [17] je razmatrano balansiranje flote vetrogeneratora portfoliom fleksibilnih sredstava – elektranama na biogas i kondenzatorskim baterijama. Prvobitna namena elektrana na biogas koje su razmatrane u VPP bila je zarada na berzi, pre svega na tržištu dan unapred. Kada ova sredstva postanu deo VPP, njihov zadatak se menja tako da on postaje maksimiziranje profita od prodaje električne energije uz obezbeđivanje balansiranja flote vetrogeneratora, što takođe rezultira učešćem na unutardnevnom tržištu. Ovaj zadatak je izazovan u smislu metoda optimizacije i predviđanja cena. U [17] se razmatraju dva aspekta: optimizacija i prognoza cena. Prva je mešovita celobrojna optimizacija i razvijene su sofisticirane metode dekompozicije. Za prognozu cena sprovodi se nekoliko metoda predviđanja zasnovanih na mašinskom učenju (*Machine Learning*, ML), sa ciljem da se maksimizira rezultujući kumulativni prihod. Takođe se koriste komercijalna predviđanja i metoda iz [17] se pokazala konkurentna ovim predviđanjima u smislu rezultujućeg kumulativnog prihoda. Takođe je posebna pažnja posvećena robusnosti VPP da rukuje velikim količinama sredstava koje obuhvata. Osim toga, prediktivna kontrola robusnog modela (*Robust Model Predictive Control*, RPMC) koristi se za uzimanje u obzir mnogih scenarija tokom donošenja odluka.

Mogućnosti koncepta CVPP se ne ograničavaju samo na povećanje fleksibilnosti sistema kombinovanjem različitih, kompatibilnih izvora energije. Tako je u [18], osim promovisanja multienergetske komplementarnosti, u cilju niske karbonizacije predložen optimalni model planiranja rada jedne VPP sa hvatanjem ugljenika i spaljivanjem otpada, uzimajući u obzir koordinaciju električne energije i gasa. Uvođenjem kolaborativnog okvira za korišćenje sistema gasnog postrojenja za hvatanje ugljenika – “električna energija u gas” (*power-to-gas*, P2G), uhvaćeni CO₂ može se koristiti kao sirovina za P2G, za proizvodnju prirodnog gasa koji se isporučuje gasnoj jedinici. Pored toga, potrošnja energije za hvatanje ugljenika i tretman dimnih gasova može se preneti putem zajedničkog dispečinga kako bi se ublažile fluktuacije izlazne snage iz V-RES, tako da električna energija dobijena iz vetra i fotonaponskih panela može biti indirektno dispečabilna i fleksibilno iskorišćena. S obzirom na visoku dimenzionalnu nelinearnost predloženog modela optimizacije i poteškoće u njegovom rešavanju, novi Gausov složeni diferencijalni evolucioni algoritam je dizajniran u [18] da bi rešio ovaj model. Rezultati simulacije pokazuju da predloženi model i metoda mogu da obezbede kapacitet pomeranja vršnog opterećenja i da poboljšaju potrošnju obnovljive energije, efektivno smanjujući cenu i emisiju ugljenika iz VPP.

Da bi se rešio veliki broj diskretnih klastera različitih distribuiranih energetske resursa u ruralnim područjima, u [19] je trgovac električnom energijom (*Electricity Retailer*, ER) postavljen kao agent ovih klastera putem VPP, odnosno prodavac električne energije (ER) je integrisan sa virtuelnom elektranom (VPP-ER). Zatim se u [19] raspravlja o kolaborativnom režimu transakcija “električna energija-ugljenik” i optimalnom modelu transakcije kupovine-prodaje, na dva nivoa. Model višeg nivoa

primenjuje metod uslovne vrednosti pod rizikom (*Conditional Value-at-Risk*, CVaR) za uspostavljanje modela koordinisane transakcije “električna energija-ugljenik” za ruralni VPP-ER. Model nižeg nivoa primenjuje teoriju robusne optimizacije za merenje rizika neizvesnosti izlazne snage vetroelektrane (VE) ili solarne PV elektrane, da bi uspostavio optimalni model dispečinga za VPP. Treće, model se pretvara u uslove optimalnosti *Karush–Kuhn–Tucker* (KKT) da bi se rešio dvostepeni model transakcije kupovine-prodaje. Na primeru jednog industrijskog klastera (*Henan Lankao*), rezultati pokazuju, između ostalog, da predloženi dvostepeni model može uspostaviti koordinisanu optimalnu šemu trgovanja električnom energijom i ugljenikom. Zaključak studije [19] je da bi njeni nalazi mogli da obezbede efikasan alat za donošenje odluka za ruralni VPP-ER na kineskom tržištu električne energije.

Učešće elektroprivrede u trgovini ugljenikom i zelenim sertifikatima je efikasan pristup, zasnovan na tržištu, za rešavanje negativnih eksternih efekata proizvodnje električne energije. U tom pogledu se i VPP pokazuje kao efikasno sredstvo. Tako je u [20] VPP uzeta kao agregator za koordinaciju i optimizaciju trgovine ugljenikom i zelenim sertifikatima između kupca električne energije i krajnje prodaje električne energije, kako bi se postigao cilj maksimiziranja sveobuhvatne koristi od VPP. Prvo, analizira se način rada VPP koji agregira različite vrste distribuirane energije i različite korisnike koji učestvuju na tržištu zelenih sertifikata i tržištu emisija ugljenika. Drugo, konstruisan je dvostepeni kolaborativni optimizacioni model VPP koji učestvuje u transakciji kupovine i prodaje električne energije i transakciji zelenog sertifikata. S jedne strane, troškovi kupovine električne energije i sticanja zelenog sertifikata minimiziraju se kombinovanjem različitih vrsta resursa za proizvodnju električne energije pri krajnjoj kupovini električne energije, a sa druge strane, kupljena energija se distribuira među različitim tipovima korisnika prilikom prodaje električne energije, kako bi se maksimizirao prihod od prodaje električne energije i prihod od prodaje zelenih sertifikata. Na osnovu toga, VPP kao celina učestvuje na tržištu električne energije, tržištu emisija ugljenika i tržištu zelenih sertifikata kako bi se maksimizirao sveobuhvatni prihod. Konačno, VPP je uzeta kao primer za verifikaciju ekonomičnosti i efikasnosti modela predloženog u [20].

1.3 Sadržaj, doprinos i struktura članka

Koncept CVPP koja bi – osim električne – obuhvatila i druge vrste energije, kakav predlažu autori ovog članka, prikazan je u poglavlju 2 i zasnovan je na vertikalnom konceptu Industrijskog interneta stvari (*Industrial Internet of Things*, IIoT), [21-23], uvažavajući njegove prednosti kako sa aspekta upravljanja i obrade podataka i informacija, tako i sa aspekta distribuirane realizacije i sajber sigurnosti. Osim veoma širokog dijapazona vrsta distribuiranih resursa za proizvodnju energije i njenih potrošača, koncept koji se predlaže u ovom članku ne samo da razmatra poziciju i ulogu CVPP u širem okruženju, nego ostaje otvoren i za obuhvatanje pojedinačnih većih proizvodnih jedinica ili skladišta energije. Kad je reč o distribuiranim resursima, u uslovima tipičnim za Srbiju,

kao najznačajnije i potencijalno najefektivnije, raspoznato je uspostavljanje funkcionalnosti upravljanja nad pripremom sanitarne tople vode. Osim toga, akcenat je stavljen i na mogući doprinos optimizaciji rada i fleksibilnosti sistema koji bi dalo funkcionalno povezivanje i podvođenje pod koncept CVPP toplotnih skladišta (kako distribuiranih manjih, tako i većih, namenski građenih) i skladišta potencijalne energije (poput vodotornjeva) i upravljanja njima.

Osim tehničko-tehnološkog povezivanja različitih komponenti, na kome je inače zasnovan koncept CVPP, u slučaju kada bi se EPS pojavio kao Agregator, i njegova funkcija upravljanja elektroenergetskim portfeljom (tzv. „Trgovina“) bi, zaključivanjem dugoročnih ugovora sa privatnim investitorima vetroparkova i solarnih farmi o isporuci električne energije (*Long Term Power Purchase Agreement*, LT PPA), kroz nuđenje usluge balansiranja mogla doprineti ovde predloženom modelu CVPP. Tako bi i ovaj deo „zelene“ energije postao jedna od komponenti predloženog koncepta i portfelja EPS, bio zadržan u Srbiji i stavljen na raspolaganje za optimizaciju rada i povećanje fleksibilnosti sistema.

Na napred opisane načine, CVPP bi stekla dodatne performanse kao alat za optimizaciju rada sistema i korišćenje električne i toplotne energije, proizvedenih i uskladištenih ne samo u kapacitetima EPS i njegovih krajnjih korisnika, nego i drugih energetske i privrednih subjekata. Sve ovo, naravno, ne ograničava samostalne energetske subjekte da se na tržištu pojave kao nezavisni agregatori (nudeći svoje usluge i razvijajući sopstvene koncepte VPP), shodno prihvaćenoj evropskoj praksi i regulativi.

U poglavlju 3 ovog članka prikazani su načini agregacije distribuirane proizvodnje kupaca-proizvođača i njihove potrošnje. U poglavlju 4 data je gruba procena efekata koji bi mogli da se postignu uvođenjem i primenom koncepta virtualne kompozitne elektrane. U prikazanom primeru proračunati su i prezentovani samo efekti koji bi se imali od agregiranja akumulacionih bojlera za pripremu sanitarne tople vode, opremljenih daljinski upravljivim termostatom i „pametnim“ prekidačima. Poglavlje 5 daje pregled zakonskog okvira i trenutnih ograničenja u Srbiji za dalji razvoj ovoga koncepta. Na kraju rada su dati odgovarajući zaključci.

2. ORGANIZACIONA STRUKTURA I TEHNIČKI POTENCIJAL ZA USPOSTAVLJANJE KOMPOZITNE VIRTUELNE ELEKTRANE

Autori rada su prepoznali tri ključna pitanja na koja treba odgovoriti pre investicionog planiranja i praktične realizacije virtualne elektrane. Prvo pitanje se odnosi na kontrolu i upravljanje procesima proizvodnje i potrošnje, drugo se odnosi na tehnološke aspekte različitih izvora i

potrošnje električne energije i treće je organizacione prirode, s obzirom da se mora usaglasiti prostorna razduženost izvora i potrošnje, odnosno da se stvori njihova jedinstvena mreža.

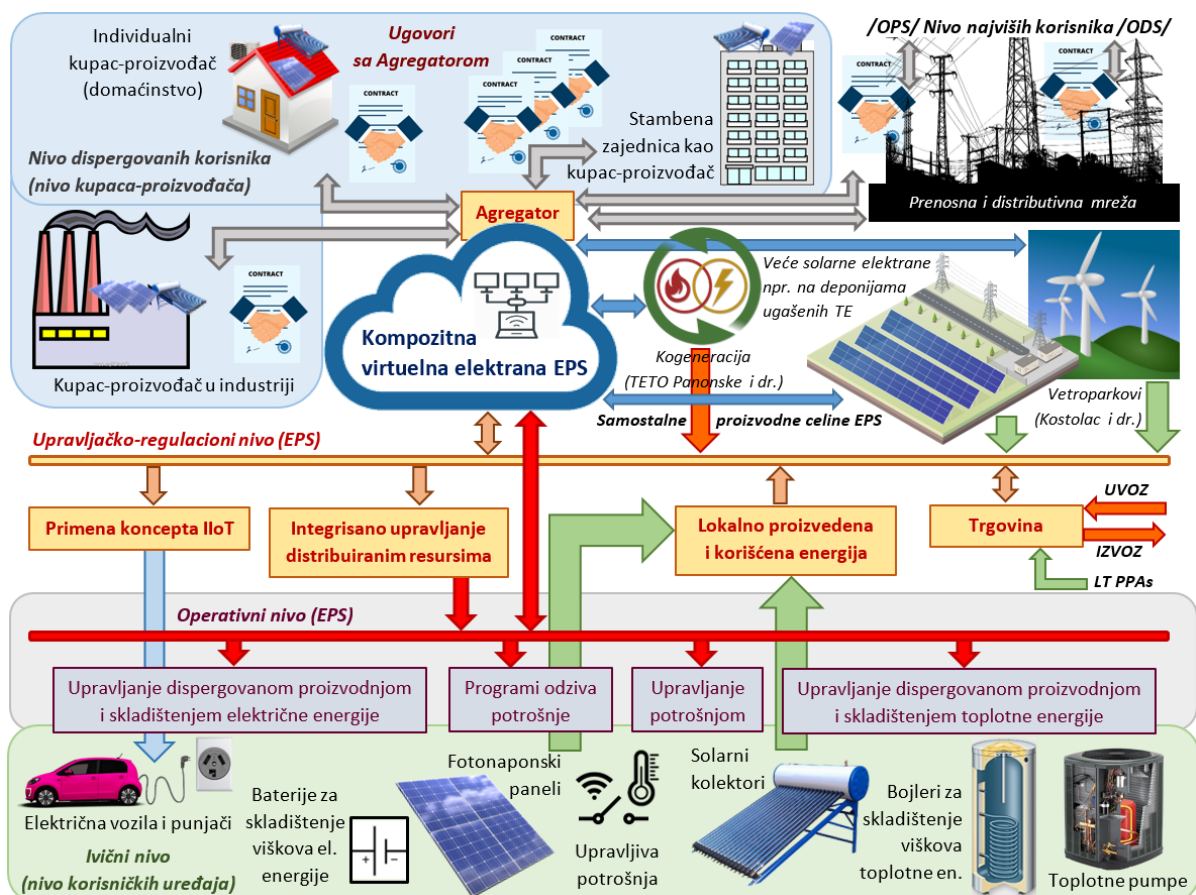
2.1 Vertikalna i hibridna koncepcija kontrole i upravljanja

Primena modernih koncepata kontrole, obrade podataka, upravljanja i odlučivanja podrazumeva da se mnogi procesi odlučivanja sa operativnog nivoa prebacuju na više hijerarhijske nivoe. Osnovni cilj modernih koncepata kontrole, upravljanja i odlučivanja je smanjenje operativnih troškova i skraćivanje vremena analize i obrade podataka. Virtualna elektrana predstavlja izuzetno složen sistem sa velikim brojem podsistema. Polazeći od prednosti vertikalnih koncepcija kontrole, upravljanja i obrade podataka i informacija, koje su postale jedno od pouzdanih prihvatljivih rešenja koncepata baziranih na IIoT-u [21-23], na Slici 1 je dat predlog strukture buduće virtualne elektrane EPS.

Danas nove tehnologije omogućavaju brzu i jeftinu dvosmernu komunikaciju između kupaca i energetske kompanije. „Pametni“ merni uređaji sa mogućnošću daljinskog upravljanja mogu pratiti, analizirati, prosljeđivati i/ili skladištiti podatke o potrošnji različitih oblika energije sa visokim učestanostima odabiranja. Dostupnost stotina hiljada vremenskih profila opterećenja različitih grupa potrošača stvara mogućnost primene algoritama veštačke inteligencije (*Artificial Intelligence*, AI) za grupisanje potrošača sa sličnim obrascima potrošnje.

Analiza velikog broja podataka (*Big Data Analytics*, BDA) je značajno izmenila prakse poslovanja u različitim industrijama. Možda najizraženiji primeri su velike platforme za kupovinu preko interneta (Alibaba, Amazon i dr.) koje se značajno oslanjaju na BDA i podatke o prethodnim kupovinama korisnika i bihevioralnoj analizi na osnovu istorije pregledanja i aktivnosti na internetu, [24].

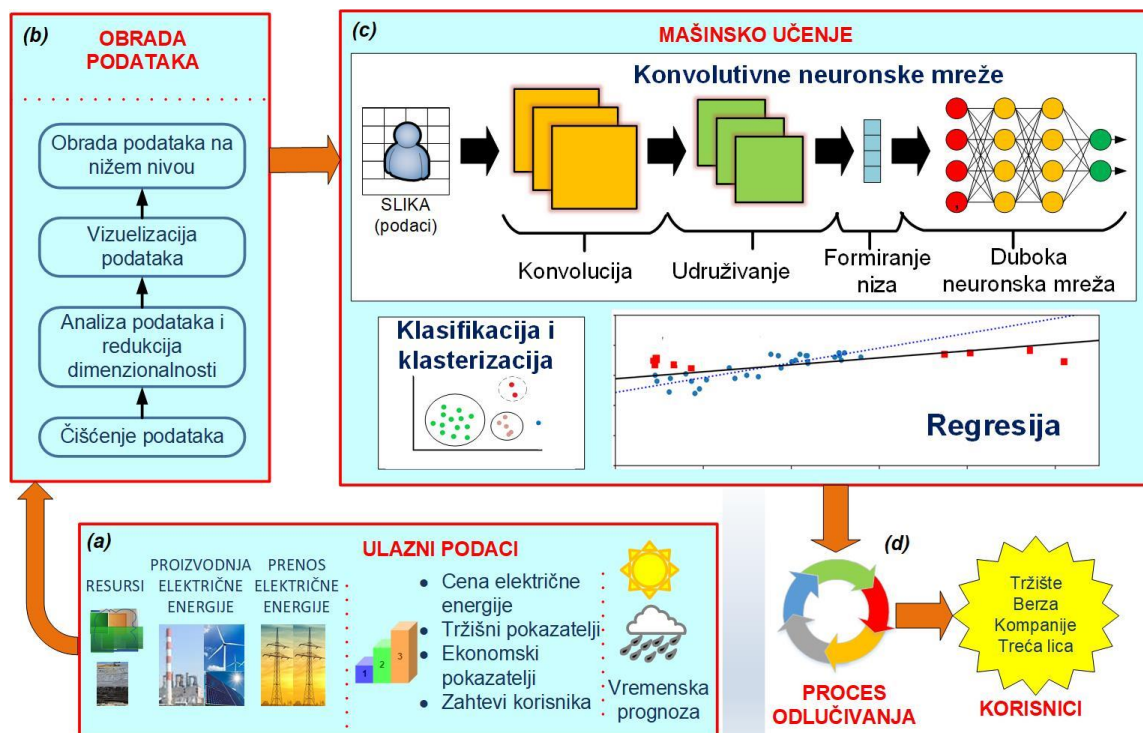
Slika 2 prikazuje moguću shemu BDA primenjenu na EES. Proces prikupljanja podataka počinje različitim izvorima informacija (Slika 2.a)), kao što su „pametna“ brojila, tržište električne energije, vremenske prognoze, senzori za merenje brzine vetra itd. Nad tim podacima moguća je obrada (Slika 2.b) i primena naprednih statističkih metoda i tehnika mašinskog učenja (*Machine Learning*, ML) (Slika 2.c)), kao što su analiza vremenskih serija, grupisanje (*clustering*) i duboko učenje (*deep learning*) da bi se generisale informacije o osobenostima celokupnog sistema koje se mogu primeniti za potrebe estimacije tehničkog potencijala i prediktivnog upravljanja resursima, [25]. Ovakve informacije mogu da se koriste za dobrobit energetske kompanije, njihovih korisnika i trećih strana koje su uključene u ovaj proces (Slika 2.d)).



Legenda:

- ↔ ugovorni odnos
- ↔ obuhvat velike elektrane u CVPP
- ↔ funkcionalno strukturiranje CVPP
- ↔ operativno komandovanje, komunikacija i akvizicija podataka
- ↔ propagacija koncepta IIoT naniže
- „zeleni“ energija
- energija iz klasičnih elektrana i interkonekcije

Slika 1 Moguća struktura, funkcionalnosti i okruženje kompozitne virtualne elektrane EPS



Slika 2 Moguća shema za BDA u EES

2.2 Tehnički potencijal na strani krajnjih korisnika

Virtuelna elektrana može da integriše (agregira) krajnje korisnike u smislu upravljive potrošnje električne energije, a kad su u pitanju kupci-proizvođači, može da agregira i upravljivu dispergovanu proizvodnju električne energije. Ideja koja se zagovara u ovom radu je integracija dispergovane proizvodnje i upravljive potrošnje i drugih vidova energije. Pri tome, svi razmatrani tipovi energije posmatraju se u odnosu na električnu energiju. Krajnji korisnik može biti domaćinstvo ili privredni subjekt (v. Sliku 1, gore levo). Virtuelna elektrana može da pruži i valorizuje dve vrste usluga, balansiranje i ekonomski dispečing, i shodno tome analiziran je tehnički potencijal krajnjih korisnika koji bi mogli da povećaju kapacitet virtuelnih elektrana za pružanje predmetnih usluga operaterima sistemâ, kao korisnicima najvišeg ranga (v. Sliku 1, gore desno).

Potrošnja električne energije krajnjih korisnika se svodi na pretvaranje električne energije u neki drugi oblik energije. Najvećim delom se električna energija pretvara u toplotnu, potom u hemijsku, u potencijalnu energiju ili u druge vidove energije. Sa stanovišta virtuelne elektrane, od značaja je upravljiva potrošnja koja u svom tehnološkom procesu ima određeni vid skladištenja energije, bez uticaja na tehnološki proces potrošnje energije. Tehnološki procesi u kojima se troši električna energija, a koji nemaju određene akumulacije energije, neće biti razmatrani u ovom radu.

Finalna energija se dominantno troši na procese zagrevanja i hlađenja. U zemljama EU28, polovina finalne energije se pretvori u toplotu, [26], a za zemlje koje su na nižem nivou ekonomskog razvoja taj procenat je i veći. U Republici Srbiji, na osnovu grube procene, približno jedna trećina ukupne potrošnje u zimskom periodu odlazi na zagrevanje prostora (prosečan dnevni konzum električne energije u mesecu maju je oko 80 GWh, a u januaru oko 120 GWh). Sa niskom cenom akumulatora toplote, potrošnja toplotne energije predstavlja najznačajniji resurs virtuelnih elektrana i za balansne usluge i za ekonomski dispečing. Upotreba potrošnje električne energije za proizvodnju toplotne u svrhu balansiranja sistema već je u primeni. U Belorusiji je, [27], za potrebe balansiranja sistema, instalirano oko 1200 MW upravljivih električnih bojlera za potrebe daljinskog grejanja i zagrevanja tople vode za građanstvo.

Potrošnja električne energije u svrhu pretvaranja u hemijsku energiju je u najvećem porastu. U pitanju su baterije, a dominantan rast predstavljaju baterije električnih automobila. Pravac razvoja punjača baterija ne ide u korist upravljive potrošnje. Proizvođači električnih automobila ulažu znatna sredstva da smanje vreme punjenja baterija, tako što povećavaju snagu punjača, pa punjači dostižu snage od 400 kW, [28]. Baterije električnih automobila u toku procesa punjenja, u sprezi sa „pametnim“ punjačima, u bliskoj budućnosti mogu postati značajan resurs za upravljanje potrošnjom.

Drugi vid pretvaranja električne energije u hemijsku je proizvodnja vodonika ili produkata vodonika, što postaje jedan od glavnih pravaca razvoja energetskeg sektora. EU je za razvoj projekata za korišćenje vodonika krajem 2021. godine izdvojila sredstva u iznosu od preko 500 mlrd € koja

bi trebalo da budu utrošena do 2030. godine. Trenutno se broj krajnjih korisnika, koji mogu da proizvode vodonik, svodi na privredne subjekte koji se bave proizvodnjom tehničkih gasova, ali je cilj EU da se poveća korišćenje vodonika, prvenstveno u svrhe transporta. S adekvatnim rezervoarima za vodonik, i postrojenjima za proizvodnju vodonika koja dostižu gradijent promene potrošnje od 10%/s, proizvodnja vodonika u bliskoj budućnosti može postati značajan resurs za virtuelne elektrane, i za usluge balansiranja i za ekonomski dispečing. Izražen problem skladištenja vodonika trenutno se rešava u dva pravca, dobijanjem metanola ili amonijaka.

Pretvaranje električne energije u potencijalnu kod krajnjih potrošača je takođe perspektivno sa stanovišta VPP. Krajni korisnici koji vrše ovu konverziju energije su prvenstveno javna komunalna preduzeća vodovoda i kanalizacije. Tehnološki procesi snabdevanja vodom i odvođenja kanalizacione vode, podrazumevaju procese pumpanja vode iz prostorâ akumuliranja vode/kanalizacije, ili u njih, i uobičajeno imaju određenu slobodu kretanja nivoa u akumulaciji (rezervoaru). Kao takvi, predstavljaju značajan potencijal za agregiranje upravljive potrošnje, pogotovo sa stanovišta ukupnjavanja krajnjih korisnika koji su agregirani. Na razvoj resursa ovog tipa potrošnje nije potrebno čekati bližu ili dalju budućnost, oni su već sada dostupni.

2.2.1 Izvori energije. Najznačajniji izvori energije krajnjih korisnika EES, koji su perspektivni za agregiranje u virtuelne elektrane mogu se podeliti u grupe prema upravljivosti:

- Neupravljivi izvori energije:
 - solarni paneli,
 - solarni kolektori,
 - solarni termo paneli (paneli čijim se hlađenjem zagreva voda);
- Upravljivi izvori energije, čiju primenu je moguće optimizovati (ekonomski dispečing):
 - biomasa i biogas (toplotna energija),
 - fosilna goriva (toplotna energija),
 - toplotne pumpe (izvor toplotne energije),
 - neupravljivi izvori sa skladištima energije;
- Kombinovani izvori energije, najperspektivniji sa stanovišta primene u aplikacijama virtuelnih elektrana, sa značajnim brojem promenljivih stanja koje je potrebno pratiti:
 - kogeneracije (uglavnom ih koriste privredni subjekti čiji proizvodni proces zahteva primenu i električne i toplotne energije, eventualno i tehnološke pare),
 - toplotne pumpe u kombinaciji sa skladištima toplote (izvori toplotne energije čijom primenom se povećava kapacitet termalnih skladišta),
 - niskotemperaturni izvori toplotne energije (izvori koji su u značajnom razvoju, kombinacija toplotnih pumpi i otpadne toplote iz industrijskih procesa ili toplote nastale hlađenjem računarskih centara).

2.2.2 Upravljiva potrošnja i skladištenje energije. Skladišta energije na strani krajnjih korisnika EES koja su

trenutno u primeni, odgovaraju već pomenutim vidovima transformacije električne energije u drugi vid energije. Najčešće su prisutna skladišta toplotne energije (akumulatori toplote), skladišta hemijske energije (dominantno baterije) i skladišta energije u kojima se električna energija skladišti kao potencijalna. S obzirom na to da su trenutno široko dostupni i da nije potrebno čekati na njihov razvoj, u ovom radu biće razmatrani samo akumulatori toplote i skladišta potencijalne energije. Akumulatori toplote mogu biti ciljno realizovani, a mogu se i termičke kapacitivnosti raznih drugih objekata koristiti kao akumulatori toplote (npr. zidovi prostora koji se greje). Upravljava potrošnja u kombinaciji sa skladištima energije proširuje opseg usluga koje sistemu može da pruži virtuelna elektrana – balansiranje sistema i ekonomski dispečing.

Koncept upravljanja potrošnjom kao podrška regulaciji frekvencije pominje se pre više od četrdeset godina, [29], gde je pored koncepta „proizvodnja prati potrošnju“, prikazan i koncept „potrošnja prati proizvodnju“. U [29] je izvršena i kategorizacija na pasivno i aktivno upravljanje potrošnjom. Pasivno upravljanje potrošnjom se uglavnom odnosi na opterećenja koja prirodno koriste radni ciklus i mogu da se uključe/isključe privremeno bez ugrožavanja radnog ciklusa i komfora korisnika. Kao prvi kandidati za upravljivu potrošnju, kod kojih nisu potrebna dodatna ulaganja sem upravljanja, izdvajaju se termostatski kontrolisani uređaji, koji svojstveno poseduju skladištenje toplotne energije, a istovremeno su i veliki potrošači u domaćinstvima kao krajnjim korisnicima, [30]. Takvi uređaji uključuju klima-uređaje, električne bojlere, TA peći, i slično. Autori [29] su prikazali mogućnosti za upotrebu uređaja koji, na osnovu merenja učestanosti mreže na koju je priključen, može da uključi/isključi određenog električnog potrošača. Međutim, u to vreme na raspolaganju nije postojala infrastruktura i tehnologija koja bi mogla da podrži brzi protok, skladištenje i obradu velikog broja informacija.

Uz primenu novih tehnologija na stare ideje, u [31] je prikazan prototip daljinski upravljivog prekidača električnog bojlera, zasnovan na IIoT konceptu, sa mogućnošću očitavanja vrednosti sa senzora za merenje temperature vode, struje potrošnje i učestanosti mreže. U [31] je izvršena statistička analiza rada električnog bojlera i date su procene raspoloživih promena njegove snage i energije – povećanja i smanjenja, zavisno od trenutnih potreba EES, ali i očekivanih zahteva kupaca. Na osnovu dobijenih statističkih pokazatelja, predložen je dinamički model velikog broja bojlera koji se koriste na sličan način – dinamički model jednog klastera. Analizom mogućnosti rada u sekundarnoj regulaciji učestanosti, pokazano je da je ovakvim sistemom moguće postići čak i bolje rezultate u pogledu vremena odziva, te rasteretiti postojeće, konvencionalne proizvodne jedinice i doprineti stabilnosti EES kao i sigurnom snabdevanju kupaca. Pored tehničkih analiza, u [31] je izvršena i uprošćena ekonomska analiza jednog takvog projekta. Istaknuto je da bi se investicija vratila korisniku za oko pet meseci, te da je stopa godišnjeg prihoda već u prvoj godini oko 270%.

Toplotni akumulatori, kao ciljno realizovana skladišta energije, predstavljaju jedan od najjeftinijih oblika

skladišta energije, sa cenom ispod 15 USD/kWh, [32], dok prema [33] velika skladišta toplote mogu da imaju cenu u opsegu od 15-50 €/m³. Jeftini toplotni akumulatori toplotu akumuliraju najčešće u vodi, a u primeni su akumulatori od 50 litara vode, pa sve do sezonskih akumulatora toplote kapaciteta od preko 500.000 m³ vode, [34]. U kombinaciji sa toplotnom pumpom, koja spušta donju granicu temperature vode koju je moguće iskoristiti na ispod 20 °C, toplotni akumulatori predstavljaju izuzetno elastično postrojenje sa stanovišta upravljivosti potrošnje.

Ukoliko se skladište zonira, tako da ima dva posebna skladišta, energija iz toplijeg skladišta se može koristiti direktno za grejanje prostora kada je cena električne energije visoka, a u slučaju povoljne cene električne energije, preko toplotne pumpe se toplota iz hladnijeg akumulatora može iskoristiti tako da konvertovana preko toplotne pumpe ima parametre za primenu u grejanju prostora. Izvor toplote akumulatora su najčešće solarni kolektori (kao na slikama 1 i 3), ali mogu biti i otpadna toplota iz kogeneracije ili čak pretvaranje električne energije u toplotnu. Veliki akumulatori toplote (*Large Thermal Energy Storages*) mogu da dostignu i kapacitet od preko 40 GWh pojedinačno. Na prostorima gde se 27% finalne energije troši na grejanje prostora, [26], mogu predstavljati idealno rešenje za godišnje balansiranje proizvodnje električne energije iz V-RES. Gubici energije sezonskih akumulatora toplote mogu da se spuste i do 10%.

Upravljiva potrošnja sa skladištenjem energije u vidu potencijalne, prisutna je u tehnološkim procesima u kojima se fluid pretače sa jednog na drugo mesto, više nadmorske visine. Primer krajnjeg potrošača električne energije koji vrši opisanu konverziju energije su javna komunalna preduzeća vodovoda i kanalizacije. U ravničarskim krajevima uobičajeno je da se pritisak vode u vodovodnom sistemu održava tako što se voda upumpava u vodotoranj, najvišu tačku naseljenog mesta. Vodotoranj je akumulacija vode koja ima merač nivoa, sa maksimalnom i minimalnom dozvoljenom vrednošću. U zavisnosti od potrošnje vode, pumpe vodovodnih sistema su upravljive na satnom nivou, a upravljivost zavisi od dozvoljenih minimalnih i maksimalnih volumena vode u vodotoranju. Kanalizacioni sistemi, poseduju kolektore koji takođe imaju dozvoljene nivoe i pumpe kojima je moguće upravljati, kao i u slučaju vodovoda.

3. NAČINI AGREGACIJE PROIZVODNJE I POTROŠNJE

3.1 Aktivni način agregacije – EPS kao mogući Agregator

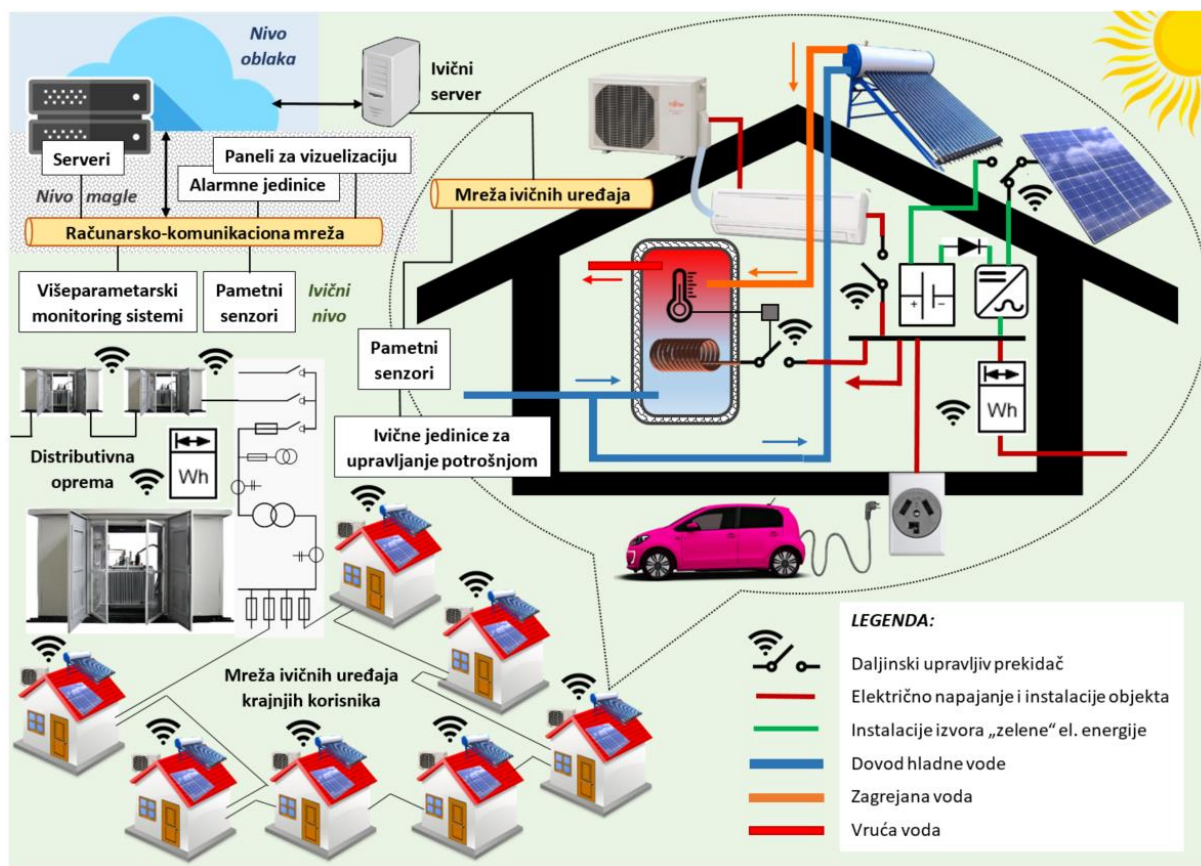
Budući da EPS, između ostalog, obavlja uloge proizvođača, trgovca i snabdevača električnom energijom, prilikom optimizacije celokupnog portfelja EPS, izrađuju se različite vrste planova, na nekoliko vremenskih horizonata. Pri izradi srednjeročnih (kvartalnih, mesečnih i sedmičnih) i kratkoročnih (dan-unapred i unutardnevnih) planova proizvodnje i trgovine električnom energijom, cilj je da se maksimalnim iskorišćenjem fleksibilnosti elektrana optimizuje njihova proizvodnja, tako da kompanija ostvari najveći mogući profit. Da bi se to postiglo, potrebno je najveći mogući deo raspoložive

energije plasirati u periode najviših tržišnih cena, uz zadovoljenje već ugovorenih obaveza/ispоруka (snabdevanje i prethodno zaključeni ugovori za trgovinu) i postojećih ograničenja (pre svega tehničkih karakteristika elektrane, kao i maksimalnih i minimalnih sadržaja akumulacija, odnosno deponija uglja). Sredstvo kojim se to postiže je trgovina električnom energijom, tako što se u periodima niskih tržišnih cena elektrane „potiskuju“ do tehničkih, odnosno bioloških minimuma, dok se razlika između potrošnje („konzuma“) i proizvodnje nadomešćuje kupovinom na „spot“ tržištu, čime se najveći deo primarne energije (uglja, vode) prenosi u periode visokih cena. U tom smislu, da bi se što veći deo primarne energije preneo iz perioda niskih, u period visokih cena, potrebno je da elektrane raspolazu što većim rasponom između nominalnih snaga i tehničkih (odnosno bioloških) minimuma, tj. da poseduju što veću fleksibilnost.

Sa druge strane, isti efekat se može postići korišćenjem raspoloživog opsega upravljive potrošnje, odnosno „pomeranjem“ dela potrošnje iz perioda viših cena u periode nižih cena. Ipak, mogućnost primene upravljive potrošnje je prilično ograničena, jer postoji relativno mali broj velikih industrijskih/komercijalnih potrošača (kupaca) električne energije kojima proces proizvodnje dozvoljava upravljanje potrošnjom i kod kojih trošak električne energije predstavlja značajan udeo u ceni finalnog proizvoda (energetski intenzivni kupci), kako bi se mogli

motivisati adekvatnim cenovnim signalima. Nasuprot tome, postoji relativno veliki broj malih kupaca i domaćinstava gde je „pomeranje“ potrošnje moguće, ali još uvek ne postoji adekvatna regulativa, infrastruktura, kao ni cenovni signali koji bi to omogućili. Osim toga, značajniji efekti upravljive potrošnje mogu se postići jedino agregacijom (objedinjavanjem, grupisanjem) velikog broja (uglavnom manjih) krajnjih korisnika EES, što je jedan od osnovnih razloga zbog kojih se i uvodi novi učesnik na tržištu električne energije – Agregator.

Agregator može objediniti i manje, distribuirane (dispergovane) proizvođače električne energije, i to najčešće one sa upravljivom proizvodnjom, kakav je primer kupca-proizvođača sa mogućnošću skladištenja električne energije, ilustrovan na Slici 3. Na njoj je prikazana jedna energetski „pametna“ kuća, kao i radikalno napojena elektrodistributivna mreža na koju je priključen niz takvih, prostorno raspoređenih, kuća. Sa aspekta potrošača i „lokalne zelene proizvodnje“, prikazana je ivična (edge) koncepcija, čije su osnovne prednosti kratko vreme obrade podataka (smanjenja kašnjenja) i jednostavnije upravljanje lokalnim procesima proizvodnje i potrošnje. Na Slici 3 je prikazan opšti slučaj - domaćinstvo koje može da proizvodi i akumulira i toplotnu i električnu energiju. Agregator može objediniti i manje kompleksne slučajeve, kao u [31].



Slika 3 Hibridna koncepcija IIoT za agregaciju i upravljanje kompozitnom virtualnom elektranom

Cilj je obezbediti što veću fleksibilnost, koju Agregator kasnije valorizuje na tržištu električne energije. U zavisnosti od tehničkih mogućnosti kojima raspolaze u

okviru svog portfelja, pored „pomeranja“ potrošnje/proizvodnje, Agregator ostvaruje prihode od fleksibilnosti i na tržištima sistemskih usluga i balansne

energije. S tim u vezi, Agregator ostvaruje profit nudeći svoje usluge (fleksibilnost) različitim zainteresovanim stranama (tržišnim učesnicima):

- drugim proizvođačima/snabdevačima, kojima je fleksibilnost bitna zbog optimizacije portfelja proizvodnje/snabdevanja, kao i zbog balansne odgovornosti na tržištu balansne energije,
- operatoru prenosnog sistema, kroz pružanje sistemskih usluga (obežbeđivanje sekundarne i tercijarne rezerve snage), čime se indirektno smanjuje potreban nivo rezerve na strani proizvodnje (a time i oportunitetni troškovi proizvodnje),
- operatoru distributivnog sistema, imajući u vidu činjenicu da zbog sve masovnijeg priključivanja V-RES na distributivnu mrežu postoji potreba za fleksibilnošću u cilju efikasnog i sigurnog upravljanja distributivnom mrežom, kao i mogućih smanjenja investicionih troškova (u distributivnu mrežu).

Uzimajući u obzir veličinu portfelja EPS, delatnosti koje EPS obavlja, kao i potencijale koje uloga Agregatora donosi, postoji jasan interes EPS za obavljanjem ove uloge, kako bi se upotpunile mogućnosti portfelja EPS i obezbedio dodatni izvor prihoda. S obzirom da se u okviru EPS nalazi i funkcija snabdevanja električnom energijom, a da je u [2] sagledana i mogućnost da se na tržištu električne energije, osim nezavisnih agregatora, agregiranjem bave i snabdevači, jedna od mogućih opcija, čiju izvodljivost treba istražiti, jeste da se „EPS Snabdevanje“ registruje i kao Agregator.

U tom pogledu, kao ugledni primer mogao bi da posluži način poslovanja sličnog državnog preduzeća, poput GEN-I. Ova kompanija vrši ulogu agregatora-snabdevača u više zemalja u centralno-istočnoj Evropi. U pogledu agregacije, GEN-I raspolaže i upravljivom potrošnjom, kao i distribuiranom proizvodnjom. Koncept virtuelne elektrane im se zasniva na razvoju jedinstvene platforme koja objedinjuje upravljanje agregatorskim portfeljem, pristup različitim tržištima, e-mobilnost, naprednu analitiku. Ovakav koncept omogućava GEN-I da u Sloveniji i Austriji aktivno učestvuje u pružanju balansnih usluga iz virtuelne elektrane, [35].

3.2 Pasivni način agregacije – dinamičko tarifiranje

Dinamičko tarifiranje, opcija koju obično nude tradicionalni snabdevači električnom energijom, predstavlja tip ugovora o snabdevanju koji sadrži varijabilni deo cene koji, donekle ili u potpunosti, odražava fluktuaciju cene na veleprodajnom tržištu električne energije. U ovakvom ugovornom obliku, kupci se podstiču da reaguju na cenovne signale sa tržišta, te podešavaju svoju potrošnju u skladu sa promenama cena (tj. teže da smanje potrošnju energije tokom sati sa visokom cenom i povećaju je tokom sati sa niskom cenom). Ovakav proaktivan pristup kupaca može dovesti do ušteda u računu za električnu energiju. Međutim, potrebno je istaći da taj pristup nosi i određene rizike sa sobom, u pogledu iznenadne izloženosti visokim cenama u određenim periodima. Iz tog razloga vrlo je važno da kupac bude dobro upoznat sa svim aspektima i rizicima, da dobro sagleda mogućnost upravljanja sopstvenom potrošnjom, a

možda i ispregovara takav ugovor koji će sadržati određene limite koji bi ga zaštitili od nagle promene cena energije ili njene velike volatilnosti u kratkom roku.

Neki od primera dinamičkog tarifiranja iz evropske prakse, [36], opisani su u nastavku:

- Snabdevač *Octopus* (Velika Britanija): u ponudi ima tarifu pod nazivom „*Agile*“ unutar koje se cena električne energije za kupca menja na svakih 30 minuta. Snabdevač na svojoj internet stranici nudi interaktivni prikaz primera kupca za koga je ovaj vid tarifiranja najpogodniji, a takođe daje i pregled i poređenje sa ostalim statičkim tarifama koje ima u ponudi. Ugovor sadrži klauzulu o limitu („*price cap*“), tj. maksimalnoj ceni kojoj kupac može biti izložen.
- Snabdevač *easyEnergy* (Holandija): u ponudi ima tarifu koja reflektuje cenu za krajnjeg korisnika kao kombinaciju varijabilnog dela (satne veletržišne cene) i fiksnog dela (fiksna taksa definisana na mesečnom nivou). Ne postoji neki vid zaštite ili alarma za kupca koji bi ukazao na pojavu visokih cena i samim tim naglog povećanja računa za električnu energiju.

4. TEHNO-EKONOMSKA OPRAVDANOST REALIZACIJE VPP

U Srbiji postoji relativno mali broj velikih industrijskih (komercijalnih) kupaca električne energije kojima bi proces proizvodnje dozvolio upravljanje potrošnjom i kod kojih trošak električne energije predstavlja značajan udeo u ceni finalnog proizvoda. To su energetske intenzivni kupci, koji bi mogli biti motivisani adekvatnim cenovnim signalima. Poslednjim rastom cene električne energije za komercijalne kupce dodatno je uvećan njen udeo u finalnim proizvodima kod velikog broja energetske intenzivnih kupaca, tako da bi trebalo ispitati zainteresovanost komercijalnih kupaca za učešće u mogućim programima upravljanja potrošnjom.

Nasuprot njih, postoji relativno veliki broj malih kupaca i domaćinstava kod kojih je „pomeranje“ potrošnje moguće, ali za to još uvek ne postoji adekvatna infrastruktura (npr. „pametna“ brojlara, daljinski upravljivi prekidači i sl.). Osim toga je i cena za garantovano snabdevanje i dalje značajno niža od tržišne, tako da su relativno retki periodi u kojima bi bilo moguće cenovnim signalima motivisati domaćinstva i male kupce da izmene način i vreme korišćenja svojih električnih uređaja. Naime, retko se dešava da je cena na tržištu niža od cene za garantovano snabdevanje.

Iz navedenih razloga, a nadasve zbog nedostajuće regulative (v. Poglavlje 5) i sadašnje nemogućnosti da upravlja asetimama koji nisu njegovi (poput akumulacionih bojlera u primeru iz [31]), EPS u svojstvu isključivo snabdevača (kada je reč o potrošnji) ne može ostvariti onakve uštede na strani svojih postojećih kupaca kakve bi to mogao u svojstvu agregatora jedne virtuelne elektrane i nakon obežbeđivanja tehničkih preduslova za takav, aktivni pristup. Procena troškova i mogućih benefita uspostavljanja VPP ilustrovana je u ovom poglavlju, i to

samo za komponentu upravljive potrošnje bazirane na daljinski kontrolisanoj pripremi sanitarne tople vode.

4.1 Troškovi realizacije VPP – procenjeni troškovi potrebnih hardverskih i softverskih resursa

U zavisnosti od tipa prekidača i broja senzora (simbolički prikazanih na slikama 1 i 3, kod upravljive potrošnje), cena uređaja IIoT za akviziciju sa daljinskim prekidačem, sa ugradnjom, iznosi između 50 i 300 EUR po potrošaču/prekidaču. Ukupna cena po korisniku zavisi od broja i tipa uređaja jednog entiteta (npr. domaćinstva). Potrebna su i sredstva za kupovinu ili iznajmljivanje servera, kao i za održavanje i razvoj softvera. U zavisnosti od kompleksnosti i očekivanog broja korisnika, sredstva za razvoj softvera se procenjuju na opseg od 300.000 do 1.000.000 EUR. Za opseg 10.000 do 100.000 korisnika troškovi održavanja softvera i zakupa servera iznosili bi od 30.000 do 60.000 EUR/god. Procena investicionih i eksploatacionih troškova za 10.000 korisnika, što bi odgovaralo okvirnom opsegu jedne kompozitne VPP od 50 MW, prikazani su u Tabeli I. Važno je istaći da troškovi razvoja softvera praktično ne zavise od broja korisnika, te se njihov udeo procentualno umanjuje sa porastom broja korisnika.

Tabela I Procena troškova za VPP od 50 MW

10.000 korisnika	Vrsta troška	Iznos
CAPEX (EUR)	uređaji IIoT	1.000.000
	razvoj softvera	500.000
	ukupno CAPEX	1.500.000
OPEX (EUR/god.)	server	40.000
	troškovi ljudstva	40.000
	ukupno OPEX	80.000

4.2 Tržišne mogućnosti upotrebe virtualne elektrane i primeri benefita

Veća fleksibilnost na strani potrošnje električne energije i distribuirane proizvodnje, agregirana i upravljana kroz koncept virtualne elektrane, može dovesti do brojnih benefita u pogledu efikasnosti i troškova rada EES. Operator virtualne elektrane, u zavisnosti od tehničkih karakteristika i mogućnosti agregirane proizvodnje i potrošnje, može je koristiti za trgovinu i optimizaciju sopstvenog portfelja na veleprodajnom tržištu, kao i za pružanje sistemskih usluga operatorima prenosnog i distributivnog sistema.

U tom kontekstu, kao primer efekata uvođenja koncepta virtualne elektrane, razmotrena je tržišna vrednost virtualne elektrane sačinjene od 50 MW agregirane fleksibilne potrošnje, upravljane od strane nezavisnog agregatora. Važno je napomenuti da se navedenih 50 MW odnosi na ekvivalentni fleksibilni deo potrošnje iz ukupnog potrošačkog portfelja, koji će biti raspoloživ i koji agregator optimizuje na tržištu. Pravilna procena ovog nivoa raspoloživog fleksibilnog kapaciteta za kreiranje ponude VPP je veoma značajna. U slučaju da agregator nepravilno proceni, tj. preceni nivo raspoloživog

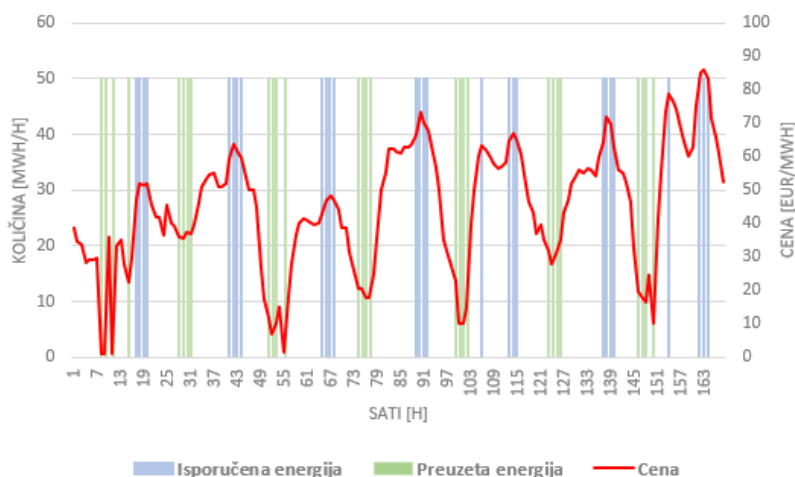
fleksibilnog dela portfelja, biće izložen većem finansijskom riziku ukoliko dođe do neispunjenja ugovorenih usluga (npr. debalans na balansnom tržištu, penali za neispunjenu rezervu, itd.). Fleksibilnost agregirane potrošnje je predstavljena kroz opciju mogućnosti „pomeranja“ unutar dana („Load Shifting“) u maksimalnom trajanju od 4 sata. Opisana virtualna elektrana je modelovana u komercijalnom softverskom alatu za energetsko-tržišne simulacije, PLEXOS, i optimizovana kao učesnik na tržištu prema tržišnim uslovima u Srbiji zabeleženim u 2021. godini (satni profil veleprodajnih cena sa berze SEEPEX, [37]). Ilustracija ove optimizacije data je na Slici 4. Sagledani su potencijalni prihodi za Agregatora koji se mogu ostvariti na veleprodajnom tržištu, bez razmatranja dodatnih usluga koje bi virtualna elektrana eventualno mogla pružati. Ti prihodi su prikazani u Tabeli II.

Tabela II Potencijalni prihodi Agregatora za primer optimizacije VPP od 50 MW, sa slike 4

Indikator	Jedinica	Vrednost
Preuzeta energija	GWh/god.	72,8
Isporučena energija	GWh/god.	72,8
Prosečna kupovna cena	EUR/MWh	79,68
Prosečna prodajna cena	EUR/MWh	144,74
Prosečna tržišna cena	EUR/MWh	114,02
Rashod za kupljenu energiju	MEUR/god.	5,80
Prihod od prodaje energije	MEUR/god.	10,54
Tržišna dobit	MEUR/god.	4,74

Cilj analiziranog primera je ilustracija potrebe tržišta za izvorima fleksibilnosti, tj. mogućih prihoda za jedan oblik upotrebe virtualne elektrane. Na osnovu sprovedene analize (Slika 4, Tabela II), može se zaključiti da postoji značajan potencijal u pogledu ekonomskih prihoda od upravljanja virtualnom elektranom.

Naglašavamo da je za svaki potencijalni poslovni slučaj implementacije virtualne elektrane potrebno detaljno analizirati troškove i benefite, tj. sprovesti kompletnu tehnno-ekonomsku analizu sa analizom osetljivosti rezultata na promene ulaznih parametara. Ovo je posebno važno imajući u vidu poslednju energetsku krizu i enormni rast cena na tržištu električne energije (s tim u vezi treba zapaziti da su u Tabeli II prosečne cene niže od onih koje su se javile u međuvremenu). Takođe, treba naglasiti da je preduslov za efikasnu implementaciju agregacije postojanje pravno-regulatornog okvira sa otklonjenim barijerama za nastup agregatora na različitim tržištima, naročito u pogledu pružanja pomoćnih usluga operatorima prenosnog i distributivnog sistema. Naime, od adekvatnog vrednovanja ovih usluga uveliko će zavisiti i isplativost realizacije jednog ovakvog koncepta.



Slika 4 Primer optimizacije VPP od 50 MW na veleprodajnom tržištu električne energije, na uzorku jedne sedmice

5. ZAKONSKI OKVIR I TRENUTNA OGRANIČENJA U SRBIJI

Izmenama i dopunama Zakona o energetici („Sl. glasnik RS“ broj 40/2021, u daljem tekstu: ZoE) uvodi se novi učesnik na tržištu električne energije – Agregator, ali njegova uloga, kao i prava i obaveze na tržištu električne energije, još uvek nisu u potpunosti definisane i razrađene u sekundarnoj legislativi. Pojam agregiranja je definisan članom 2. ZoE kao „objedinjavanje potrošnje i/ili proizvodnje električne energije radi kupovine, prodaje ili aukcija na tržištima električne energije“, dok je Agregator kao jedan od učesnika na tržištu električne energije definisan kao „pravno ili fizičko lice koje pruža uslugu objedinjavanja potrošnje i/ili proizvodnje električne energije u cilju dalje prodaje, kupovine ili aukcija na tržištima električne energije“. Uloga Agregatora je definisana Članom 210b ZoE, u kome je navedeno da „Agregator nastupa na tržištu električne energije u ime i za račun učesnika na tržištu za koje vrši uslugu objedinjavanja potrošnje i/ili proizvodnje“, i dužan je da:

- 1) postupa prema učesniku na tržištu na nediskriminatoran način;
- 2) objavi opšte uslove ponude za zaključenje ugovora, odnosno da učesnika na tržištu obavesti na prigodan način o ponuđenim uslovima;
- 3) besplatno obezbedi sve relevantne podatke učesniku na tržištu najmanje jednom u toku obračunskog perioda ukoliko učesnik na tržištu to zatraži;
- 4) na svojoj internet stranici ili na drugi prikladan način, obavesti učesnika na tržištu o funkciji agregiranja.

Agregator i učesnici na tržištu zaključuju ugovore kojim regulišu međusobne odnose (ilustrovano na Sl. 1, gore).

Zakonom o korišćenju obnovljivih izvora energije („Sl. glasnik RS“, broj 40/21, u daljem tekstu: ZOIE) takođe je, posredno, predviđeno postojanje i uloga agregatora; u članu 58. ZOIE utvrđeno je da „kupac-proizvođač ima pravo da samostalno ili posredstvom agregatora proizvodi električnu energiju za sopstvenu potrošnju, skladišti električnu energiju za sopstvene potrebe, višak proizvedene električne energije isporuči u prenosni, distributivni, odnosno zatvoreni distributivni sistem i ne može koristiti podsticajne mere u vidu tržišne premije i fid-in tarife, niti može imati pravo na

garancije porekla“. Takođe, članom 66. ZOIE određeno je da „zajednica obnovljivih izvora energije, odnosno pravno lice osnovano na principu otvorenog i dobrovoljnog učešća svojih članova“... „ima pravo na proizvodnju, potrošnju, skladištenje i prodaju obnovljive energije i pravo na pristup svim tržištima energije, direktno ili preko agregatora, na nediskriminatorni način, kao i druga prava i obaveze povlašćenog proizvođača u skladu sa ovim zakonom.“

Iako je, navedenim zakonima kojima se uređuje oblast energetike u Republici Srbiji, agregator predviđen kao učesnik na tržištu/korisnik sistema i definisana delatnost agregiranja, pravna regulativa u ovom delu nije u potpunosti uređena. Posebno se mora imati u vidu činjenica da agregiranje nije predviđeno kao energetska delatnost, pa agregator (fizičko ili pravno lice koje pruža uslugu objedinjavanja potrošnje i/ili proizvodnje električne energije u cilju dalje prodaje, kupovine ili aukcija na tržištima električne energije), ne može da obezbedi licencu ili drugu saglasnost za pružanje ove usluge.

Stoga je za dalje definisanje uloge agregatora potrebno izmeniti nacionalnu sekundarnu legislativu u skladu sa „Paketom čiste energije“ Evropske unije koji je stupio na snagu juna 2019. godine i smernicama iz EU Direktive 2019/944. Ovim Paketom su određeni i novi učesnici na tržištu kao što su agregatori, odnosno nezavisni agregatori, i bliže određene energetske delatnosti kao što su agregiranje i skladištenje energije. Prema Direktivi, generalno, svaki učesnik na tržištu električne energije dužan je da ugovorom uredi svoju balansnu odgovornost; da je prenese na drugog učesnika na tržištu električne energije, da potpiše ugovor o potpunom snabdevanju ili da se registruje kao balansno odgovorna strana. U skladu sa članom 17(3.d) ove Direktive, ta obaveza nije zaobišla ni novog učesnika na tržištu – Agregatora. U tom smislu, nema suštinske razlike između Snabdevača i Agregatora. Ipak, jedna od osnovnih razlika između ova dva učesnika na tržištu je što Snabdevač upravlja potrošnjom implicitno (kupac reaguje na cenovne signale Snabdevača iz računa, a težnja je da se ide ka dinamičkom tarifiranju sa uvođenjem „pametnih“ brojlara), dok Agregator ima mogućnost da upravlja potrošnjom i eksplicitno (direktno, aktivno). To bi trebalo da podrazumeva definisanje/ugovaranje uslova pod kojima Agregator upravlja

potrošnjom kupca i po kojoj ceni, u okviru posebnog ugovora ili u okviru Ugovora o snabdevanju. Eksplicitno upravljanje potrošnjom bi omogućilo Agregatoru da ostvaruje profit i na tržištima sistemskih usluga i balansne energije, ali je za to, pored trenutno nedostajuće regulative, neophodna i adekvatna infrastruktura koja podrazumeva masovnu upotrebu odgovarajućih „pametnih“ brojlara, što je još jedna od prepreka koju je potrebno otkloniti u cilju pune primene koncepta Agregatora na tržištu Republike Srbije.

Dodatno ograničenje i mogući problem, pre svega u regulisanju odnosa između Agregatora i DSO, predstavlja i legislativna odrednica da je upravljanje obnovljivim izvorima većim od 160 kW u nadležnosti DSO, „Elektrodistribucije Srbije“ (EDS).

Mišljenje autora ovog rada je da bi EDS trebalo da upravlja elektranama na RES pojedinačne snage veće od 160 kW samo u funkciji obezbeđenja sigurnog rada elektrodistributivnog sistema. U tom smislu, Agregator bi trebalo da planira angažovanje i ovih elektrana i da upravlja njima, dok bi EDS imao mogućnost promene njihovog angažovanja (uključujući i ograničenje/smanjenje snage) jedino u trenucima kada je ugrožena sigurnost distributivnog sistema (tzv. „Redispatching“ – mera promene proizvodnje i/ili potrošnje koju sprovodi operator sistema, u cilju promene fizičkih tokova snaga u sistemu kako bi se obezbedila sigurnost sistema i otklonila zagušenja u njemu). Oni resursi (elektrane na RES, upravljiva potrošnja, skladišta) čije je angažovanje izmenjeno od strane EDS u odnosu na plan (zbog ugrožene sigurnosti sistema), trebalo bi da budu finansijski kompenzovani zbog izgubljene dobiti.

Praktično, upravljanje elektranama na RES pojedinačne snage veće od 160 kW od strane DSO (EDS) trebalo bi urediti na sličnim tehničkim i tržišnim principima kao kada TSO (u Srbiji: EMS AD) u trenucima ugrožene sigurnosti sistema upravlja elektranama veće snage, priključenim na prenosni sistem.

6. ZAKLJUČAK

Na strani krajnjih korisnika EES-a postoji značajan kapacitet u upravljivoj potrošnji. Sa pojavom i očekivanim širenjem dispergovane (distribuirane) proizvodnje električne energije, uključujući i „kupce-proizvođače“, za koje je tokom 2021. godine u Srbiji stvoren zakonski okvir, jačanje potreba, ali i interes, da se efektivno i efikasno upravlja potrošnjom i proizvodnjom na nivou korisnika. Kada se tome doda nužnost unapređenja energetske efikasnosti na strani potrošnje, kao i činjenica da možda i najveći potencijal – kako za uštede, tako i za upravljivost i fleksibilnost – leži u uređajima za grejanje vode i prostora, kao moguće rešenje nameće se koncept agregacije u multienergetsku, kompozitnu (kooperativnu, kolaborativnu) virtualnu elektranu. Investiranje u njeno kreiranje, razvoj, tehničku realizaciju i ekspanziju može se ispostaviti kao povoljnije rešenje od ulaganja u dotrajale termoelektrične kapacitete čija se proizvodnja zasniva na niskokaloričnom i ekološki sve manje prihvatljivom lignitu. U tom pogledu, kompozitna virtualna elektrana može olakšati očekivani veći obim integracije V-RES i faktički predstavljati zamenski kapacitet u EES Srbije.

Za realizaciju virtualne elektrane, prvo je potrebno definisati metodologiju na osnovu koje bi se ocenjivali tehnički uslovi upravljivosti za krajnje kupce koji žele da budu

deo virtualne elektrane. Metodologija bi morala da sadrži ocenu dostupnosti upravljive potrošnje krajnjeg korisnika, kapacitet skladišta i rezerve, kao i maksimalnu aktivnu snagu skladišta. Veliki broj krajnjih korisnika, koji bi bio uključen u realizaciju virtualne elektrane, generisao bi velike administrativne troškove. Primarno treba koristiti veća skladišta. Najpre je potrebno iskoristiti upravljivost značajnih korisnika EES-a. Sa stanovišta iskorišćenja skladišnih kapaciteta, redosled u strategiji investiranja u ovu komponentu kompozitne virtualne elektrane, bio bi sledeći:

- iskoristiti postojeća termalna skladišta,
- iskoristiti postojeća skladišta potencijalne energije,
- ulaganje u nova termalna skladišta,
- kada se iscrpe sve opcije izgradnje i primene termalnih skladišta, uključiti u projekat realizacije skladišta na bazi baterija i vodonika.

Jasno je da je jedan od preduslova za realizaciju virtualne elektrane primena savremenih, „pametnih“ uređaja, kakvi su daljinski upravljani prekidači, zatim primena odgovarajućih softvera za upravljanje i komandovanje i odgovarajućih protokola za dvosmernu komunikaciju i prenos podataka. Što se tiče složene strukture sistema virtualne elektrane, kao najpodesniji za njeno organizovanje u efikasan sistem kontrole, obrade podataka, upravljanja i odlučivanja, ocenjen je koncept zasnovan na IIoT. Veća fleksibilnost na strani potrošnje električne energije i distribuirane proizvodnje, agregirana i upravljana kroz tako osmišljen koncept virtualne elektrane, može dovesti do brojnih benefita u pogledu efikasnosti i troškova rada EES-a.

U zavisnosti od tehničkih karakteristika i mogućnosti agregirane proizvodnje i potrošnje, Agregator tj. operator virtualne elektrane, može je koristiti za trgovinu i optimizaciju sopstvenog portfelja na veleprodajnom tržištu, kao i za pružanje sistemskih usluga operatorima prenosnog i distributivnog sistema.

Treba istaći da preduslov za efikasnu implementaciju agregacije jeste postojanje odgovarajućeg pravno-regulatornog okvira sa otklonjenim barijerama za nastup Agregatora na različitim tržištima, uključujući i tržište pomoćnih usluga.

LITERATURA

- [1] Belonogova N, Kaipia T, Lassila J, Partanen J, „Demand response: Conflict between distribution system operator and retailer“, CIREN 21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, 2011, Paper No. 1085
- [2] Vukovljak M, Janković M, „Novi učesnici na tržištu električne energije“, 35. Savetovanje CIGRE Srbije, Zlatibor, 2021.
- [3] Ropuszyńska-Surma E., Borgosz-Koczwara (Weglarz) M., „A virtual power plant as a cooperation network“, *Marketing and Management of Innovations*, Issue 4, 2018, DOI: 10.21272/mmi.2018.4-13
- [4] Adu-Kankam K. O, Camarinha-Matos L, „Towards Collaborative Virtual Power Plants“, Chapter, *Technological Innovation for Resilient Systems*, pp 28-39, Advances in Information and Communication

- Technology, vol 521, Springer, January 2018, DOI: 10.1007/978-3-319-78574-5_3
- [5] Adu-Kankam K. O, Camarinha-Matos L, „Towards collaborative Virtual Power Plants: Trends and convergence“, Article, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 16, December 2018, Pages 217-230, DOI: 10.1016/j.segan.2018.08.003
- [6] Chen X., Yang G., Lv Y., Huang Z., „Power Management System Based on Virtual Power Plant“, 2019 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **356** 012006
- [7] Przychodzień A., „Virtual power plants - types and development opportunities“, E3S Web of Conferences 137, 01044 (2019), RDPE 2019, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913701044>
- [8] Agbozo E., Masih A., „Virtual power plants: Powering smart cities of the future“, 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, DOI: 10.5593/sgem2018/4.1/S17.105
- [9] Yavuz L., Önen A., Muyeen S.M., Kamwa I., „Transformation of Microgrid to Virtual Power Plant – A Comprehensive Review“, IET Generation, Transmission and Distribution, January 2019, DOI: 10.1049/iet-gtd.2018.5649.
- [10] Zhang J., „The Concept, Project and Current Status of Virtual Power Plant: A Review“, 2022 *J. Phys.: Conf. Ser.* 2152 012059
- [11] Gomes Makohin D. et al., „District Power Plant as a Virtual Power Plant Solution for Utilities“, Conference Paper, June 2015, DOI: 10.1109/ISIE.2015.7281550
- [12] Li S., Yu G., Zhou X., Xing N., „Research on New Urban Virtual Power Plant System“, E3S Web of Conferences 248, 02004 (2021) CAES 2021, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124802004>
- [13] Mohanty S., Choppali U., Kougianos E., „Everything You Wanted To Know About Smart Cities: The Internet Of Things Is The Backbone“, IEEE Consumer Electronics Magazine, vol: 5 (3), 2016, pp 60-70
- [14] Tranchita C., „France Pilots Virtual Power Plant“, Research, April 2016, DOI: 10.13140/RG.2.1.2296.6165, <http://tdworld.com/grid-opt-smart-grid/france-pilots-virtual-power-plant>
- [15] EMoT, dostupno na: <https://navitasoft.com/en/news/what-is-energy-market-of-things> (pristupljeno novembra 2022.)
- [16] Kankam O. Adu-Kankam and Luis M. Camarinha-Matos, „A Framework for Collaborative Virtual Power Plant Ecosystem“, Chapter, in: *Collaborative Networks in Digitalization and Society 5.0. PRO-VE 2022*. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 662. Springer, Cham., September 2022, https://doi.org/10.1007/978-3-031-14844-6_13
- [17] Omelčenko, V., Kavanagh, R., „edgeFLEX Project – D3.3 Report on VPP Optimisation, V2 (WP3 – Optimisation of a VPP consisting of variable and dispatchable RES)“, ALPIQ, March 31, 2022
- [18] Zhang, Z., et al., „Optimization scheduling of virtual power plant with carbon capture and waste incineration considering P2G coordination“, *Energy Reports* 8(5): 7200-7218, November 2022, DOI: 10.1016/j.egy.2022.05.027
- [19] Ju, L., et al., „Bi-level electricity-carbon collaborative transaction optimal model for the rural electricity retailers integrating distributed energy resources by virtual power plant“, *Energy Reports* 8(95): 9871-9888, November 2022, DOI: 10.1016/j.egy.2022.07.171
- [20] Hongliang, W., Benjie, L., Daoxin, P., Ling, W., Jun, X., „Virtual Power Plant Participates in the Two-Level Decision-Making Optimization of Internal Purchase and Sale of Electricity and External Multi-Market“, *IEEE Access* PP(99):1-1, September 2021, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3112549
- [21] Milić S. D, Babić B. M, „Towards the Future - Upgrading Existing Remote Monitoring Concepts to IIoT Concepts“, *IEEE Internet of Things Journal*, Electronic ISSN: 2327-4662, DOI: 10.1109/IIOT.2020.2999196, Vol. 7, Issue 12, December 2020, pp. 11693-11700.
- [22] Milić S. D, Veinović S, Ponjavić M, „Industrial Internet of Things (IIoT) – Strategies and Concepts“, XIX International Symposium Infoteh-Jahorina 2020, Proc., Vol.19, KST-4, Jahorina, Republic of Srpska, March 18-20, 2020, pp. 81-85.
- [23] Milić S, Stojadinović G, Tomić N, „Prilagođenje postojećih sistema daljinskog nadzora IIoT konceptima sa hijerarhijski definisanim nivoima obrade podataka“, *CIGRE - Srbija 35. savetovanje*, Zbornik radova, ISBN: 978-86-82317-84-5, rad R D2 - 09, 03 - 08. oktobar 2021. godine, Zlatibor, Srbija.
- [24] Zhuang W. W, Morgan C, Nakamoto I, Jiang M, „Big Data Analytics in E-commerce for the U.S. and China Through Literature Reviewing“, *Journal of Systems Science and Information* 9, no. 1 (2021): 16-44. <https://doi.org/10.21078/JSSI-2021-016-29>
- [25] Kang C, Wang Y, Xue Y, Mu G, Liao R, „Big data analytics in China's electric power industry: modern information, communication technologies, and millions of smart meters“, *IEEE Power and Energy Magazine*, 16(3), pp.54-65, 2018.
- [26] 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.
- [27] Belarus energy profile, IEA, 2019.
- [28] <https://newsroom.porsche.com/en.html>
- [29] Schweppe F. C, Tabors R. D, Kirtley J. L, Outhred H. R, Pickel F. H, Cox A. J, „Homeostatic utility control“, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1980, <https://doi.org/10.1109/TPAS.1980.319745>
- [30] Tindemans S. H, Trovato V, Strbac G, „Decentralized Control of Thermostatic Loads for Flexible Demand Response“, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2015; 23. <https://doi.org/10.1109/TCST.2014.2381163>.
- [31] Georgijević N, Vlasisavljević D, Šiljkut V, Misović D, Milić S, „Primena koncepta „Industrijski internet

- stvari“ na primeru upravljivog električnog bojlera kao potrošača i analiza mogućnosti u regulaciji učestanosti“, 35. Savetovanje CIGRE Srbije, Zlatibor, 2021.
- [32] Kuravi S, Goswami Y, Stefanakos E. K, Ram M, Jotshi C, Pendyala S, Trahan J, Sridharan P, Rahman M, Krakow B, “Thermal energy storage for concentrating solar power plants”, *Technology and Innovation*, Vol. 14, pp. 81–91, 2012, DOI: <http://dx.doi.org/10.3727/194982412X13462021397570>
- [33] IEA-SHC TECH SHEET 45.B.3.2, Seasonal pit heat storages - Guidelines for materials & construction December 2014
- [34] Bertelsen N, Petersen U. R, “Thermal Energy Storage in Greater Copenhagen”, Master thesis, Aalborg University Copenhagen, 2017.
- [35] Lacko R., “Unlocking the aggregation in regional markets Practical experience & best practice (aggregator’s perspective)”, Energy Community Workshop, 2022
- [36] BEUC, Flexible Electricity Contracts Report, April 2019
- [37] ENTSO-E Transparency Platform, <https://transparency.entsoe.eu/>

BIOGRAFIJE



Vladimir M. Šiljkut je rođen 1966. godine u Beogradu, gde je diplomirao 1994. i doktorirao 2015. godine na Elektrotehničkom fakultetu. Radio je u „Elektrodistribuciji Beograd“ (1995-2013) na poslovima planiranja, razvoja i istraživanja distributivnih mreža, vodio Laboratoriju za brojila električne

energije i Centar za integrisani sistem menadžmenta. U „Elektroprivredi Srbije“ je vodio Sektor za trgovinu i odnose sa tarifnim kupcima u Direkciji za distribuciju električne energije (2013-2015). Potom je (2015/16) vodio i koordinirao projekte na smanjenju gubitaka u Operatoru distributivnog sistema. Od 2016. do 2022. je bio šef Službe za pripremu novih ulaganja u elektrane i obnovljive izvore energije, na kojoj poziciji je i trenutno, a u periodu od marta 2022. do jula 2023. je bio savetnik za poslovni sistem direktora EPS. Više od jedne decenije bio je angažovan i kao gostujući predavač za oblasti distribucije i maloprodaje električne energije i elektrana i razvodnih postojanja, na Višoj elektrotehničkoj školi u Beogradu. V. Šiljkut je i (ko)autor više od 75 članaka i radova (od toga četiri članka u međunarodnim časopisima), objavljenih u publikacijama ili prezentovanih na brojnim nacionalnim, regionalnim i međunarodnim konferencijama. Ovi radovi su iz domena metoda prognoze opterećenja, optimalnog planiranja mreže, procene gubitaka električne energije, obnovljivih izvora energije, upravljanja opterećenjem, energetskih transformatora, metrologije i dr. Koautor je i jedne praktične knjige iz elektrodistribucije i maloprodaje električne energije, na srpskom jeziku. Član je Srpskog nacionalnog komiteta CIRED, njegovog Izvršnog odbora, najviše aktivan u sesiji 1 – Komponente mreže (kao predsednik), u sesiji 2 – Kvalitet električne energije (član) i u sesiji 5 – Planiranje distributivnih mreža.



Nikola Georgijević je rođen 1987. godine u Beogradu, gde je studirao na Elektrotehničkom fakultetu. Tu je stekao diplome master inženjera elektrotehnike i računarstva 2011. i doktora nauka 2020. godine. Radio je u Institutu Nikola Tesla (od 2011. do 2020.), gde se bavio istraživanjima iz oblasti

analize i optimizacije EES, a od 2020. godine je zaposlen u Elektroenergetskom koordinacionom centru kao rukovodilac sektora za razvoj softvera. Oblasti interesovanja su mu računarsko programiranje, matematičko modelovanje, optimizacija i analize stabilnosti EES, mašinsko učenje i veštačka inteligencija. Rukovodio je i učestvovao na više stručnih projekata u regionima Jugoistočne Evrope, Bliskog istoka, Afrike i Južne Amerike.



Saša Milić je rođen 11. jula 1967. godine u Beogradu. Diplomirao je 1993. godine, magistrirao je 2000. godine i doktorirao 2008. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Naučni savetnik je od 2021. godine. Oblasti interesovanja i stručne ekspertize su mu: električna i magnetska merenja, laserska tehnika, optoelektronika i infracrvena tehnika, fazi logika, mašinsko učenje i veštačka inteligencija, internet stvari i industrijski internet stvari, analiza i procena rizika, razvojne strategije i algoritmi upravljanja i odlučivanja, monitoring sistemi i ekspertski sistemi. Rukovodio je sa više naučnih, stručnih i inovacionih projekata, Objavio preko 100 naučnih radova u zemlji i inostranstvu. Objavio je 10 tehničkih rešenja i održao više stručnih i naučnih predavanja u eminentnim naučnim ustanovama. Od 1994. je zaposlen u Elektrotehničkom institutu Nikola Tesla, Univerziteta u Beogradu. Član je više naučnih i stručnih odbora konferencija i časopisa.



Aleksandar Latinović je rođen u Bihaću, 6. septembra 1986. godine. Završio je Zrenjaninsku gimnaziju, a osnovne i master studije završio je na Elektrotehničkom fakultetu, Univerzitet u Beogradu, na Odseku za energetiku. Od 2010. godine zaposlen je u EPS. Njegova posebna interesovanja su oblast pomoćnih usluga u elektroenergetici, prvenstveno turbinska regulacija, a pored toga druga interesovanja su digitalizacija u energetici kao i tehničko-pravna regulativa u oblasti energetike. Tokom školovanja, Aleksandar je ostvario sledeće uspehe: đak generacije osnovne i srednje škole, više nagrada na republičkim i saveznim takmičenjima iz fizike, nagrade na takmičenju u znanju na Elektrijadi, kao

i ostvarena prosečna ocena tokom osnovnih i master studija iznad 9,5. Nakon zaposlenja Aleksandar je učestvovao u više projekata razvoja turbinskih regulatora koji su implementirani u EPS, kao i razvoja simulatora termoelektrana. Od projekata kojima je Aleksandar direktno upravljao izdvajaju se projekti podizanja tehničkog kvaliteta pomoćnih usluga kao i jedan od najvećih projekata digitalizacije u Republici Srbiji, projekat PROTIS.



Dušan Vlasiavljević je rođen 1988. godine u Beogradu. Stekao je diplomu master inženjera elektrotehnike i računarstva 2012. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Trenutno obavlja funkciju rukovodioca tima za tržište energije i energetske analize u Elektroenergetskom koordinacionom centru. Glavne oblasti profesionalnog angažovanja obuhvataju modelovanje i analizu tržišta električne energije, optimizaciju proizvodnog portfelja, planiranje razvoja elektroenergetskog sistema, razvoj mehanizama i procedura vezanih za veleprodajno i balansno tržište električne energije, kao i tehno-ekonomske analize investicionih projekata u proizvodne i prenosne objekte. Angažovan na velikom broju regionalnih i međunarodnih projekata za elektroprivrede, operatore prenosnih sistema i međunarodne institucije (Svetska Banka, Evropska

komisija, USAID, Energetska Zajednica) u Evropi, Crnomorskom regionu, južnom Kavkazu, jugoistočnoj i centralnoj Aziji.



Radoš Čabarkapa je rođen 1. maja 1986. godine u Beogradu. Završio je osnovnu školu „Petar Petrović Njegoš“ kao nosilac Vukove diplome i đak generacije. U periodu od 2001. do 2005. godine pohađa Matematičku gimnaziju u Beogradu. Nakon toga, 2005. godine upisuje osnovne studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na odseku za energetiku (smer elektroenergetski sistemi), koje završava 2009. godine, dok je master studije na istom fakultetu završio 2012. godine. Od 1. juna 2010. godine zaposlen je u javnom preduzeću „Elektroprivreda Srbije“ gde je obavljao više pozicija u Poslovima trgovine električnom energijom, a trenutno je u istom preduzeću na poziciji Šefa službe za podršku planiranju i analizu ostvarenja planova u Poslovima upravljanja elektroenergetskim portfeljom. Oblasti interesovanja i stručnog delovanja su mu usmerene na analizu tržišta električne energije, zatim na softversko modelovanje u oblasti energetike, kao i na izazove tranzicije na OIE. Kao član radnih grupa Ministarstva rudarstva i energetike učestvovao je u izradi strateških dokumenata, podzakonskih akata i Zakona o korišćenju OIE.

Vladimir M. Šiljkut (Šiljkut)¹, Nikola Georgijević², Saša Milić³,
Aleksandar Latinović¹, Dušan Vlaisavljević², Radoš Čabarkapa¹

Aggregation of Composite Virtual Power Plant - Application Possibilities and Limitations in Serbia



¹ Joint Stock Company „Elektroprivreda Srbije“, Belgrade, Serbia*

² Electrical Power Coordination Center, Belgrade, Serbia

³ „Nikola Tesla“ Electrotechnical Institute, Belgrade, Serbia

Category of article: Review article

Highlights

- A detailed review of the literature on virtual power plants, an overview of concepts and particular solutions is given
- Considered energy sources, methods of aggregation and technical potential for establishing a virtual power plant
- Proposed composite virtual power plant concept, estimated costs, benefits, legal restrictions

Abstract

Serbian power industry increasingly faces the challenges of the future. Electricity generation is based mostly on low-caloric lignite. Its deteriorating quality causes a decline in the level of safety, reliability, and efficiency of thermal power plants, increasing pollution. Beside their revitalization, there are huge investments in new, expensive systems for reduction of pollutants' emissions. With the announced introduction of carbon taxes, which will grow rapidly in the future, the profitability of these power sources and the market competitiveness of the price of electricity obtained from them become extremely questionable and uncertain. In inevitable decarbonization process, a strategic question arises for Serbian experts – how to compensate significant basic (thermal) capacities, which will be probably shut down?

At the other end of the system, the problem is inefficient use of electricity, unacceptably high level of its losses, including those due to its theft. At the same time, the technical possibilities for load management and for the application of a larger number of tariffs were not used sufficiently, to provide the desired demand response.

In such circumstances, the key question is - what investment strategy to choose? This paper proposes a solution that would have a positive impact on both ends of the system and its actors, but also on the networks between them and their operators. "Electric Power Industry of Serbia" could use the announced introduction of aggregator, as a new participant in the electricity market, for a kind of joint venture with its end-users, to establish a composite virtual power plant. It would represent a new, replacement capacity for the power industry, and a source of savings and even income for customers. Such a power plant would include various, dispersed renewable sources, both of electricity and heat, energy storage systems, chargers for electric vehicles, controllable customer load and various demand response programs. By increasing the volume of such aggregation, a composite virtual power plant would enable the aggregator to provide ancillary services to the transmission system operator, which would be an additional benefit. In synergy with other necessary, strategic steps, such a concept could provide Serbia more secure energy future.

Keywords

**Aggregation, Ancillary Services, Decarbonization, Demand Response, Distributed Generation,
Load Management, Virtual Power Plant**

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Aggregation of Composite Virtual Power Plant - A Possible Answer to the Challenges for the Serbian Power System in the Decarbonization Process", awarded by Expert Committee EC-5 Distribution System planning at the 13th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 12-16, 2022

Received: April 7th, 2023

Reviewed: May 9th, 2023

Modified: May 16th, 2023

Approved: May 25th, 2023

*Corresponding Author: Vladimir M. Šiljkut

Phone: +381-64-897-46-72 E - mail: vladimir.siljkut@eps.rs

Maja Grbić¹, Dejan Hrvic¹, Aleksandar Pavlović¹

Analiza izloženosti ljudi magnetskoj indukciji u stanu usled uticaja niskonaponskih kablovskih priključnih kutija

¹ ELEKTROTEHNIČKI INSTITUT NIKOLA TESLA AKCIONARSKO DRUŠTVO BEOGRAD,
Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija¹

Kategorija rada: Stručni rad

Ključne poruke

- Kablovske priključne kutije mogu biti značajan izvor magnetskog polja kada se nalaze u neposrednoj blizini zona povećane osetljivosti
- Neophodno je sprovođenje prvih ispitivanja nejonizujućeg zračenja u zonama povećane osetljivosti koje na svom zidu imaju kablovske priključne kutije
- Kablovske priključne kutije mogu biti izvor nejonizujućeg zračenja od posebnog interesa

Kratak sadržaj

U radu su analizirani nivoi magnetske indukcije u stanu koji se javljaju usled uticaja kablovskih priključnih kutija. Analiza je zasnovana na rezultatima merenja magnetske indukcije u stanu. U razmatranom primeru kablovske priključne kutije se nalaze na spoljašnjem zidu stana što dovodi do povišenih nivoa magnetske indukcije u prostoriji koja se nalazi sa druge strane zida. Pokazano je da vrednosti magnetske indukcije u stanu mogu da prekorače vrednost od 4 μ T, što predstavlja kriterijum da izvor bude kategorisan kao izvor od posebnog interesa, u skladu sa odredbama važeće nacionalne regulative iz oblasti zaštite stanovništva od nejonizujućeg zračenja. Cilj rada je da se pokaže da u pomenutoj konfiguraciji vrednosti magnetske indukcije u stanu mogu biti značajne, kako bi se u budućnosti izbegla primena ovakvih tehničkih rešenja prilikom projektovanja i izgradnje novih objekata koji predstavljaju zone povećane osetljivosti. Takođe je ukazano na značaj sprovođenja ispitivanja u stanovima i drugim zonama povećane osetljivosti koje u svojoj neposrednoj blizini imaju kablovske priključne kutije.

Ključne reči

Zona povećane osetljivosti, kablovska priključna kutija, magnetsko polje, magnetska indukcija, nejonizujuće zračenje, referentni nivo

Napomena:

Članak predstavlja proširenu, unapređenu i dodatno recenziranu verziju rada „Analiza nivoa magnetske indukcije u stanu usled uticaja niskonaponskih priključnih kutija“, nagrađenog u Stručnoj komisiji STK-1 Komponente mreža, na 13. Savetovanju CIRED Srbija, Kopaonik, 12-16. septembra 2022

Primljeno: 7. april 2023. Recenzirano: 26. maj 2023.
Izmenjeno: 7. jun 2023. Odobreno: 3. jul 2023.

¹ Maja Grbić, Koste Glavinića 8a, Beograd,
Tel. +381-64-825-97-55 E - mail: maja@ieent.org

1. UVOD

U radu su analizirani nivoi magnetske indukcije koji se javljaju u stanu usled uticaja kablovskih priključnih kutija (KPK). U razmatranom slučaju kablovske priključne kutije se nalaze na spoljašnjem zidu stana, zbog čega je potrebno izvršiti ispitivanje nivoa magnetske indukcije u prostoriji koja se nalazi sa druge strane zida. Ispitivanje je zasnovano na merenju magnetske indukcije u stanu. Na kablovske priključne kutije priključeni su kablovski vodovi iz dve transformatorske stanice (TS) naponskog nivoa 10/0,4 kV, koje se nalaze u istoj zgradi. U radu je dat kratak pregled međunarodne [1]–[3] i nacionalne regulative [4]–[10] iz oblasti zaštite stanovništva od elektromagnetskih polja, a rezultati dobijeni merenjem magnetske indukcije u stanu upoređeni su sa granicama izlaganja stanovništva elektromagnetskom polju koje su propisane važećom nacionalnom regulativom iz ove oblasti. Cilj rada je da se pokaže da u pomenutoj konfiguraciji vrednosti magnetske indukcije u stanu mogu biti značajne, kako bi se u budućnosti izbegla ovakva tehnička rešenja, kao i da se ukaže na značaj kablovskih priključnih kutija kao izvora magnetskog polja, kako bi se vodilo računa o njihovoj lokaciji prilikom projektovanja novih objekata. U radu je takođe ukazano na značaj sprovođenja ispitivanja u stanovima i drugim zonama povećane osetljivosti koje u svojoj neposrednoj blizini imaju kablovske priključne kutije ili razvodne ormare niskog napona.

2. MEĐUNARODNA I NACIONALNA REGULATIVA U OBLASTI ZAŠTITE STANOVNIŠTVA OD NEJONIZUJUĆIH ZRAČENJA

2.1 Međunarodna regulativa

Međunarodna komisija za zaštitu od nejonizujućih zračenja je 1998. godine objavila Preporuku za ograničavanje izlaganja vremenski promenljivim električnim, magnetskim i elektromagnetskim poljima učestanosti do 300 GHz [1]. Cilj preporuke jeste da obezbedi smernice za ograničavanje izlaganja elektromagnetskim poljima, koje će obezbediti zaštitu od dokazanih štetnih uticaja na zdravlje. Preporukom [1] definisane su granice izlaganja elektromagnetskom polju koje se razlikuju za stanovništvo i za radnike, pri čemu su za stanovništvo utvrđene niže granice. Granice izloženosti ljudi takođe zavise od frekvencije polja. Granica izloženosti stanovništva propisana Preporukom [1] za magnetsku indukciju učestanosti 50 Hz iznosi 100 μ T.

Na osnovu predloga Evropske komisije, Savet Evropske unije usvojio je 1999. Preporuku [2], koja predstavlja okvir za ujednačeniju zaštitu stanovništva od nejonizujućeg zračenja. Preporuka [2] utvrđuje skup ograničenja izlaganja elektromagnetskim poljima kojih bi trebalo da se pridržavaju sve zemlje Evropske unije prilikom usvajanja nacionalnih propisa. Preporučena ograničenja preuzeta su iz Preporuke [1] bez ikakvih izmena, pri čemu je oblast uređivanja Preporuke [2] isključivo javna bezbednost, tj. zaštita životne sredine.

Pošto je zaštita stanovništva odgovornost svake pojedinačne države, ostavljena je mogućnost da nacionalni propisi definišu niže vrednosti ograničenja izlaganja i time dodatno pooštire zahteve. Pregled granica izlaganja propisanih u zemljama Evropske unije, ali i u pojedinim zemljama izvan Evrope, dat je u [11]. Pojedine evropske zemlje su u svojim nacionalnim propisima usvojile granice izlaganja utvrđene Preporukom [2], dok su neke zemlje propisale strože granice izlaganja. U nekim evropskim zemljama propisane su različite granice izlaganja za nove i zatečene izvore polja.

Međunarodna komisija za zaštitu od nejonizujućih zračenja je 2010. godine objavila Preporuku za ograničavanje izlaganja vremenski promenljivim električnim i magnetskim poljima učestanosti od 1 Hz do 100 kHz [3]. Ova preporuka je zamenila Preporuku [1] u delu koji se odnosi na opseg učestanosti od 1 Hz do 100 kHz. Granica izloženosti stanovništva propisana Preporukom [3] za magnetsku indukciju učestanosti 50 Hz iznosi 200 μ T.

2.2 Nacionalna regulativa

Zaštita stanovništva od nejonizujućih zračenja pravno je regulisana u Republici Srbiji tokom 2009. godine, usvajanjem Zakona o zaštiti od nejonizujućih zračenja [4] i šest pratećih pravilnika [5]–[10]. Predmet uređivanja Pravilnika [5] predstavlja ograničenje izlaganja stanovništva nejonizujućem zračenju isključivo u tzv. „zonama povećane osetljivosti”. Prema [5] i [6] zone povećane osetljivosti su „područja stambenih zona u kojima se osobe mogu zadržavati i 24 sata dnevno; škole, domovi, predškolske ustanove, porodilišta, bolnice, turistički objekti, te dečja igrališta; površine neizgrađenih parcela namenjenih, prema urbanističkom planu, za navedene namene, u skladu sa preporukama Svetske zdravstvene organizacije”. Pravilnikom [5] utvrđen je referentni granični nivo izlaganja koji za magnetsku indukciju industrijske učestanosti (50 Hz) u zonama povećane osetljivosti iznosi 40 μ T. Pravilnik [6] definiše i pojam izvora nejonizujućeg zračenja od posebnog interesa. Prema članu 3 Pravilnika [6] „izvorima nejonizujućih zračenja od posebnog interesa smatraju se izvori elektromagnetnog zračenja koji mogu da budu štetni po zdravlje ljudi, a određeni su kao stacionarni i mobilni izvori čije elektromagnetno polje u zoni povećane osetljivosti dostiže najmanje 10% iznosa referentne, granične vrednosti propisane za tu frekvenciju”. U slučaju magnetske indukcije industrijske učestanosti 10% referentne granične vrednosti iznosi 4 μ T. Prema članu 7 Pravilnika [6] „nakon izgradnje, odnosno postavljanja objekta koji sadrži izvor nejonizujućeg zračenja, a pre izdavanja dozvole za početak rada ili upotrebne dozvole, vrši se prvo ispitivanje, odnosno merenje nivoa elektromagnetnog polja u okolini izvora”. Prema članu 8 istog pravilnika korisnik izvora za čiju je upotrebu nadležni organ izdao odobrenje, obezbeđuje periodična ispitivanja nakon puštanja izvora u rad i to jedanput svake četvrtne godine za niskofrekventne izvore. Ako se u toku prvog ili periodičnog ispitivanja utvrdi nivo elektromagnetnog polja

manji od 10% propisanih graničnih vrednosti, korisnik neće vršiti periodična ispitivanja, prema članu 11 ovog pravilnika.

3. ISPITIVANJE MAGNETSKOG POLJA

Ispitivanja su sprovedena u skladu sa zahtevima standarda [12]–[15].

Ispitivanja su sprovedena putem merenja efektivnih vrednosti magnetske indukcije (B). Intenzitet vektora magnetske indukcije meren je izotropski, istovremenim merenjem sve tri prostorne komponente vektora u diskretnim vremenskim trenucima. Uređaj koji je korišćen za merenje magnetske indukcije takođe meri i frekvenciju magnetskog polja. Istovremeno sa vrednostima magnetske indukcije merena je i frekvencija polja, koja je u svim slučajevima iznosila 50 Hz. Pošto je izvor elektromagnetskog polja niskog napona i nalazi se sa druge strane zida vrednosti jačine električnog polja u stanu su zanemarljive zbog čega električno polje nije mereno.

Za merenje magnetske indukcije korišćen je uređaj koji je optičkim kablom povezan sa sondom za merenje magnetske indukcije, koja je tokom merenja bila postavljena na stalak od izolacionog materijala (slika 1).

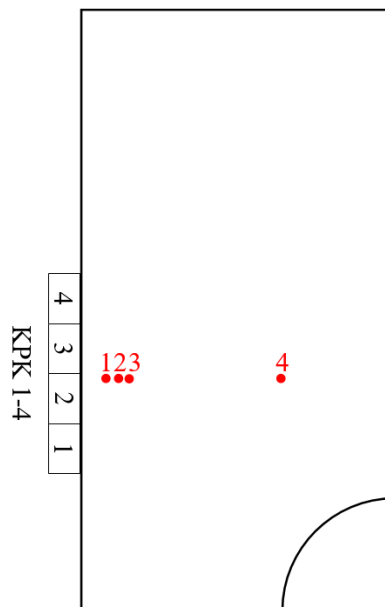


Slika 1. Položaj sonde za merenje magnetske indukcije u stanu (merno mesto 1)

Merni sistem prikazan na slici 1 obezbeđuje istovremeno merenje sve tri prostorne komponente vektora magnetske indukcije, na osnovu čega instrument izračunava i prikazuje rezultantnu vrednost. Merni sistem je etaloniran i ispunjava zahteve standarda [13].

Merenje magnetske indukcije je sprovedeno na visini od 1 m iznad poda prostorije [14], [15]. Preliminarna merenja su izvršena na većem broju mernih mesta koja se nalaze u prostoriji stana na čijem zidu se, sa spoljašnje strane, nalaze kablovske priključne kutije, radi pronalaženja zone u kojoj su nivoi magnetske indukcije najviši i u kojoj će biti sprovedena detaljnija merenja.

Preliminarnim merenjem je utvrđeno da se najviše vrednosti magnetske indukcije javljaju na mernom mestu 1 (slika 2), koje se nalazi na 20 cm od zida na kome se nalaze kablovske priključne kutije. Merno mesto 1 je udaljeno 20 cm od zida, u skladu sa zahtevom standarda [15]. Merenja su sprovedena i na mernom mestu 2 koje se nalazi na 30 cm od ovog zida, mernom mestu 3 koje se nalazi na rastojanju od 35 cm, kao i na mernom mestu 4 koje se nalazi na 160 cm od zida. U trenutku sprovođenja ispitivanja, na osnovu preliminaranih rezultata merenja, bilo je poznato da će u stanu biti neophodna primena mera za smanjenje nivoa magnetske indukcije, koje će biti zasnovane na prekrivanju zida sa čije druge strane se nalaze kablovske priključne kutije, zaštitnim ekranom. Radi poređenja dobijenih rezultata pre i nakon primene mera zaštite, merenja su sprovedena i na mernim mestima 2 i 3, koja se nalaze na rastojanju od približno 20 cm od zida nakon primene mera zaštite, tj. postavljanja zaštitnih ekrana. Merno mesto 4 se nalazi približno na sredini prostorije na mestu na kome se očekuje najduže zadržavanje ljudi.



Slika 2. Položaj kablovskih priključnih kutija u odnosu na prostoriju u stanu i raspored mernih mesta

Vrednosti magnetske indukcije u stanu zavise od trenutne struje opterećenja izvora magnetskog polja (I). Zbog toga je prilikom merenja magnetske indukcije neophodno istovremeno merenje struje opterećenja izvora, radi procene nivoa magnetske indukcije koji bi se javili pri maksimalnom opterećenju izvora. Prilikom svih merenja magnetske indukcije u stanu istovremeno su merene struje svih kablovskih priključnih kutija (slika 3).

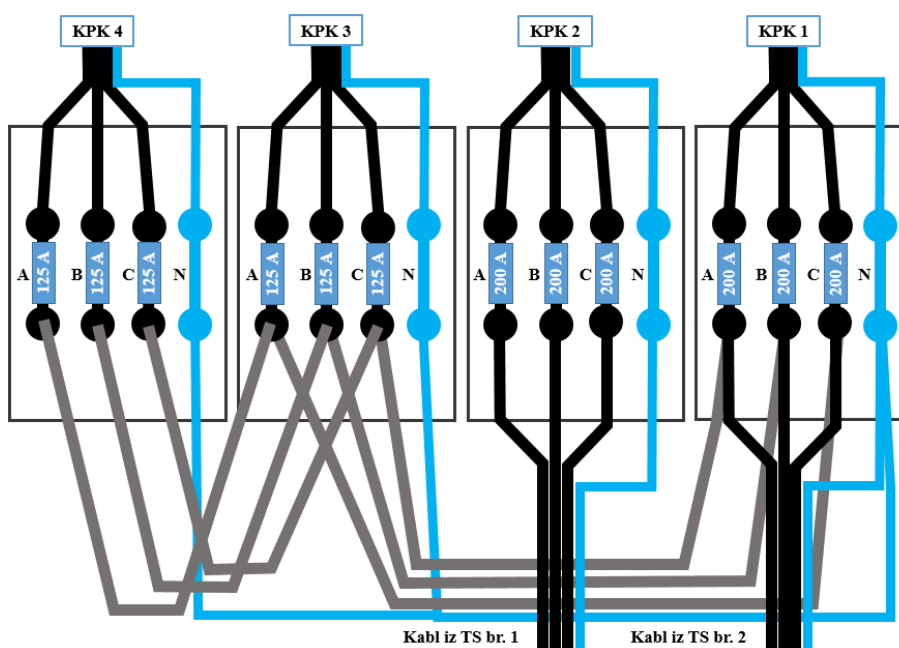


Slika 3. Merenje struje

Šematski prikaz rasporeda i načina povezivanja provodnika u kablovskim priključnim kutijama 1–4 dat je na slici 4.

Na kablovskim priključnim kutijama 1 i 2 struje su merene u sva tri fazna provodnika (I_A , I_B , I_C) i u neutralnom provodniku (I_N). Na kablovskoj priključnoj kutiji 3 merene su struje u sva tri fazna provodnika, na osnovu čega merni instrument izračunava struju u neutralnom provodniku. Na kablovskoj priključnoj kutiji 4, čije je opterećenje u vreme merenja bilo najmanje, merene su struje I_A i I_C , zbog ograničenja opreme koja je korišćena za merenje.

Kao maksimalne struje koje mogu da protiču kroz fazne provodnike usvojene su naznačene struje osigurača. Za KPK 1 i 2 one iznose 200 A, dok za KPK 3 i 4 iznose 125 A.



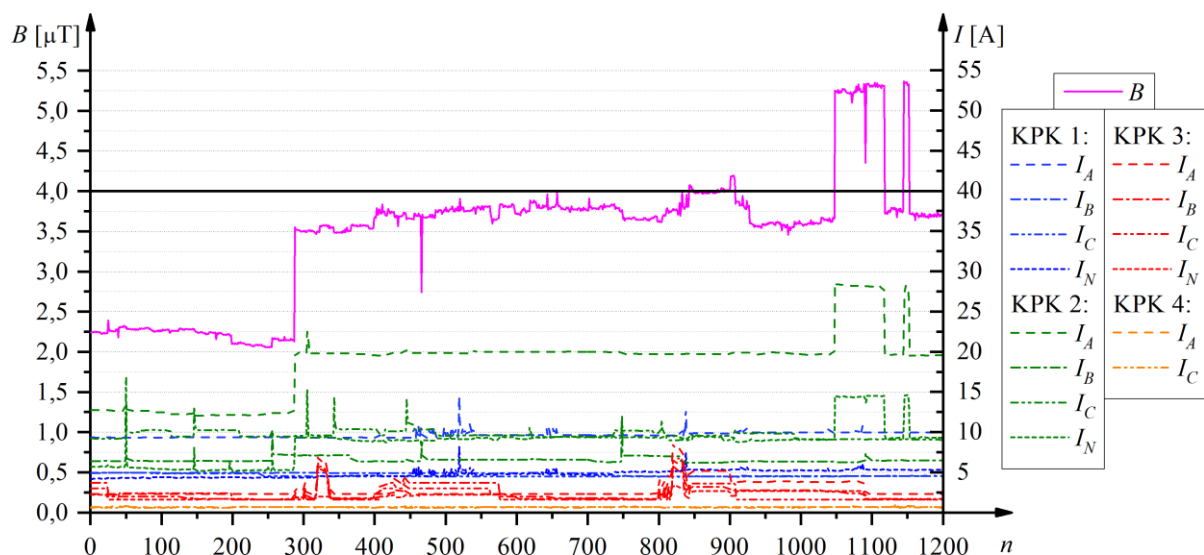
Slika 4. Raspored provodnika u kablovskim priključnim kutijama

4. REZULTATI ISPITIVANJA

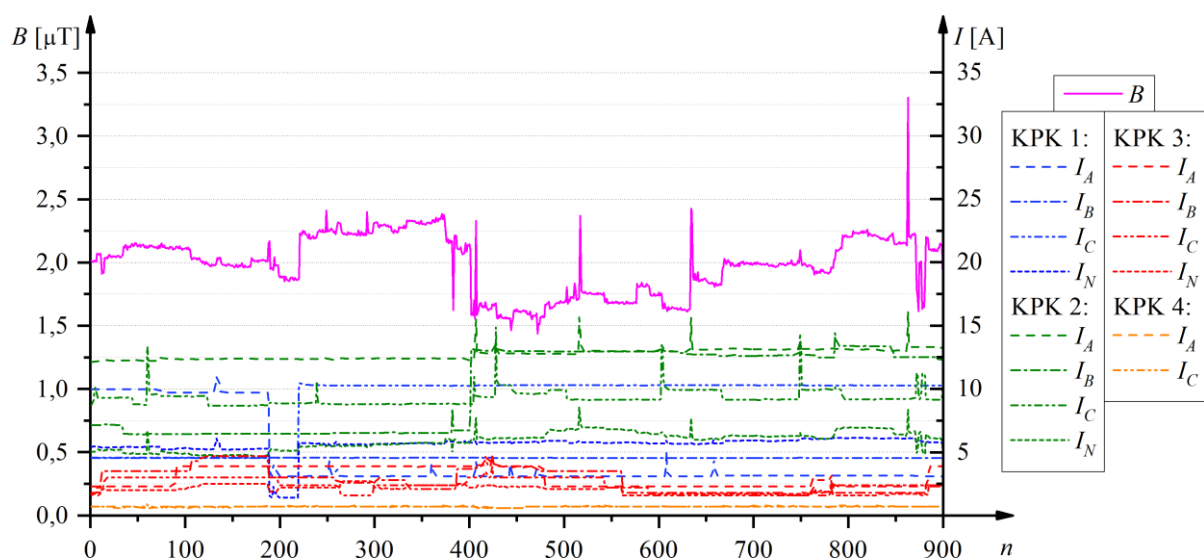
Na mernom mestu 1 magnetska indukcija je merena u trajanju od 20 minuta sa vremenskim intervalom između dva merenja od 1 sekunde, tako da je dobijeno ukupno 1200 rezultata merenja magnetske indukcije. Na mernim mestima 2, 3 i 4 magnetska indukcija je merena u trajanju od po 15 minuta sa vremenskim intervalom između dva merenja od 1 sekunde, tako da je na svakom mernom mestu dobijeno po 900 rezultata. Istovremeno je merena i struja sa istim vremenskim korakom. Rezultati merenja na mernim mestima 1–4 prikazani su na slikama 5–8. U

tabeli I je za svako merno mesto prikazan opseg u kome se nalaze izmerene vrednosti magnetske indukcije, kao i njihova srednja vrednost (B_{sr}) tokom perioda merenja. Takođe su prikazani i opsezi u kojima se nalaze izmerene vrednosti struja.

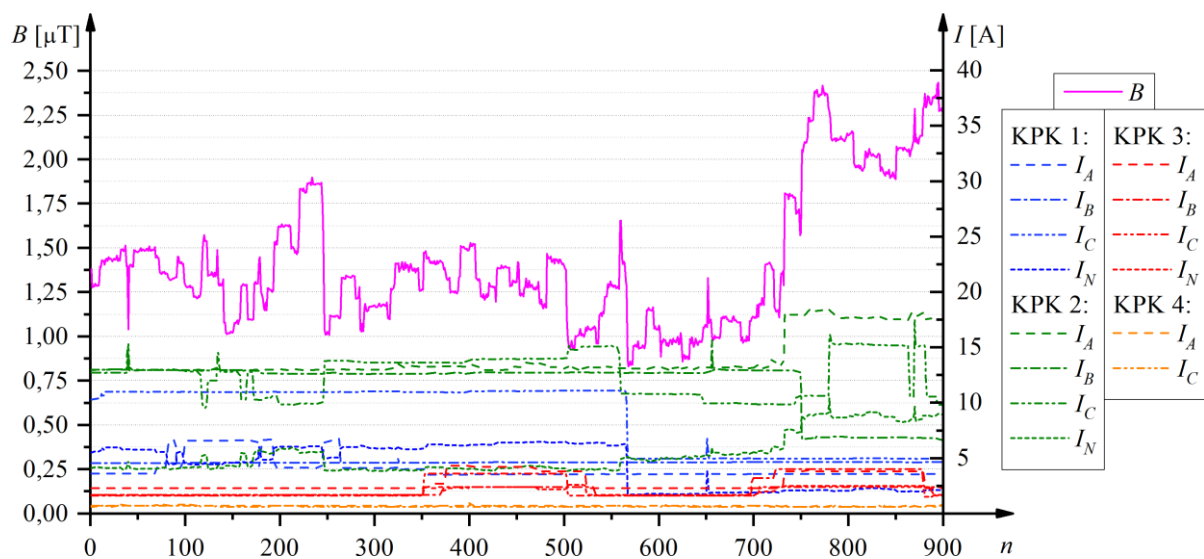
Najviše vrednosti magnetske indukcije izmerene su na mernom mestu 1. Zbog toga je na ovom mestu sprovedeno i dugotrajno merenje magnetske indukcije u trajanju od preko 8 časova (slika 9). Pošto su ispitivanja sprovedena u dužem vremenskom periodu nije bilo moguće obezbediti pristup kablovskim priključnim kutijama, tako da prilikom ovog merenja nisu merene struje.



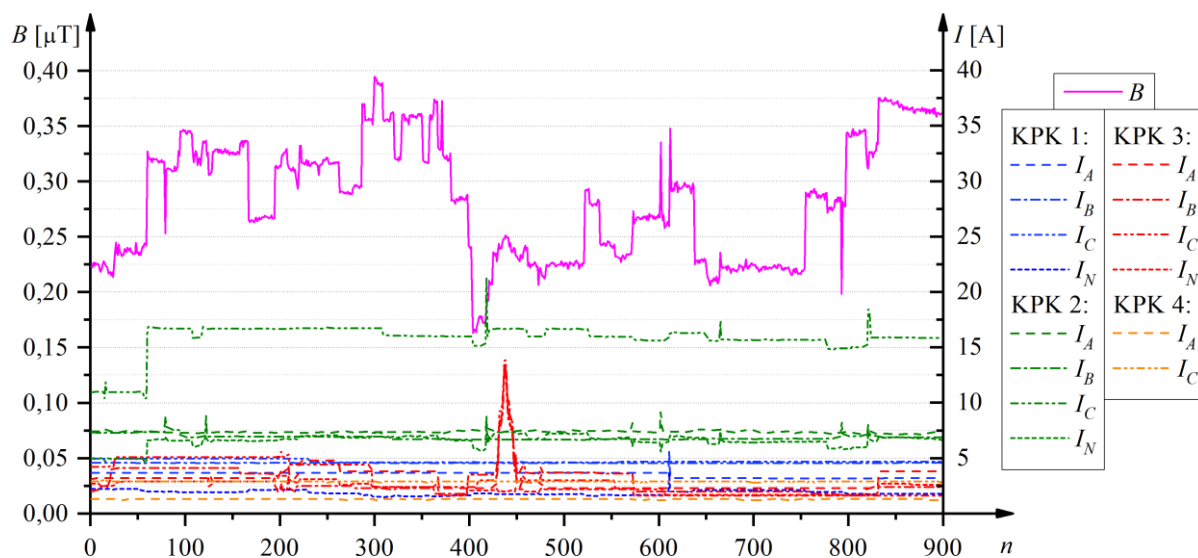
Slika 5. Rezultati merenja na mernom mestu 1



Slika 6. Rezultati merenja na mernom mestu 2



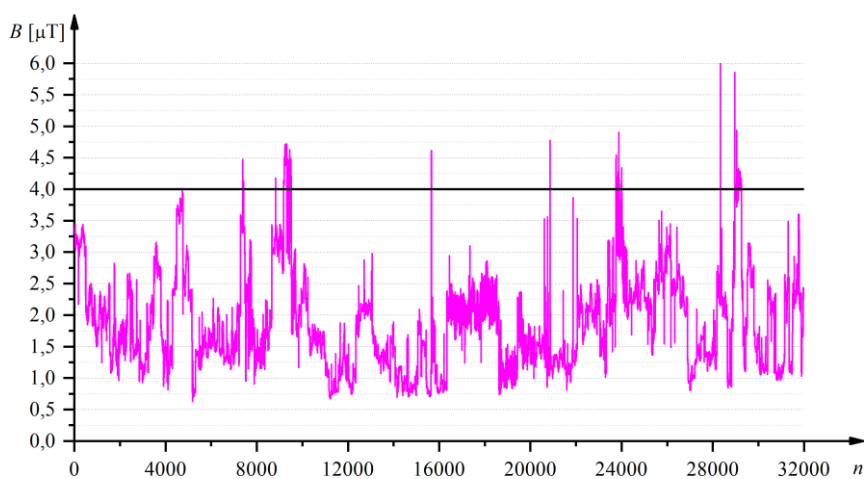
Slika 7. Rezultati merenja na mernom mestu 3



Slika 8. Rezultati merenja na mernom mestu 4

Tabela I Rezultati merenja na mernim mestima 1, 2, 3 i 4

Merno mesto	B (μT)	B_{sr} (μT)	Struja	KPK 1	KPK 2	KPK 3	KPK 4
1	2,05–5,37	3,46	I_A (A)	9,32–14,51	12,02–28,53	2,30–8,70	0,60–1,00
			I_B (A)	4,47–4,96	6,22–11,91	1,60–6,80	/
			I_C (A)	4,49–4,97	8,96–16,81	1,60–5,80	0,60–1,10
			I_N (A)	4,17–8,19	5,10–15,26	1,60–3,50	/
2	1,44–3,30	1,99	I_A (A)	3,03–10,99	12,11–16,13	2,30–4,80	0,60–0,80
			I_B (A)	4,54–4,57	6,41–14,42	1,60–4,80	/
			I_C (A)	4,55–10,45	8,63–14,87	1,60–3,90	0,60–0,90
			I_N (A)	1,40–6,15	4,52–8,56	1,60–2,70	/
3	0,83–2,43	1,42	I_A (A)	3,51–6,75	12,92–18,41	2,30–4,30	0,60–1,00
			I_B (A)	4,54–4,69	6,59–15,78	1,60–4,00	/
			I_C (A)	4,93–11,12	9,55–17,56	1,60–3,60	0,60–1,00
			I_N (A)	1,72–6,48	3,81–10,41	1,50–2,60	/
4	0,16–0,39	0,28	I_A (A)	3,17–5,64	7,10–9,26	2,30–13,70	1,20–1,40
			I_B (A)	4,55–4,60	6,64–8,93	1,60–14,20	/
			I_C (A)	4,60–4,98	10,35–21,36	1,60–13,10	2,80–3,00
			I_N (A)	1,48–3,64	4,59–8,75	1,60–3,50	/



Slika 9. Rezultati dugotrajnog merenja na mernom mestu 1

Na mernom mestu 1, koje je najbliže izvoru magnetskog polja, izmerene su vrednosti magnetske indukcije koje prekoračuju $4 \mu\text{T}$. Vrednosti magnetske indukcije opadaju sa povećanjem rastojanja od izvora, tako da su najniže vrednosti magnetske indukcije izmerene na mernom mestu 4, koje se nalazi na najvećem rastojanju od izvora magnetskog polja. Srednje vrednosti magnetske indukcije B_{sr} na mernim mestima 1, 2, 3 i 4 iznosile su redom $3,46 \mu\text{T}$, $1,99 \mu\text{T}$, $1,42 \mu\text{T}$ i $0,28 \mu\text{T}$.

Na mernom mestu 1, na kome su dobijene najviše vrednosti magnetske indukcije, sprovedeno je i dugotrajno merenje magnetske indukcije u trajanju od preko 8 časova, u periodu od 10.55.26 č. do 19.48.45 č. Merenje je sprovedeno sa vremenskim korakom od 1 sekunde, tako da je dobijeno ukupno 32.000 rezultata merenja magnetske indukcije. Tokom dugotrajnog merenja, izmerene vrednosti magnetske indukcije su se nalazile u opsegu od $0,63 \mu\text{T}$ do $6,00 \mu\text{T}$, dok je srednja vrednost magnetske indukcije u ovom vremenskom periodu iznosila $1,87 \mu\text{T}$.

Prilikom oba merenja na mernom mestu 1 izmerene su vrednosti magnetske indukcije koje prekoračuju vrednost od $4 \mu\text{T}$. Zbog toga se kablovske priključne kutije, koje predstavljaju izvor magnetskog polja u stanu, prema definiciji iz člana 3 Pravilnika [6] kategorišu kao izvor od posebnog interesa. Prema članu 8 istog pravilnika, neophodno je da korisnik izvora obezbedi sprovođenje periodičnog ispitivanja nakon četiri godine. Takođe je značajno napomenuti da su struje opterećenja u vreme merenja bile veoma niske, tako da bi pri većem opterećenju izvora i vrednosti magnetske indukcije u stanu bile znatno više. Struje opterećenja svih provodnika su se tokom merenja magnetske indukcije na mernim mestima 1–4 kretale od $0,60 \text{ A}$ do $28,53 \text{ A}$. Naznačene struje osigurača, koje su usvojene kao maksimalne struje, iznose 200 A za KPK 1 i 2, odnosno 125 A za KPK 3 i 4. Na osnovu odnosa maksimalnih struja i struja u periodu merenja zaključuje se da bi pri većim opterećenjima vrednosti magnetske indukcije u stanu bile značajne.

5. ZAKLJUČAK

Rezultati prikazani u radu ukazuju na činjenicu da kablovske priključne kutije mogu biti veoma značajan izvor magnetskog polja ukoliko se nalaze u neposrednoj blizini zona povećane osetljivosti. U radu je razmatran slučaj u kome se kablovske priključne kutije nalaze na zidu sa čije se druge strane nalazi stan, tj. spavaća soba. Prilikom merenja magnetske indukcije u stanu dobijene su vrednosti koje prekoračuju vrednost od $4 \mu\text{T}$, zbog čega je zaključeno da se u analiziranom slučaju kablovske priključne kutije kategorišu kao izvor od posebnog interesa, u skladu sa članom 3 Pravilnika [6]. Prema članu 8 pomenutog pravilnika, neophodno je sprovođenje periodičnog ispitivanja nakon četiri godine. Zaključak da kablovske priključne kutije mogu biti izvor od posebnog interesa je veoma značajan imajući u vidu činjenicu da u članu 5 Pravilnika [6] one nisu navedene kao stacionarni izvor niskofrekventnog elektromagnetskog polja. Struje opterećenja u vreme merenja su bile znatno niže od maksimalnih struja, zbog čega se zaključuje da bi pri većim

opterećenjima vrednosti magnetske indukcije u stanu bile značajne. Zbog toga su u stanu primenjene mere za smanjenje nivoa magnetske indukcije, koje su zasnovane na prekrivanju zida sa čije druge strane se nalaze kablovske priključne kutije, zaštitnim ekranom. Iako bi se veća efikasnost mera zaštite postigla oklapanjem kablovskih priključnih kutija, u konkretnom slučaju ovakav pristup nije bio dozvoljen. Cilj rada je da se ukaže na značaj kablovskih priključnih kutija kao izvora koji mogu dovesti do povišenih vrednosti magnetske indukcije. Postavljanje kablovskih priključnih kutija na zid sa čije druge strane se nalazi zona povećane osetljivosti predstavlja veoma nepovoljno rešenje, koje bi u praksi trebalo izbegavati. O tome bi naročito trebalo voditi računa prilikom projektovanja novih zgrada, radi izbegavanja nepotrebnog izlaganja ljudi magnetskom polju. Znatno povoljnije rešenje bi bilo kada bi se kablovske priključne kutije postavile tako da se povišene vrednosti magnetskog polja javljaju u pomoćnim prostorijama u kojima se stanari ne zadržavaju u dužem vremenskom periodu, kao što su podrumi, garaže, hodnici i slično. Takođe, pošto se nacionalna regulativa iz oblasti zaštite stanovništva od nejonizujućih zračenja odnosi i na postojeće, tj. zatečene izvore, potrebno je sprovesti prva ispitivanja u zonama povećane osetljivosti koje na svom zidu sa druge strane imaju postavljene kablovske priključne kutije. Kada se radi o novim objektima, potrebno je da „Elektrodistribucija Srbije” pre preuzimanja nove instalacije u svoju nadležnost od investitora pribavi izveštaj o prvim ispitivanjima nejonizujućih zračenja.

ZAHVALNICA

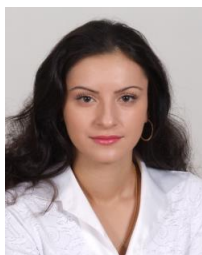
Ovaj rad je podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije kroz Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada NIO u 2023. godini.

LITERATURA

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): “ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, Health Physics, Vol. 74, No. 4, pp. 494–522, 1998.
- [2] 1999/519/EC: “Council recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)”, Official Journal of the European Communities, 30 July 1999.
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): “ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz)”, Health Physics, Vol. 99, No. 6, pp. 818–836, 2010.
- [4] Zakon o zaštiti od nejonizujućih zračenja, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 36/09 od 15. 5. 2009.

- [5] Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 104/09 od 16. 12. 2009.
- [6] Pravilnik o izvorima nejonizujućih zračenja od posebnog interesa, vrstama izvora, načinu i periodu njihovog ispitivanja, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 104/09 od 16. 12. 2009.
- [7] Pravilnik o sadržini evidencije o izvorima nejonizujućih zračenja od posebnog interesa, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 104/09 od 16. 12. 2009.
- [8] Pravilnik o uslovima koje moraju da ispunjavaju pravna lica koja vrše poslove ispitivanja nivoa zračenja izvora nejonizujućih zračenja od posebnog interesa u životnoj sredini, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 104/09 od 16. 12. 2009.
- [9] Pravilnik o uslovima koje moraju da ispunjavaju pravna lica koja vrše poslove sistematskog ispitivanja nivoa nejonizujućih zračenja, kao i način i metode sistematskog ispitivanja u životnoj sredini, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 104/09 od 16. 12. 2009.
- [10] Pravilnik o sadržini i izgledu obrasca izveštaja o sistematskom ispitivanju nivoa nejonizujućih zračenja u životnoj sredini, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 104/09 od 16. 12. 2009.
- [11] Stam R, “Comparison of international policies on electromagnetic fields”, 2018, National Institute for Public Health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport, the Netherlands.
- [12] SRPS EN 50413:2020 „Osnovni standard za procedure merenja i proračuna izloženosti ljudi električnim, magnetskim i elektromagnetskim poljima (od 0 Hz do 300 GHz)”.
- [13] SRPS EN 61786-1:2014 „Merenje jednosmernih magnetskih, naizmjeničnih magnetskih i naizmjeničnih električnih polja u opsegu od 1 Hz do 100 kHz u pogledu izloženosti ljudi – Deo 1: Zahtevi za merne instrumente”.
- [14] IEC 61786-2:2014 “Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings – Part 2: Basic standard for measurements”.
- [15] SRPS EN 62110:2011 „Nivoi električnih i magnetskih polja koja stvaraju sistemi za napajanje naizmjeničnom strujom – Postupci merenja u pogledu opšte izloženosti” i izmena SRPS EN 62110:2011/AS:2015.

BIOGRAFIJE



Maja Grbić je rođena 1985. godine u Beogradu. Završila je diplomske, master i doktorske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na Odseku za energetiku, Smer za elektroenergetske sisteme. Od 2010. godine zaposlena je u Elektrotehničkom institutu Nikola Tesla, u Centru za elektroenergetske

objekte. Tokom 2022. godine izabrana je u najviše zvanje stručnog savetnika i u zvanje naučnog saradnika. Tokom dosadašnjeg rada u Institutu primarno se bavila istraživanjima u oblasti elektromagnetskih polja. Učestvovala je u izradi 22 studije, 46 stručnih ocena opterećenja životne sredine za nove ili rekonstruisane izvore elektromagnetskih polja, 18 elaborata i preko 1000 izveštaja o ispitivanjima. Od 2018. godine obavlja funkciju rukovodioca Specijalizovane laboratorije za ispitivanje elektromagnetskih polja. Objavila je 67 radova, od kojih 49 kao prvi autor. Dobitnica je priznanja za najzapaženije radove predstavljenje na konferencijama CIRED Srbija 2012. i 2022. godine, kao i na konferencijama CIGRE Srbija 2019. i 2021. godine. Dobitnica je nagrade Privredne komore Beograda za najbolji master rad pod naslovom „Merenje i proračun električnih i magnetskih polja nadzemnih vodova u cilju procene izloženosti ljudi ovim poljima” i nagrade Privredne komore Srbije za najbolju doktorsku disertaciju pod naslovom „Metodologija za ocenu izloženosti ljudi električnom i magnetskom polju nadzemnih elektroenergetskih vodova zasnovana na rezultatima merenja i proračuna”.



Dejan Hrvic je rođen u Beogradu 1961. godine. Elektrotehnički fakultet u Beogradu - energetski odsek upisao je 1981. godine. Diplomirao je u oktobru 1986. godine. Zaposlen je u Institutu Nikola Tesla od 1987. godine. Raspoređen je na radno mesto stručnog savetnika. U Institutu je radio na razvoju mikroprocesorskih uređaja

za potrebe elektroenergetike (razvoj softvera), zatim u oblasti tehnike visokog napona (najvećim delom na istraživanjima prelaznih pojava u elektroenergetskom sistemu i na naponskim i strujnim istraživanjima u laboratoriji visokog napon), kao i na ispitivanju sistema uzemljenja i gromobranske zaštite elektroenergetskih objekata.

Rezultat rada na gore navedenim poslovima je više stotina komercijalnih izveštaja o predmetnim ispitivanjima iz delokruga Laboratorije za ispitivanje i etaloniranje. Koautor je dve monografije nacionalnog značaja i tri interna standarda. Od 2005. godine, težište rada mu je usmereno na ispitivanja nivoa nejonizujućih zračenja niskih i visokih frekvencija i to u oblasti zaštite životne sredine i za zaštite na radu. Na navedenim poslovima učestvuje kao rukovodilac i kao saradnik. Član je Srpskog nacionalnog komiteta CIGRE (Studijski komitet C3: Performanse sistema zaštite životne sredine i Studijski komitet C4: Tehničke performanse EES-a).



Aleksandar Pavlović je rođen 1967. godine u Beogradu. Diplomirao je 1994. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na profilu za elektroenergetske sisteme. Od 1995. godine zaposlen je u Elektrotehničkom institutu Nikola Tesla u Beogradu.

Od 2014. godine obavlja poslove direktora Centra za elektroenergetske objekte. Član je Srpskog nacionalnog komiteta CIGRE (Studijski komitet C3: Performanse sistema zaštite životne sredine i Studijski komitet C4: Tehničke performanse EES-a). Tokom rada u Elektrotehničkom institutu Nikola Tesla bavio se istraživanjima u oblasti uzemljenja, gromobranskih i električnih instalacija niskog napon, elektromagnetskih polja i interferencije. Učestvovao je u izradi većeg broja studija, elaborata i izveštaja o ispitivanjima. Kao autor ili koautor publikovao je preko 60 radova od kojih se većina odnosi na oblast izloženosti ljudi elektromagnetskim poljima.

Maja Grbić¹, Dejan Hrvić¹, Aleksandar Pavlović¹

Analysis of Exposure of People to Magnetic Flux Density in the Apartment Due to the Influence of Low Voltage Cable Terminal Boxes

¹ Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia *

Category of article: Professional paper

Highlights

- Cable terminal boxes can be a significant magnetic field source when located in close proximity to areas of increased sensitivity
- It is necessary to carry out the first non-ionizing radiation testing in the areas of increased sensitivity with cable terminal boxes on their walls
- Cable terminal boxes can be the non-ionizing radiation source of special interest

Abstract

The paper analyzes the levels of magnetic flux density in the apartment that occur due to the influence of cable terminal boxes. The analysis is based on the results of magnetic flux density measurements in the apartment. In the considered example, the cable terminal boxes are located on the outer wall of the apartment, which leads to increased levels of magnetic flux density in the room located on the other side of the wall. It has been shown that the values of magnetic flux density in the apartment can exceed the value of $4 \mu T$, which is a criterion for the source to be categorized as a source of special interest, in accordance with the provisions of the current national legislation in the field of non-ionizing radiation. The aim of the paper is to show that in the aforementioned configuration the values of magnetic flux density in the apartment can be significant, in order to avoid such technical solutions in the future during the design and construction of new facilities which represent areas of increased sensitivity. The significance of performing testing in apartments and other areas of increased sensitivity with cable terminal boxes in their proximity is also emphasized.

Keywords

Area of increased sensitivity, cable terminal box, magnetic field, magnetic flux density, non-ionizing radiation, reference level

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Analysis of Magnetic Flux Density Levels in the Apartment due to the Influence of Low Voltage Cable Terminal Boxes", awarded by Expert Committee EC-1 network components at the 13th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 12-16, 2022

Received: April 7th, 2023Reviewed: May 26th, 2023Modified: June 7th, 2023Accepted: July 3rd, 2023

*Corresponding author: Maja Grbić, Koste Glavinića 8a Belgrade

E - mail: maja@ieent.org

Phone: +381-64-825-97-55

Milica Porobić¹, Radislav Milankov², Dragan Cvetinov³, Ratko Rogan⁴

Analiza isporučene električne energije korisniku „Barry-Callebaut-Chocolate Factory Novi Sad“



¹ ODS „Elektro distribucija Srbije“ d.o.o. Beograd, Direkcija za upravljanje DEES, Srbija

² ODS "Elektro distribucija Srbije" d.o.o. Beograd, Ogranak ED Zrenjanin", Srbija¹

³ ODS "Elektro distribucija Srbije" d.o.o. Beograd, Ogranak "ED Novi Sad", Srbija

⁴ ODS „Elektro distribucija Srbije“ d.o.o. Beograd, NDDC, Srbija

Kategorija rada: Stručni rad

Ključne poruke

- Razlozi podnošenja reklamacija korisnika distributivnog sistema
- Preduzimanja merenja željenih parametara kvaliteta električne energije
- Analiza izmerenih vrednosti i sagledavanje uzroka događaja
- Međusobni uticaji korisnik – distributivni elektroenergetski sistem

Kratak sadržaj

Operator Distributivnog Sistema „Elektro distribucija Srbije“ (ODS), prilikom izdavanja Uslova za projektovanje i priključenje (UPP) korisnicima distributivnog sistema (KDS) pod stavkom 4. tih Uslova jasno definiše Osnovne tehničke podatke o distributivnom elektroenergetskom sistemu (DEES) na mestu priključenja. Ovim podacima industrijski KDS dobija informacije o tehničkim karakteristikama podešenja u DEES kojima prilagođava svoje proizvodne procese. U protivnom, proizvodni proces će biti osetljiv na isporuku električne energije tehničkih karakteristika definisanih kroz UPP.

U operativnom upravljanju DEES dešavaju se reklamacije KDS na kvalitet isporučene električne energije. Stručne službe ODS nakon uložene reklamacije postavljaju analizator kvaliteta električne energije visokih tehničkih performansi, na mestu priključenja KDS. Cilj je dobiti tehnički kvalitetnu analizu kojom će se utvrditi uzroci problema zastoja proizvodnog procesa kod KDS.

Ovaj rad ima za cilj da predstavi jedan primer iz prakse na distributivnom području „DP Novi Sad“ na području ogranka „Elektro distribucija Novi Sad“, gde je KDS „Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad“ uložio reklamaciju na kvalitet električne energije. Rezultati monitoringa isporučene električne energije su predstavljeni u ovom radu.

Ključne reči

Kvalitet električne energije, reklamacija KDS, analiza merenja

Napomena:

Članak predstavlja proširenu, unapređenu i dodatno recenziranu verziju rada „Analiza isporučene električne energije KDS Barry-Callebaut - Chocolate Factory Novi Sad“, nagrađenog u Stručnoj komisiji STK-2 Kvalitet električne energije u elektrodistributivnim sistemima, na 13. Savetovanju CIRED Srbija, Kopaonik, 12-16. septembra 2022.

Primljeno: 6. april 2023. Recenzirano: 3. jul 2023.

Izmenjeno: 10. jul 2023. Odobreno: 28. jul 2023.

¹Korespondirajući autor: Radislav Milankov

E - mail: Radislav.Milankov@ods.rs

1. UVOD

Pojam kvaliteta električne energije se nameće kao nezaobilazna stavka kada su u pitanju ocene vrednosti isporučene robe kako se tržište ponaša i otvara. Jedan aspekt je dat u radu kao intervencija na reklamaciju, dok je to samo jednostrani pogled, može se naslutiti ogromno polje ispitivanja kada je u pitanju uticaj rada korisnika na DEES i druge korisnike. Posebno je zanimljiva problematika merenja električne energije u nesinusnom okruženju i mogućoj korekciji obračunskih parametara pri određenim uslovima, naročito faktora snage. Tačnost merenja pri ovim uslovima iziskuje promenu zakonskih i podzakonskih akata kako bi se sačinila korektivna formula.

Ogranak „Elektro distribucija Novi Sad“ je jedan od sedam Ogranaka na konzumu Distributivnog područja (DP) Novi Sad Operatora distributivnog sistema (ODS) električne energije, „Elektro distribucija Srbije“.

„Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad“ je korisnik distributivnog sistema (KDS) na konzumu Ogranka „ED Novi Sad“ koji se napaja iz distributivne transformatorske stanice TS 20/0,4 kV „Fabrika čokolade“, koja se nalazi u distributivnoj mreži kojom upravlja Ogranak „ED Novi Sad“. Kompanija „Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad“ je od strane Republike Srbije prepoznata kao značajan investitor u oblasti ekonomskog razvoja države, što svakako unosi dodatnu obavezu ODS o brizi za kvalitet isporuke i isporučene električne energije ovom KDS. Potreba za analizom isporuke i isporučene električne energije KDS „Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad“ je nastala zbog žalbe ovog KDS ODS-u na česte zastoje u proizvodnom procesu fabrike. Prekid u proizvodnom procesu fabrike su po mišljenju KDS prouzrokovani lošim kvalitetom električne energije ODS. U okviru sektora za upravljanje DEES Ogranka „ED Novi Sad“ formiran je tim zadužen za postavljanje uređaja za praćenje kvaliteta isporuke i isporučene električne energije, kao i za analizu podataka.

U ovom radu su, u okviru tri celine, predstavljene karakteristike DEES, analiza problema u vezi sa žalbom KDS na kvalitet električne energije, kao i zaključci analize.

2. KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE: DEFINICIJE I REZULTATI

Jedan od najvažnijih koraka u praćenju pouzdanosti rada sistema je monitoring karakteristika elektroenergetskog sistema. Monitoring može pomoći pri određivanju uzroka poremećaja, pa čak i pri identifikaciji stanja u sistemu, koja su bila pre nego što su izazvala prekid ili poremećaj.

Monitoring kvaliteta električne energije (snage) predstavlja proces prikupljanja, analize i interpretacije merenih podataka u svrhu izvlačenja korisnih informacija.

Da bi se poboljšao kvalitet ili posebno zaštitili osetljivi potrošači, elektro distribucije preduzimaju veliki broj mera za stabilizaciju rada elektroenergetskog sistema i

obebeđenja kvalitetne isporuke. Investiraju se značajna sredstva u opsežne projekte istraživanja parametara kvaliteta, donose se tehničke regulative za limitiranje nivoa harmonika i flikera, uvode se strožije norme za priključenje nelinearnih potrošača, a u poslednje vreme se razvijaju specijalne metode i uređaji za isporuku električne energije garantovanog kvaliteta [1].

2.1 Karakteristike konzuma DEES na koji je priključen KDS

TS 20/0,4 kV „Fabrika čokolade“ se u DEES nalazi na konzumu TS 110/20/10 kV „Novi Sad 9“, ET 110/20/10 kV broj 1, na 20 kV izvodu Zrenjaninski put. TS 110/20/10 kV „Novi Sad 9“ se napaja sa dva 110 kV dalekovoda DV broj 176/1 sa TS 400/220/110 kV „Novi Sad 3“ i DV broj 176/2 sa „Termoelektrane Toplane Novi Sad“ („TE-TO“). 110 kV postrojenje se sastoji od dva dalekovodna polja i dva energetska transformatora 110/20/10 kV instalisane snage 63 MVA. TS 110/20/10 kV „Novi Sad 9“ snabdeva električnom energijom 9993 korisnika. Distributivna mreža oba ET 110/20/10 kV iznosi 77,465 km kablovske mreže i 55,617 km nadzemne mreže. Na konzumu ove napojne TS se nalaze KDS koji po internim Uputstvima i Procedurama ODS imaju status „značajan korisnik DEES“. Pored „Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad“ isti status imaju i kompanije „Lear“ i „CTP Gama Continental“, „Naftovod“, „Rafinerija“ i drugi.

TS 110/20/10 kV „Novi Sad 9“ je u sistemu daljinskog nadzora, kontrole i upravljanja (SCADA), što daje mogućnost praćenja rada rasklopne opreme i jedinstvenog sistema zaštite, nadzora, kontrole i upravljanja u normalnim pogonskim uslovima kao i u režimu kvara. Zvezdišta energetskih transformatora su uzemljena preko zajedničkog otpornika od 40 Ω u neutralnoj tački, čime se struje zemljospojeva ograničavaju na 300 A. Za otklanjanje prolaznih kvarova u sredjenaponskoj mreži koristi se kombinacija tehnike zemljospojnog prekidača (ZP) i automatike ponovnog uključanja izvoda (APU).

Automatika ZP treba da detektuje u kojoj fazi je kvar a potom da da nalog za uključanje ZP u fazi pogođenoj kvarom, tj. da uzemli fazu sabirnica 20 kV koja je pogođena kvarom. Za vreme dok je prekidač uključen, fazni naponi zdravih faza porastu do vrednosti međufaznih napona, fazni napon faze u kvaru je nula, a međufazni naponi ostaju praktično nepromenjeni. Kako je sprega distributivnih transformatora Dyn ili Yzn i pošto se međufazni naponi ne menjaju, potrošači na niskom naponskom nivou neće imati prekide u napajanju. Ako je kvar bio prolazan, posle isključenja ZP nastavlja se redovan pogon DEES. Ukoliko kvar ne prođe nakon isključenja pola ZP, reagovala zaštita izvoda i APU izvoda (brzi/spori APU). Ukoliko kvar bude eliminisan radom APU (brzi/spori) nastavlja se redovan pogon DEES. Ako kvar nije bio prolazan, i ukoliko je kvar definitivan, zemljospojna zaštita 20 kV izvoda će isključiti izvodni prekidač (definitivno isključenje izvoda).

KDS-u se prilikom izdavanja Uslova za projektovanje i priključenje (UPP) daju i osnovni tehnički podaci o DEES na mestu priključenja KDS. Kroz stav 4 Uslova su definisani parametri zaštitnih uređaja u mreži DEES (vremena i vrednosti) na koje proizvodni proces KDS ne sme biti osetljiv.

Konkretno, stav 4 UPP za navedenog KDS je:

„4. Osnovni tehnički podaci o DEES na mestu priključenja Nivo pouzdanosti: 2. nivo

Subtranzijentna („Sk“) snaga trofaznog kratkog spoja na sabirnicama 20 kV u TS110/20 kV/kV iznosi 500 MVA, vreme trajanja kratkog spoja $t=0,2$ s.

Vrednost struje jednofaznog zemljospoja u uzemljenim mrežama 20 kV napona je ograničena na vrednost 300 A.

Za eliminisanje prolaznog zemljospoja primenjuje se:

- jednopolni zemljospojni prekidač sa brzinom delovanja manjom od 0,2 s,
- zemljospojna zaštita na izvodnom prekidaču sa vremenom trajanja do 0,5 s,
- na izvodima 20 kV u TS 110/20 kV/kV se primenjuje automatsko ponovno uključanje (APU) sa dva pokušaja. U prvom pokušaju se vrši brzo APU sa beznaponskom pauzom (trajanje) 0,3 s. Ako je kvar i dalje prisutan, vrši se drugi pokušaj uključanja posle beznaponske pauze (trajanje) do 3 min (sporo APU). Ukoliko je i nadalje prisutan kvar, zaštita izvršava trajno isključenje 20 kV izvoda, nakon čega se pristupa lokalizaciji kvara i njegovom otklanjanju.

Ukoliko rad uređaja stranke prouzrokuje smanjenje kvaliteta električne energije drugim korisnicima, pod uslovom da prekoračuje emisione nivoe dozvoljene Pravilima o radu distributivnog sistema „EPS Distribucija“ d.o.o. Beograd, može stranki da obustavi isporuku električne energije sve dok se ne otklone uzroci smetnji.“

Iste stavke definisane su i u okviru Pravila o radu distributivnog sistema, [2], ODS, deo 2 Kvalitet električne energije, Odeljak Neprekidnost isporuke, stavke 2.3.4 i 2.3.5, koje kažu:

- Naponske smetnje uzrokovane operacijama rasklopnih aparata, dejstvom uređaja relejne zaštite i isključenjem opterećenja u poremećenom pogonu čije se dejstvo nije moglo predvideti ni izbeći ne smatraju se prekidima u isporuci električne energije.
- Na korisniku DEES je odgovornost da ugradi dodatnu opremu u svoj objekat u cilju zaštite tehnološkog procesa za slučaj pojave poremećaja u distributivnoj mreži. Ova oprema ne sme biti aktivirana od prelaznih procesa.

Svakako kroz dokument UPP, KDS prihvata da se njegov pogon projektuje tako da rad zaštitnih uređaja u DEES ne remeti proizvodni proces u postrojenju KDS.

2.2 Kvalitet električne energije - obaveza ODS

Odgovornosti i dužnosti Operatora distributivnog sistema električne energije definisane su i članom 135. Zakona o energetici, stav 1 u kome se navodi da je Operator distributivnog sistema električne energije odgovoran za

siguran, pouzdan i bezbedan rad distributivnog sistema i kvalitet isporuke električne energije, [3].

U skladu sa članom 136. Zakona o energetici, [4], Operator distributivnog sistema je doneo Pravila o radu distributivnog elektroenergetskog sistema (DEES), [2]. Ovim pravilima uređuju se međusobni odnosi ODS, korisnika i snabdevača. U delu 2 navedenog pravila definiše se Kvalitet električne energije, [2].

ODS je odgovoran za kvalitet električne energije, a koji obuhvata:

- kvalitet isporučene električne energije i
- kvalitet isporuke električne energije.

Kvalitet isporučene električne energije ocenjuje se na osnovu kvaliteta napona i kvaliteta frekvencije. Kvalitet isporuke električne energije ocenjuje se na osnovu trajanja i učestalosti prekida u isporuci električne energije.

Pouzdanost isporuke električne energije prati se preko sledećih pokazatelja pouzdanosti: prosečno trajanje prekida isporuke u minutima po mestu predaje električne energije, SAIDI, prosečna učestalost prekida isporuke po mestu predaje električne energije, SAIFI, i prosečno trajanje prekida isporuke, CAIDI.

Pravilima o Radu DEES se utvrđuju parametri i način kontrole kvaliteta električne energije. Kvalitet električne energije se procenjuje u odnosu na normalne pogonske uslove. Merenje parametara kvaliteta električne energije vrši se na mestu preuzimanja ukoliko postoje tehničke mogućnosti ili na tehnički pogodnom mestu za obavljanje merenja, a po potrebi i u objektima korisnika radi utvrđivanja činjeničnog stanja.

2.2.1 Kvalitet napona. Kvalitet napona na mestu priključenja objekta korisnika i proizvođača, odnosno povezivanja DEES sa prenosnim sistemom, drugim DEES i zatvorenim DEES, utvrđuje se merenjem i praćenjem parametara:

- veličine (amplitude U_{eff}),
- talasnog oblika (THD),
- fluktuacije (flikeri) i
- simetričnosti faznog napona.

Veličina (amplituda) napona utvrđuje se merenjem. Pri normalnim pogonskim uslovima tokom sedam dana u bilo kojem periodu godine, 95% desetominutnih srednjih efektivnih vrednosti napona napajanja mora biti u opsegu definisanom u aktu kojim se uređuje isporuka električne energije i to $\pm 10\%$.

Talasni oblik napona utvrđuje se merenjem. Pri normalnim pogonskim uslovima tokom sedam dana u bilo kojem periodu godine, 95% desetominutnih srednjih efektivnih vrednosti napona za svaki pojedinačni harmonik napona ne sme da pređe vrednost datu u tabeli I. Faktor ukupnog harmonijskog izobličenja napona napajanja, THD, ne sme da pređe 8%.

Fluktuacija napona koja se ispoljava pojavom flikera utvrđuje se merenjem. Pri normalnim pogonskim uslovima, tokom sedam dana u bilo kojem periodu godine, dugotrajni fliker faktor koji je izazvan fluktuacijom napona mora da bude manji ili jednak 1,0 tokom 95% vremena.

Simetričnost faznog napona se utvrđuje merenjem. Pri normalnim pogonskim uslovima tokom sedam dana u bilo kojem periodu godine, 95% desetominutnih srednjih

efektivnih vrednosti inverzne komponente napona napajanja mora biti u opsegu od 0% do 2% direktne komponente osnovnog napona napajanja.

Tabela I - Harmonici napona – dozvoljene vrednosti, izvor: [5]

Neparni harmonici				Parni harmonici	
Nisu umnošci broja 3		Umnošci broja 3		Red harmonika	Relativna amplituda U_h
Red harmon.	Relativna amplituda U_h	Red harmon.	Relativna amplituda U_h		
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	6...24	0,5%
13	3%	21	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Faktor snage se utvrđuje merenjem. Pod normalnim pogonskim uslovima tokom sedam dana u bilo kojem periodu godine vrednost faktora snage u distributivnoj mreži treba da bude u opsegu od 0,95 do 1,0.

2.2.2 Neprekidnost isporuke. Prekid u isporuci električne energije se može klasifikovati kao:

- 1) planirani prekid koji je prethodno dogovoren i kada su korisnici DEES blagovremeno obavešteni;
- 2) neplanirani prekid nastao usled trajnih ili prolaznih kvarova.

Neplanirani prekid nastaje usled događaja koji nisu mogli biti predviđeni u DEES. Neplanirani prekid prestaje uspostavljanjem normalnih pogonskih uslova.

2.3 Analiza merenja ODS i podataka KDS

Na osnovu žalbe KDS na kvalitet isporučene električne energije kojom su poremećeni poslovni i proizvodni procesi u fabrici, ODS postavlja uređaj za merenje kvaliteta isporučene električne energije i to u dva maha.

Merenja i analiza su rađeni u skladu sa obavezujućom regulativom u oblasti elektroenergetike:

- Zakon o energetici, [3,4];
- Uredba o uslovima isporuke električne energije, [6];
- Pravila o radu DEES, [2], Poglavlje 2;
- Pravilnik o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona, [7], *Službeni list SFRJ br. 53/88, 54/88, 28/95, Poglavlje 5, od člana 163. do člana 167.*

Merenja su obavljena mrežnim analizatorom proizvođača ELSPEC tip BlackBox G4500 class A, direktnim priključenjem na mestu primopredaje električne energije. Merenja su izvršena u dva vremenska intervala. Mrežni analizator je priključen na mestu primopredaje električne energije (slika 1) KDS, odnosno na redne stezaljke mernog uređaja (brojila električne energije). Brojilo električne energije je priključeno na sekundare mernih transformatora u 20 kV mernoj ćeliji, odnosno merenje je indirektno u TS 20/0,4 kV „Fabrika čokolade“. Sam priključak mrežnog analizatora je izveden preko petoamperskih strujnih klešta, a napon od 100 V, 50 Hz se dovodi direktno na ulaz mrežnog analizatora.



Slika 1 – Mrežni analizator na mestu merenja

Merenja su izvršena u dva vremenska intervala

- 1) od 26.7.2021. do 11.8.2021. i
- 2) od 11.8.2021 do 19.8.2021.

2.3.1 Merenje u intervalu od 26.7. do 11.8.2021.

Dijagram efektivne vrednosti snimljenog napona u periodu od 26.7. do 11.8.2021. je prikazan na slici 2.

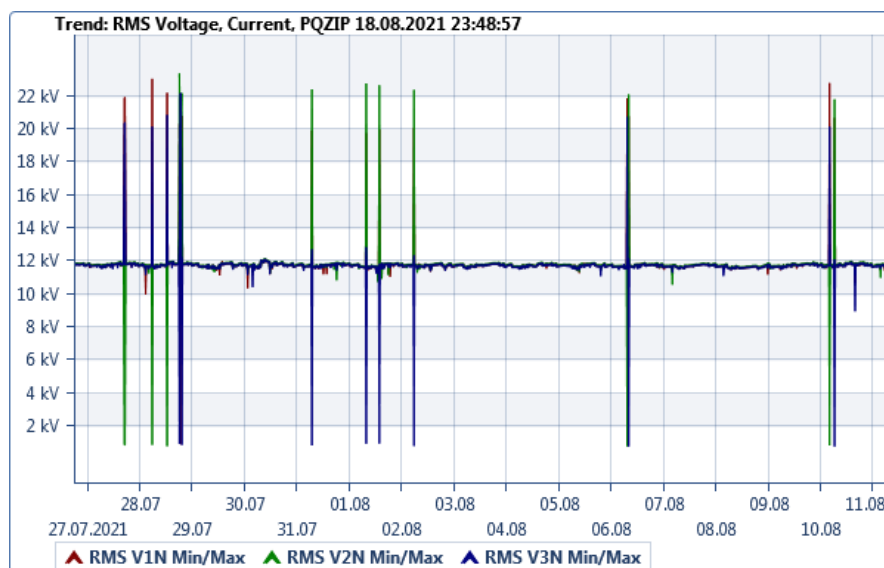
Zabeleženi poremećaji napona (početak, kraj) i njihovo trajanje u intervalu od 26.7. do 11.8.2021. prikazani su u tabeli II.

U intervalu od 26.7. do 11.8.2021. zabeleženo je 20 poremećaja napona. Najduže trajanje poremećaja napona je iznosilo 409,97 ms. U navedenom intervalu KDS „Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad“, TS

„Fabrika čokolade“ nije imala poremećaje u proizvodnom procesu u fabrici.

Kao zaključak za merenje u intervalu od 26.7. do 11.8.2021. može se reći da su poremećaji napona zabeleženi u navedenom vremenskom intervalu bili posledica prolaznih zemljospojeva na konzumima ET broj 1 ili ET broj 2 u TS 110/20/10 kV „Novi Sad 9“. Nijedan od registrovanih događaja, koji su posledica rada zaštitnih uređaja zbog prolaznih kvarova u mreži ODS nisu poremetili proizvodni proces u fabrici KDS „Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad“.

Iz analize merenja je utvrđeno da nijedan red harmonika ne prelazi dozvoljene granice.



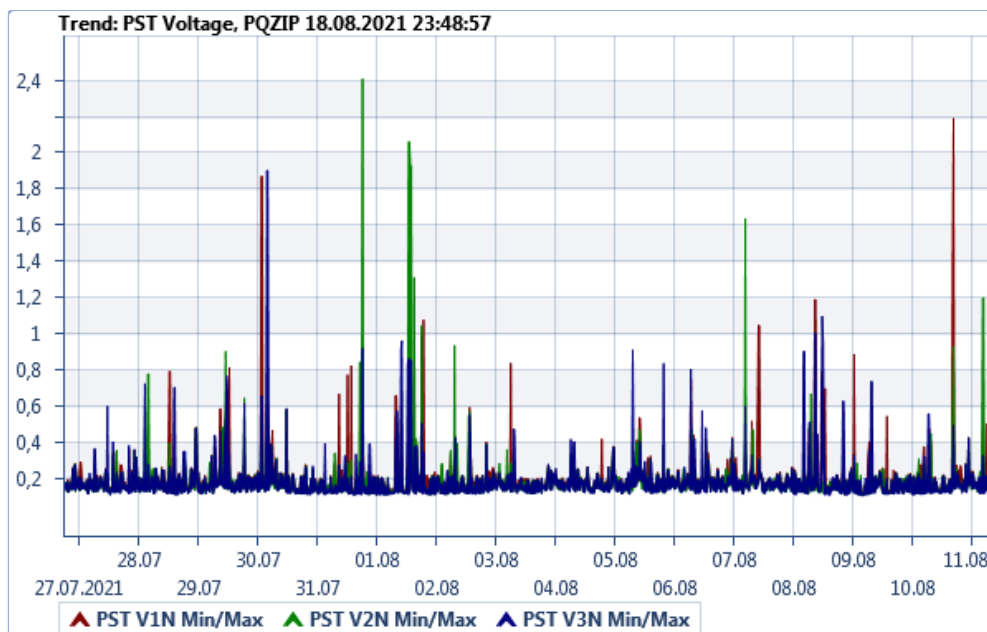
Slika 2 - Dijagram efektivne vrednosti snimljenog napona za prvi interval merenja

Tabela II - Datum i trajanje poremećaja napona

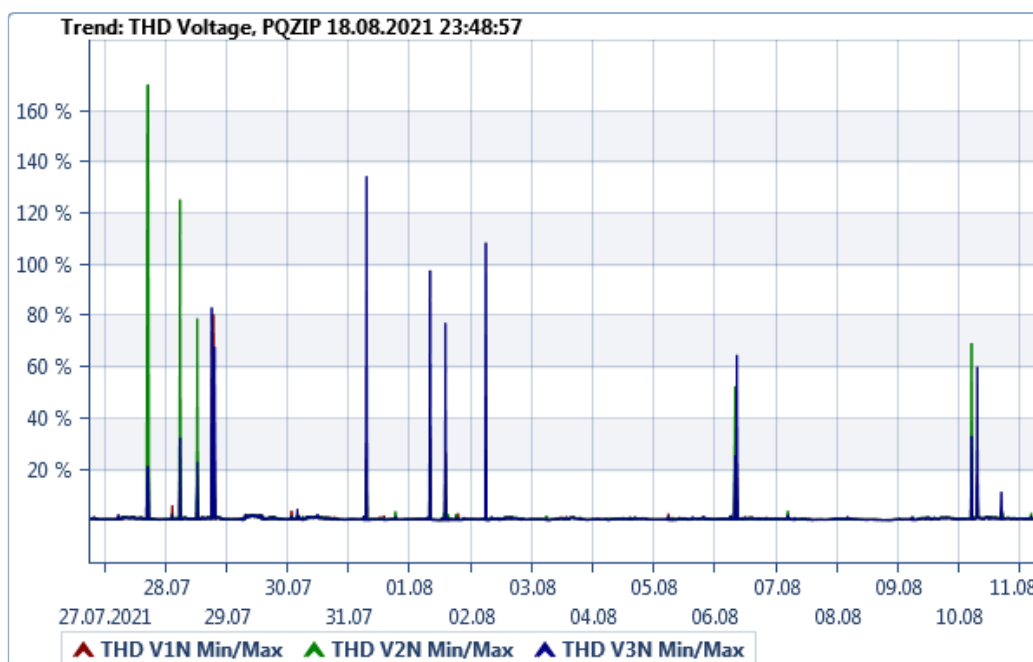
27.07.2021	17:38:49.219509	27.07.2021	17:38:49.629483400	00:00.409974400
27.07.2021	17:38:49.829520100	27.07.2021	17:38:49.939565600	00:00.110045500
28.07.2021	03:10:30.493782300	28.07.2021	03:10:30.553778300	00:00.059996000
28.07.2021	06:28:29.728859700	28.07.2021	06:28:30.038845	00:00.309985300
28.07.2021	13:04:15.924266400	28.07.2021	13:04:16.244345100	00:00.320078700
28.07.2021	18:44:38.754079800	28.07.2021	18:44:39.064087100	00:00.310007300
28.07.2021	19:20:02.246888900	28.07.2021	19:20:02.556910800	00:00.310021900
28.07.2021	19:56:31.011820100	28.07.2021	19:56:31.331837700	00:00.320017600
30.07.2021	02:11:57.180045100	30.07.2021	02:11:57.209942400	00:00.029897300
31.07.2021	07:40:30.307342500	31.07.2021	07:40:30.617221200	00:00.309878700
01.08.2021	08:41:34.315292100	01.08.2021	08:41:34.625395400	00:00.310103300
01.08.2021	14:36:46.761285500	01.08.2021	14:36:47.071219700	00:00.309934200
02.08.2021	06:21:12.931802800	02.08.2021	06:21:13.251630800	00:00.319828000
06.08.2021	08:16:10.583357300	06.08.2021	08:16:10.893396100	00:00.310038800
06.08.2021	09:04:10.214360700	06.08.2021	09:04:10.544534100	00:00.330173400
10.08.2021	05:18:23.057959800	10.08.2021	05:18:23.367890600	00:00.309930800
10.08.2021	07:48:09.167658300	10.08.2021	07:48:09.487674500	00:00.320016200
10.08.2021	16:54:30.962519	10.08.2021	16:54:31.022538	00:00.060019000
10.08.2021	17:00:41.195713800	10.08.2021	17:00:41.265594	00:00.069880200
10.08.2021	17:00:42.325034200	10.08.2021	17:00:42.385018100	00:00.059983900

Sa dijagrama prikazanog na slici 3 se vidi da se u periodu monitoringa prelaze dozvoljene granice flikera u različitim vremenima monitoringa. Dozvoljena maksimalna vrednost flikera je manja ili jednaka 1.

Dijagram na slici 4 predstavlja merenje THD faktora napona, sa graničnom vrednošću od 8%. Sa dijagrama se može utvrditi da su merene vrednosti iznad dozvoljene granice u različitim vremenima monitoringa.



Slika 3 - Flikeri napona (flickermax≤1)



Slika 4 - THD napona (THDmax≤8%)

2.3.2 Merenje u intervalu od 11.8. do 19.8.2021.

Dijagram efektivne vrednosti merenog napona snimljenog u periodu od 11.8. do 19.8.2021. je prikazan na slici 5, dok je tabelarni prikaz dat u Tabeli III.

Tehnička služba KDS „Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad“ je tehničkoj službi upravljanja ODS dostavila tri dokumenta u excel formi, gde su prikazani rezultati izveštajnih funkcija upravljačkih jedinica u fabrici, sa zabeleženim poremećajima u procesu proizvodnje.

Dostavljena dokumenta su:

1. VCP11.xls - događaj od 15.7.2021.
2. VCP12.xls - događaji od 13.8.2021. i jedan od 18.8.

3. HML01.xls - događaji od 18.8.2021.

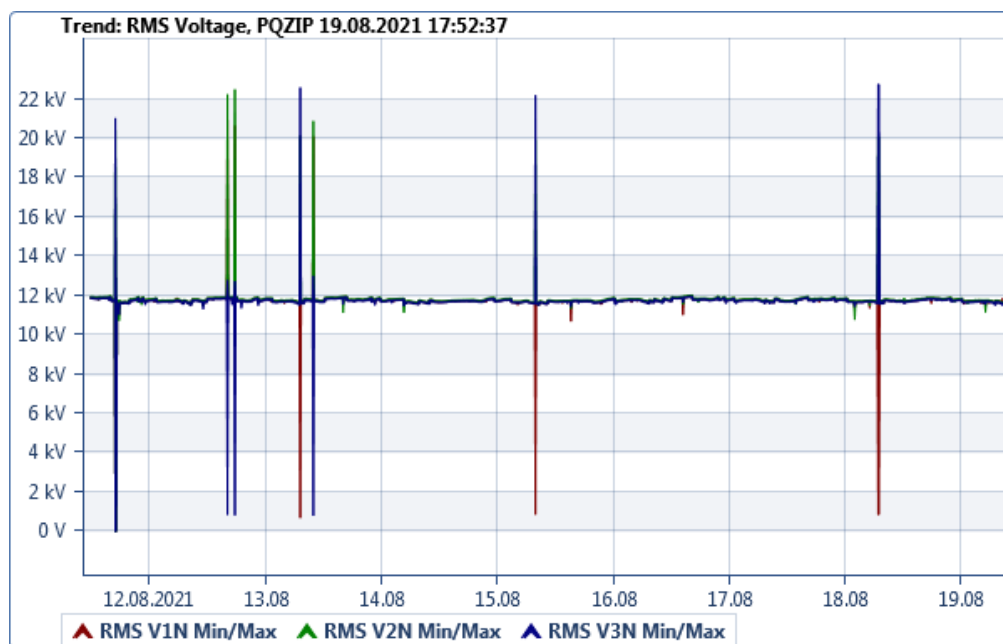
Uporedna analiza dostavljenih podataka KDS i podataka merenja analizatorom:

1. U dostavljenom dokumentu pod rednim brojem jedan VCP11.xls je dat podatak o događaju od 15.7.2021. u 23:45:47. gde je registrovan jedan događaj, gubitak faze (Phase 1 Loss). Navedeni datum je datum pre početka snimanja mrežnim analizatorom. Ne postoji snimljen dijagram napona sa mrežnog analizatora za navedeni datum. Snimanje je počelo 26.7. U SCADA sistemu ODS u mrežnoj topologiji hijerarhijski nadređenih objekata KDS-u nema zabeleženih događaja za navedeni datum i vreme. U SCADA

sistemu OPS (Operator prenosnog sistema) za hijerarhijski nadređene objekte ODS-u nema zabeleženih događaja za navedeni datum i vreme.

Poremećaj u proizvodnom procesu KDS od 15.7.2021. u 23:45:47 nije posledica događaja u DEES

niti poremećaja u kvalitetu isporučene energije od strane ODS. Poremećaja u kvalitetu isporučene električne energije od strane ODS nije bilo, za navedeni datum i vreme.



Slika 5 - Dijagram efektivne vrednosti snimljenog napona za drugi interval merenja

U dostavljenom dokumentu KDS-a pod rednim brojem dva, VCP12.xls, dati su podaci o događajima od 13.8.2021. podeljenih u više vremenskih intervala. U navedenom intervalima je registrovano ukupno 65 događaja, gubitak faze (Phase 1 Loss ili Phase 2 Loss ili Phase 3 Loss) u fabrici.

U istom dokumentu je jedan događaj od 18.8. u 04:00:32, gubitak faze (Phase 1 Loss). Dostavljeni događaji Phase 1 Loss od 13.08.2021. su podeljeni u više vremenskih intervala:

- od 07:19:26 do 07:53:51 AM ukupno 9 događaja
- od 01:05:59 do 01:06:42 PM ukupno 4 događaja
- od 02:41:54 do 02:48:38 PM ukupno 31 događaj
- od 4:36:26 do 6:31:43 PM ukupno 3 događaja
- u 9:11:41 PM 1 događaj
- od 12:04:30 do 12:53:38 PM ukupno 16 događaja

Od svih 65 događaja *Phase x Loss* ($x=1,2$ ili 3) registrovanih 13.8. u kojim su se desili poremećaji proizvodnog procesa kod KDS u fabrici, na dijagramu snimljenog napona za 13.8. zabeležena su samo tri poremećaja u mreži ODS.

Prvi se desio u 7:27:59.470 ms u trajanju od 39,8 ms, drugi u 7:27:59.540 ms u trajanju od 319,8 ms, treći se desio u 10:17:30.950 i trajao je 309,9 ms.

Prvi događaj u trajanju od 39,8 ms se neće razmatrati, obzirom na dužinu trajanja poremećaja.

Druga dva poremećaja su posledica delovanja zemljospojnog prekidača za kvarove na izvodu koji se napaja sa drugog energetskog transformatora u odnosu na izvor napajanja 20 kV izvoda „Zrenjaninski put“ na kome se nalazi fabrika, a koji se napaja sa ET broj 1.

U dostavljenom dokumentu iz fabrike, VCP12.xls, u intervalu a) postoje dva događaja u 07:27:52 Phase 1 Loss i 07:27:21 Phase 3 Loss koji su bliski vremenu snimljenog događaja poremećaja u mreži ODS u 7:27:59.540 ms. Ne može se sa sigurnošću tvrditi da je poremećaj u fabrici kod KDS prouzrokovao poremećajem u mreži ODS zabeleženim mrežnim analizatorom u 7:27:59.540.

Ako pretpostavimo da je poremećaj u mreži ODS od 7:27:59.540 prouzrokovao poremećaj kod KDS u 07:27:52, zaključili bismo da je od ukupno prijavljenih 65 događaja poremećaja proizvodnog procesa u fabrici 13.08. samo jedan mogao biti prouzrokovao događajem u mreži ODS, dok 64 događaja poremećaja proizvodnog procesa u fabrici KDS-a sigurno nisu posledica poremećaja u kvalitetu isporuke i isporučene električne energije ODS KDS-u, jer ih nema zabeleženih za period monitoringa mrežnim analizatorom.

Za sve preostale tehnički slične zabeležene događaje u mreži ODS, a njih je, pored razmatranog, bilo još šest u periodu monitoringa (tabela III) zaključeno je da nijedan poremećaj koji je bio posledica prolaznih zemljospojeva na 20 kV izvodima konzuma ET broj 1 ili ET broj 2 u TS 110/20/10 kV „Novi Sad 9“, nije uticao na poremećaj proizvodnog procesa u fabrici KDS.

Mrežnim analizatorom su 13.8. u 16:23 zabeležena dva događaja definisana kao RVC (*rapid voltage changes*) tj. brza promena efektivne vrednosti napona u trajanju oko 100 ms, a KDS nije imao problem u proizvodnji zbog ovih događaja.

Tabela III - Datum i trajanje poremećaja napona

Nam	Phase	Događaj u mreži ODS	Value	Value (% from re)	Start time	End time	Duration	Problem u proizvodnom procesu
Dip	V3N	radio ZP-eliminisaos ZS Kalište-ET2	833,3125	7,226563%	12.08.2021 16:24:31.623986	12.08.2021 16:24:31.944034	00:00.320048000	NE
Swell	V1N,V2N	radio ZP-eliminisaos ZS Kalište-ET2	21384	185,1563%	12.08.2021 16:24:31.633922100	12.08.2021 16:24:31.944034	00:00.310111900	NE
Dip	V3N	radio ZP-eliminisaos ZS Kovilj-ET1	807,25	7,03125%	12.08.2021 17:54:09.083165	12.08.2021 17:54:09.383227	00:00.300062000	NE
Swell	V1N,V2N	radio ZP-eliminisaos ZS Kovilj-ET1	21405	185,3516%	12.08.2021 17:54:09.073232100	12.08.2021 17:54:09.383227	00:00.309994900	NE
Dip	V1N	radio ZP- ZP + APU brzi Kalište-ET2	8172	70,80078%	13.08.2021 07:27:59.470624800	13.08.2021 07:27:59.510510100	00:00.039885300	DA
Swell	V2N,V3N	radio ZP- ZP + APU brzi Kalište-ET2	17594	152,3438%	13.08.2021 07:27:59.470624800	13.08.2021 07:27:59.510510100	00:00.039885300	DA
Swell	V2N,V3N	radio ZP- ZP + APU brzi Kalište-ET2	20941	181,3477%	13.08.2021 07:27:59.540526900	13.08.2021 07:27:59.850410100	00:00.309883200	DA
Dip	V1N	radio ZP- ZP + APU brzi Kalište-ET2	673,1563	5,859375%	13.08.2021 07:27:59.540526800	13.08.2021 07:27:59.860403700	00:00.319876900	DA
Dip	V3N	radio ZP-eliminisaos ZP Kalište-ET2	782,375	6,787109%	13.08.2021 10:17:30.913030400	13.08.2021 10:17:31.213005500	00:00.299975100	NE
Swell	V1N,V2N	radio ZP-eliminisaos ZP Kalište-ET2	21162	183,252%	13.08.2021 10:17:30.903104400	13.08.2021 10:17:31.213005600	00:00.309901200	NE
Dip	V1N	radio ZP-eliminisaos ZS Kovilj-ET1	920,1875	8,007813%	15.08.2021 08:10:37.623383700	15.08.2021 08:10:37.933534200	00:00.310150500	NE
Swell	V2N,V3N	radio ZP-eliminisaos ZS Kovilj-ET1	20934	181,25%	15.08.2021 08:10:37.613319100	15.08.2021 08:10:37.933534200	00:00.320215100	NE
Dip	V1N	radio ZP-eliminisaos ZP Kalište-ET2	839,0625	7,275391%	18.08.2021 07:10:45.626192800	18.08.2021 07:10:45.936341100	00:00.310148300	NE
Swell	V2N,V3N	radio ZP-eliminisaos ZP Kalište-ET2	20986	181,7383%	18.08.2021 07:10:45.616266700	18.08.2021 07:10:45.936341100	00:00.320074400	NE

U dostavljenom dokumentu KDS-a postoji i jedan događaj od 18.8. u 04:00:32, gubitak faze (Phase 1 Loss). Za dati događaj poremećaja kod KDS nema snimljenih poremećaja mrežnim analizatorom u toku monitoringa.

2. U dostavljenom dokumentu KDS-a pod rednim brojem tri, HML01.xls, dati su podaci o događajima od 18.8.2021. u 02:47:55 do 02:56:39. U navedenom intervalu je registrovano osam događaja, gubitak faze (Phase 1 Loss ili Phase 2 Loss).

U navedenom vremenskom intervalu na dijagramu napona snimljenog mrežnim analizatorom nije zabeležen nijedan poremećaj.

Poremećaj u proizvodnom procesu KDS od 18.8.2021. nije posledica poremećaja u kvalitetu isporučene energije od strane ODS.

Mrežnim analizatorom za navedeni datum i vreme nije registrovan nijedan poremećaj u kvalitetu isporučene električne energije.

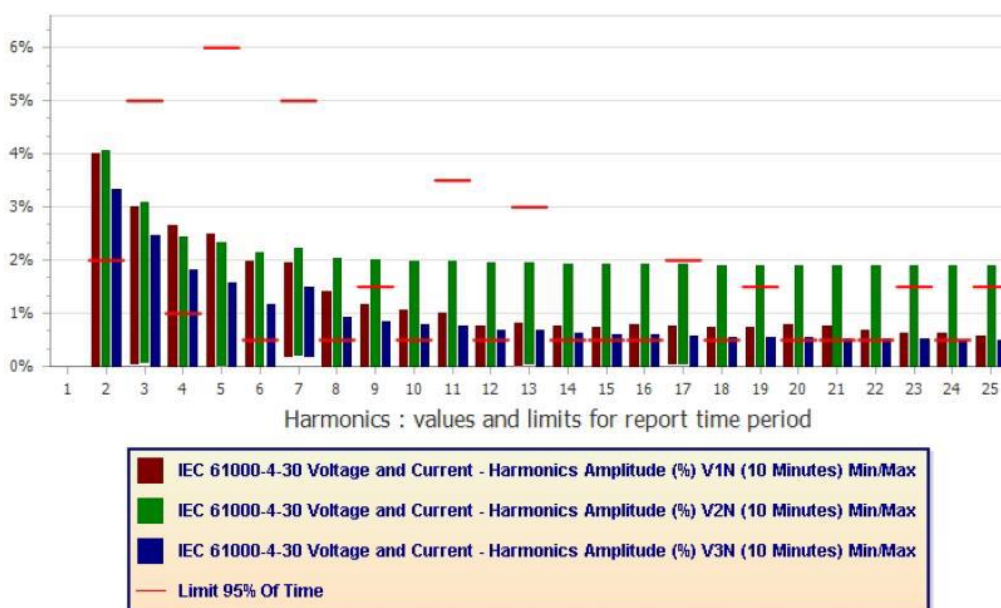
Za navedeni vremenski interval od 11.8. do 19.8.2021. KDS je dostavio podatke o ukupno 74 događaja u kojima su se desili problemi u proizvodnim procesima u fabrici.

Mrežnim analizatorom je u datom periodu monitoringa registrovano sedam poremećaja napona. Samo jedan poremećaj napona od strane ODS (13.08. u 7:27:59.540) je blizak vremenu događaja u kome se desio problem u proizvodnom procesu u fabrici (13.08. 07:27:52).

Za preostala 73 događaja u kome su se desili problemi u proizvodnom procesu u fabrici KDS, monitoring mrežnim analizatorom ne registruje nijedan poremećaj u kvalitetu isporučene električne energije KDS.

Poremećaji proizvodnog procesa u fabrici „Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad“ nisu posledica problema kvaliteta isporučene električne energije od strane ODS.

Na dijagramu na slici 6 vidi se da veliki broj harmonika različitog reda prelazi dozvoljene granice (prikazani u odeljku 2.2.1).



Slika 6 - Harmonici napona od 2. do 25. sa označenim dozvoljenim granicama za svaki harmonik

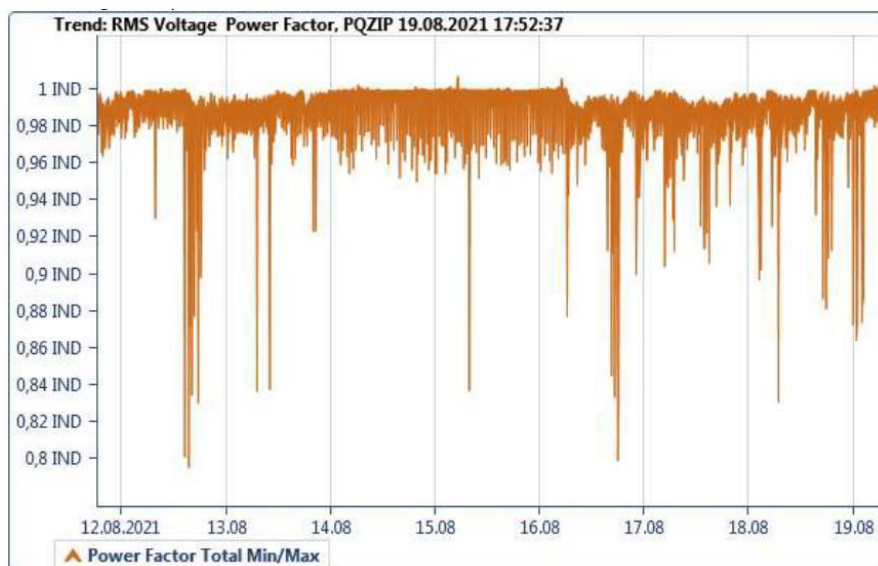
Merenjem je utvrđeno da se u periodu monitoringa prelaze dozvoljene granice flikera u različitim vremenima monitoringa. Dozvoljena maksimalna vrednost flikera je manja ili jednaka 1.

Zaključak za merenje THD faktora, sa graničnom vrednošću od 8% jeste da su merene vrednosti iznad dozvoljene granice u različitim vremenima monitoringa.

Dijagram na slici 7 predstavlja merenje faktora snage, $\cos\phi$. Sa dijagrama se uočava da je faktor snage $\cos\phi$ u

različitim vremenima monitoringa ispod granice definisane UPP.

Sa dijagrama merenja harmonika, flikera, THD i $\cos\phi$ se može zaključiti da postoji negativan uticaj rada pogona KDS na DEES. Potrebno je da KDS reguliše proizvodni proces tako da navedeni faktori kvaliteta električne energije ne prelaze unapred definisane i dozvoljene granice.

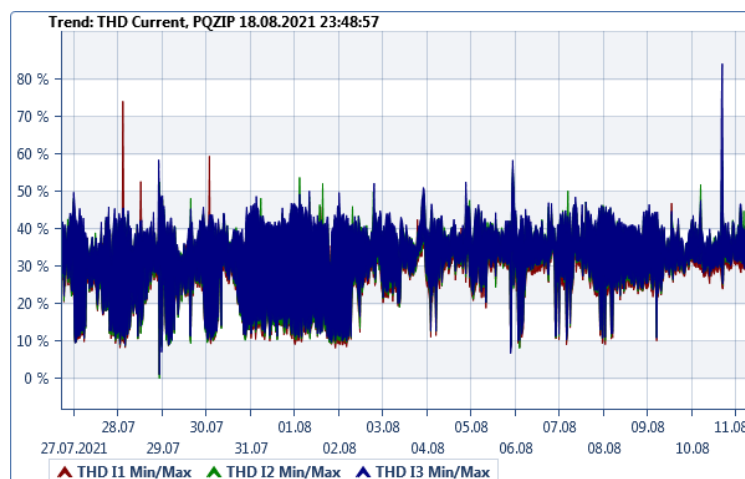


Slika 7 - Faktor snage $\cos\phi$

2.3.3 Merena distorzija struje. Autori su želeli da u okviru ovog rada daju i napomenu o rezultatima laboratorijskih merenja koja su vršena u svrhu utvrđivanja uticaja strujne distorzije na merenja indukcionih brojila, [8]. Naime, ispitivanjem opisanim u [8], ustanovljeno je da brojilo vrlo brzo izlazi iz klase tačnosti nakon što strujna distorzija pređe 50%. Greške merenja brojila se tada kreću od (3-5)%. Nažalost, u okviru usvojene zakonske regulative u oblasti elektroenergetike nije definisana granica dozvoljenog izobličenja talasnog oblika struje, THD struje. Autori su mišljenja da bi bilo dobro razmotriti uvođenje strujne distorzije KDS u zakonsku regulativu,

čime bi se upotpunilo regulisanje uticaja KDS na DEES. Potreba za tim se očituje i na ovom konkretnom primeru. Naime, dijagrami sa rezultatima merenja THD struje, pokazuju da je THD struje u prvom intervalu merenja u više mahova prelazi 50%, slika 8, dok je u drugom intervalu sve vreme merenja između 10% i 50%. Stoga je jasno da KDS „Fabrika čokolade“, sa ovakvim talasnim oblicima struje, svakako ima nepovoljan uticaj na mrežu DEES i da je upitna tačnost njegovog obračunskog merenja.

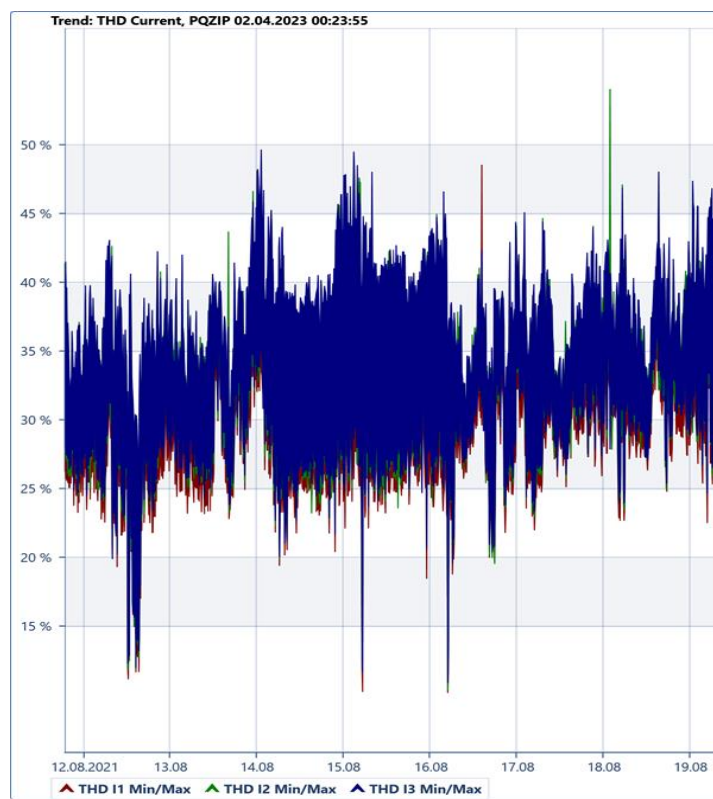
Na slici 8 dato je THD struje za interval prvog merenja 26.7.2021. – 11.8.2021.



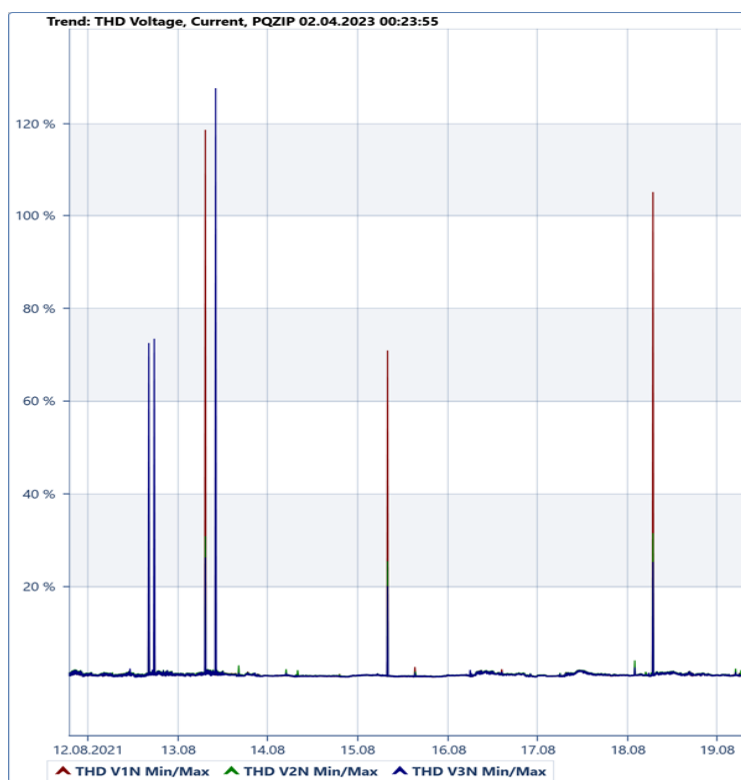
Slika 8 - THD struje – prvi interval merenja

Na slici 9 je prikazan THD struje za interval drugog merenja 11.8.2021.-19.8.2021.

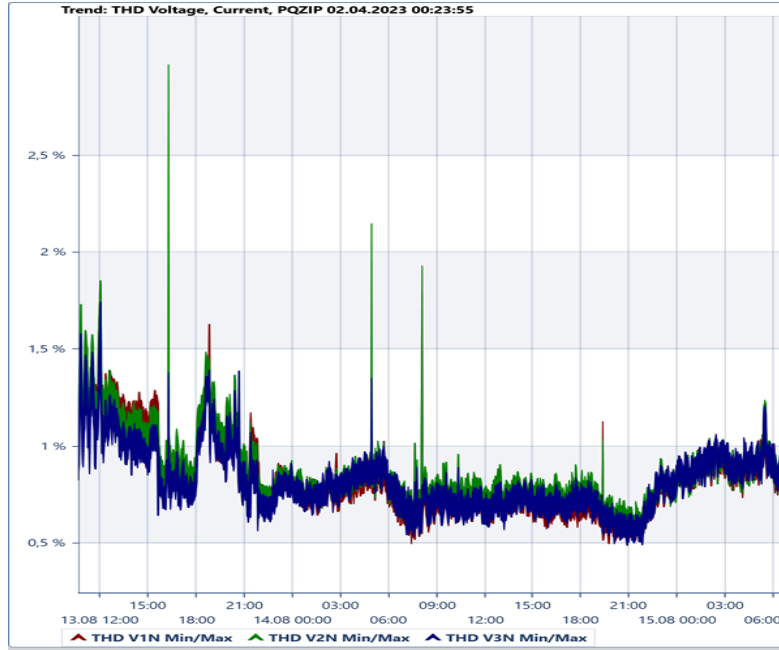
Na slici 10 je data THD napona gde se mogu uočiti niske vrednosti THD napona. Slika 11 predstavlja uvećani deo (zoom) slike 10 u intervalu od 13.08. u 10.00 č. do 15.08. u 07.00 č.



Slika 9 – THD struje – drugi interval merenja



Slika 10 - THD napona



Slika 11 - THD napona - zoom vremenskog intervala 13.08. 10.00 č. - 15.08. 07.00 č.
(dato je uvećanje vremenskog intervala slike 10 – od 12.08. do 19.08)

2.3.4 Faktor korekcije. Ako se pođe od osnovnih definicija distorzija napona i struja, uz određene usvojene pretpostavke, može se zaključiti da je opravdan faktor korekcije dat u poslednjem izrazu u [8], jer ako su harmonici struje i napona prisutni, tada se struje i naponi mogu izraziti na sledeći način:

$$v(t) = \sum_{k=1}^{\infty} U_k \sin(k\omega_0 t + \delta_k) , \quad (1)$$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} I_k \sin(k\omega_0 t + \theta_k) . \quad (2)$$

Srednje kvadratne (efektivne) vrednosti (Root Mean Square) napona i struje su:

$$U_{rms} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{U_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} U_{krms}^2} , \quad (3)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{I_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_{krms}^2} . \quad (4)$$

Srednja snaga je data kao:

$$\begin{aligned} P_{avg} &= \sum_{k=1}^{\infty} U_{krms} I_{krms} \cos(\delta_k - \theta_k) \\ &= P_{1avg} + P_{2avg} + P_{3avg} + \dots , \end{aligned} \quad (5)$$

gde se vidi da svaki harmonik odstupa od vrednosti srednje snage u minusu ili plusu. Efekat harmonika se može videti i objasniti preko aktivne i reaktivne snage:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T U(t) I(t) dt = \frac{U_{m1} I_{m1}}{2} \cos \theta_1 + \\ &+ \frac{U_{m2} I_{m2}}{2} \cos \theta_2 + \dots , \end{aligned} \quad (6)$$

$$Q = \frac{U_{m1} I_{m1}}{2} \sin \theta_1 . \quad (7)$$

Totalna harmonijska distorzija napona je:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_{krms}^2}}{V_{1rms}} 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2}}{V_1} 100\% . \quad (8)$$

Totalna harmonijska distorzija struje je:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_{krms}^2}}{I_{1rms}} 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{V_1} 100\% . \quad (9)$$

Efektivne vrednosti napona i struje su:

$$U_{rms} = U_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_U}{100}\right)^2} , \quad (10)$$

$$I_{rms} = I_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2} . \quad (11)$$

Faktor snage je:

$$pf_{true} = \frac{P_{1avg}}{U_{1rms} I_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_U}{100}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} , \quad (12)$$

uz uslove:

$$P_{avg} \approx P_{1avg} , \quad (13)$$

$$THD_U \leq 10\% , \quad (14)$$

$$U_{rms} = U_{1rms} . \quad (15)$$

Faktor snage u nelinearnim režimima je:

$$pf_{true} = \frac{P_{1avg}}{U_{1rms} I_{1rms}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_U}{100}\right)^2}} = pf_{disp} \cdot pf_{dist} , \quad (16)$$

$$pf_{true} \leq pf_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} . \quad (17)$$

U (1) do (17), upotrebljene oznake imaju sledeća značenja:

pf_{true} – faktor snage u nesinusnom okruženju

pf_{dist} – distorzioni faktor snage

pf_{disp} – faktor snage pomeranja
(displacement power factor)

Izraz (17) je faktor korekcije koji se može koristiti u sistemima obračuna, gde se kod ovog KDS može uočiti izrazit porast THD struje i samim tim opravdan zahtev za penalizaciju.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu merenja parametara kvaliteta električne energije i reklamacije KDS na određene parametre kvaliteta može se zaključiti da je na mestu predaje električne energije (20 kV obračunsko merno mesto) efektivna vrednost napona u okvirima tehničkih propisa definisanim kroz obavezujuću regulativu u oblasti elektroenergetike;

Na osnovu analize rezultata merenja i uočenih događaja zaključeno je da KDS u svom pogonu treba da sagleda karakteristike tehnoloških procesa, tehničke osobine pogona i električne instalacije, kako bi se postigla veća pouzdanost i stabilnost procesa, na šta ukazuju i važeći propisi definisani kroz obavezujuću regulativu u oblasti elektroenergetike i uslovi definisani u UPP;

Vrednosti merenja faktora snage (ispod 0,95) ukazuju na neophodnost revizije kompenzacije, odnosno dovođenje faktora snage KDS do naznačene vrednosti (definisano u izdatim uslovima UPP).

U okviru zakonske regulative razmotriti uvođenje THDI_{max} za KDS.

LITERATURA

- [1] V.Katić, A.Tokić, T. Konjić Kvalitet električne energije, EU TEMPUS PROJECT CD JEP-18126-2003, Novi Sad, jun 2007. ;
- [2] Pravila o radu Distributivnog sistema, „EPS Distribucija Beograd“ d.o.o Beograd, jul 2017, strane 12 i 13;
- [3] Zakon o energetici, „Službeni glasnik RS“, br. 145/2014, Član 135, stav 1;
- [4] Zakon o energetici „Službeni glasnik RS“, br. 145/2014, Član 136.
- [5] SRPS EN 50160:2012, 4.2.5. str. 15, Institut za standardizaciju Republike Srbije (2012)
- [6] Uredba o uslovima isporuke i snabdevanja električnom energijom „Službeni glasnik RS“, br. 63/2013 i 91/2018.
- [7] Pravilnik o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona, Službeni list SFRJ br. 53/88, 54/88, 28/95
- [8] R.Milankov, M. Radić, Active energy measuring and harmonics, ICHQP, 16th International conference on harmonics and quality of power, Bucharest, Romania, 25. – 28. May, 2014

BIOGRAFIJE



Milica Porobić - Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu završila februara 2001. godine, smer elektroenergetika. Radni odnos u tadašnjoj „Elektrovojvodini“, započinje 2005. godine u Sektoru upravljanja. 2010. godine je angažovana na projektu „Smart City“, automatizacija sredjenaponske mreže, za isti sistem je i dalje odgovorna. Autor je i koautor više radova na temu upravljanja distributivnim sistemom. Član STK 3, CIRED Srbija. Udata, majka troje dece.



Radislav Milankov - 1959 god. Aleksandrovo, Osnovna škola „Đura Jakšić“ Srpska Crnja, Gimnazija prirodno-matematičkog smera Srpska Crnja, Elektrotehnički fakultet Beograd, Elektrodistribucija Beograd, Ogranak Zrenjanin Pogon Kikinda, Šef Službe Upravljanja.

Autor nekoliko nagrađivanih radova na domaćim savetovanjima CIGRE i CIRED, rad na Savetovanju CIRED Stockholm 2013, rad na Savetovanju ICHQP Bucharest 2014, član STK2, SCADA sistemi, relejna zaštita, kvalitet električne energije. Oženjen, otac jedne ćerke.



Dragan Cvetinovic - Fakultet tehničkih nauka - elektrotehnički odsek, smer energetika upisao 1977. godine, a diplomirao 1983. godine. Zaposlio se 1985. godine u JP „Elektrovojvodina“, „Elektrodistribucija“ Novi Sad u Sektoru za eksploataciju u kojem je radio u Službi održavanja TS 110(35)/x kV, a nakon toga u Sektoru za eksploataciju Uprave preduzeća i naposljetku u Sektoru za upravljanje „Elektrodistribucije Novi Sad“. U nekoliko mandata je bio član STK grupe za eksploataciju u okviru CIRED Srbija, za koji je pisao nekoliko radova. Takođe, predstavljao je svoju kompaniju sa radovima na simpozijumu DA/DSM u Berlinu 2000. godine i na ogranku IEE u Brazilu 2002. godine. Penzionisan je 2023. godine.



Ratko Rogan – Nakon završene Gimnazije u Zrenjaninu - smer prirodno-matematički, diplomirao na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, smer elektroenergetika. U Elektrodistribuciji Srbije obavljao više značajnih funkcija: Koordinator, Direktor sektora opštih poslova, trenutno zaposlen kao Direktor sektora upravljanja- Glavni dispečerski centar pri Direkciji za upravljanje DEES. Član STK6 u okviru CIRED Srbija za koji je kao autor i koautor pisao više radova. Takođe i član skupštine CIRED. Oženjen, otac troje dece.

Milica Porobić¹, Radislav Milankov², Dragan Cvetinov³, Ratko Rogan⁴



Analysis of Delivered Power to the Customer "Barry-Callebaut - Chocolate Factory Novi Sad"

¹ DSO Elektro distribucija Srbije“ d.o.o. Belgrade, DEPS Control Department, Serbia

² DSO Elektro distribucija Srbije“ d.o.o. Belgrade, ED Zrenjanin Branch, Srbija*

³ DSO Elektro distribucija Srbije“ d.o.o. Belgrade, ED Novi Sad Branch, Srbija

⁴ DSO Elektro distribucija Srbije“ d.o.o. Belgrade, NDDC, Srbija

Category of article: Professional paper

Highlights

- Reasons of complaints of end-users of the distribution system
- Measurement of the desired parameters of the quality of electricity
- Analysis of measured values and consideration of the causes of events
- Mutual influences between the end-user and the distribution power system

Abstract

The Distribution System Operator "Elektro distribucija Srbije" (DSO), when issuing Design and Connection Conditions (DCC) to the users of the distribution system (UDS) under paragraph 4 of those Conditions, clearly defines the basic technical data on the distribution electric power system (DEPS) at the user's connection point. With this data, industrial UDS receives information about the technical characteristics of the settings in DEPS according to which it adjusts its production processes. Otherwise, the production process will be sensitive to the delivery of electricity of technical characteristics defined through DCC.

In the operational management of DEPS, UDS complaints about the quality of delivered electricity occur. Professional services of DSO, after filing a complaint, install an electricity quality analyzer of high technical performance, at the point of connection to UDS. The goal is to obtain a technically high-quality analysis that will determine the causes of the production process stoppage problem at UDS.

This paper aims to present an example from practice in the distribution area "DA Novi Sad" in the area of the branch "Elektro distribucija Novi Sad", where UDS "Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad" filed a complaint about the quality of electricity. The results of the monitoring of the delivered electricity are presented in this paper.

Keywords

Power quality, Customer's complaint, Measurement analysis

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Analysis of Delivered Power to Customer Barry-Callebaut - Chocolate Factory Novi Sad", awarded by Expert Committee EC-2 Power Quality in Power Distribution Systems at the 13th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 12-16, 2022

Received: April 6th, 2023

Reviewed: July 3rd, 2023

Modified: July 10th, 2023

Accepted: July 28th, 2023

*Corresponding author: Radislav Milankov

E - mail: Radislav.Milankov@ods.rs

UREĐIVAČKA POLITIKA I TEMATSKE OBLASTI ČASOPISA

Pri ponovnom pokretanju izdavanja časopisa „Elektroprivreda“, odlučeno je da on ima naučno-stručni karakter i da bude pripreman i publikovan po novoj, široj koncepciji i dvojezično, na srpskom i engleskom. Pri tome će na engleskom jeziku biti objavljivani samo oni rukopisi za koje autori iz Srbije i regiona iskažu takvu želju, a recenzenti i Uredništvo procene da imaju odgovarajući doprinos i da bi mogli biti od interesa i za čitalačku publiku van srpskog govornog područja. Časopis je, naravno, otvoren i za rukopise stranih autora čiji su originali na engleskom jeziku. Uz saglasnost ovih autora, odobreni rukopisi će biti prevedeni i objavljivani i na srpskom jeziku. Na srpskom jeziku dostupne su ćirilčna i latinična verzija objavljenih članaka.

Časopis se, po pravilu, izdaje dva puta godišnje, isključivo elektronski (*on line*). Časopis je otvorenog pristupa (*Open Access*), pri čemu je objavljivanje prihvaćenih rukopisa besplatno, bez bilo kakvih finansijskih obaveza autora. Sa druge strane, takođe nema ni finansijskih obaveza Izdavača prema autorima, kako prijavljenih rukopisa, tako ni objavljenih članaka.

Sadržaj rukopisa prijavljenog za objavljivanje u Časopisu mora biti originalno delo autora i ne sme biti već objavljen ili javno predstavljen (niti objavljen ili predstavljen u međuvremenu, pre prvog objavljivanja u „Elektroprivredi“), bilo gde u svetu, u bilo kom obliku. Ovo pravilo se neće primenjivati na rukopise prijavljene za posebna, specijalna izdanja Časopisa, koja budu posvećena već prezentovanim, izabranim radovima sa partnerskih konferencija, pri čemu takav rukopis mora biti proširen najmanje 30% u odnosu na prezentovani konferencijski rad, unapređen i dodatno recenziran po istoj proceduri kao i rukopisi prijavljeni za redovna izdanja Časopisa.

U Časopisu se objavljuju samo oni rukopisi koji dobiju najmanje dve pozitivne recenzije od strane renomiranih eksperata u oblasti na koju se rukopis odnosi, odnosno većinu pozitivnih recenzija, u slučaju angažovanja većeg broja recenzenata.

Časopis prihvata na razmatranje rukopise i objavljuje radove naučno-istraživačkog i stručnog karaktera, a posebno rukopise/radove u oblastima:

- novih tehnologija za obezbeđivanje, obradu i korišćenje primarnih energenata,
- proizvodnje, prenosa i distribucije električne energije,
- skladištenja i konverzije električne i toplotne energije,
- racionalne potrošnje električne i toplotne energije,
- razvoja obnovljivih izvora energije,
- informacionih i telekomunikacionih sistema,
- organizacije rada elektroenergetskog sistema,
- zaštite životne sredine,
- revitalizacije elektroenergetskih objekata,
- pronalazaštva i inovacija,
- restrukturiranja i privatizacije u energetsom sektoru,
- tržišta električne energije,
- primene pravne regulative Evropske unije u oblasti energetike i
- drugih srodnih oblasti.

Časopis je zamišljen kao platforma i alat za prikazivanje iskustava, konstruktivno iskazivanje i sučeljavanje stavova, stručne diskusije eksperata iz struke i prakse i iz naučno-istraživačkih institucija i inovativnih centara. Naime, otvorena razmena njihovih mišljenja i iskustava, po pitanjima strateškog razvoja i opredeljivanja za nove tehnologije može doprineti iznalaženju adekvatnih i optimalnih tehničko-tehnoloških, pravno-ekonomskih i organizaciono-poslovnih odgovora na sve izazove dekarbonizacije, digitalizacije i tranzicije elektroenergetike ka održivom razvoju.

U ime Uredništva,

dr Vladimir Šiljkut
glavni i odgovorni urednik

KATEGORIZACIJA (RANGIRANJE) RUKOPISA

Prilikom pregleda rukopisa i popunjavanja Izveštaja o tome, recenzenti predlažu, a Uredništvo – u slučaju prihvatanja rukopisa za objavljivanje – utvrđuje njegovu kategoriju (rang). Kategorizacija (rangiranje) rukopisa vrši se prema *Pravilniku o kategorizaciji i rangiranju naučnih časopisa* („Službeni glasnik RS“, br. 159 od 30.12.2020.) i ovde priloženoj tabeli:

Naučni članci:	
Originalni/izvorni naučno-istraživački rad	Rad u kome se iznose prethodno neobjavljivani rezultati sopstvenih istraživanja naučnim metodom
Pregledni rad	Rad koji sadrži originalan, detaljan i kritički prikaz istraživačkog problema ili područja u kome je autor ostvario određeni doprinos
Kratko ili prethodno saopštenje	Originalni naučni rad punog formata, ali manjeg obima ili preliminarne prirode
Naučna kritika, odnosno polemika i osvrti	Rasprava na određenu naučnu temu zasnovana isključivo na naučnoj argumentaciji i korišćenjem naučne metodologije
Stručni članci:	
Stručni rad	Prilog u kome se nude iskustva korisna za unapređenje profesionalne prakse, ali koja nisu nužno zasnovana na naučnom metodu
Informativni prilog	Uvodnik, komentar i sl.
Prikaz	Prikaz knjige, računarskog programa, slučaja, naučnog događaja i sl.
Stručna kritika, odnosno polemika i osvrti	Rasprava / diskusija na određenu stručnu temu

Prvi A. Autor¹, Drugi B. Autor², Treći C. Autor³, ...

Uputstvo za pripremu radova - naslov rada

(NE VIŠE OD ČETIRI REDA)

¹ Afiliacija prvog autora - institucija, grad, zemlja*

² Afiliacija drugog autora - institucija, grad, zemlja (ako se razlikuje od 1)

³ Afiliacija trećeg autora - institucija, grad, zemlja (ako se razlikuje od 1,2)

...



Kategorija rada: (unosí Redakcija)

UDK: (unosí Redakcija)

Ključne poruke

- U najviše četiri kratke stavke/bullets treba izložiti ključne aspekte i poruke rada
- Rečenice ovih stavki moraju biti kratke, jezgrovite, pomoćni glagoli mogu biti izostavljeni
- Npr: Uputstvom sagledani struktura i oblikovanje rada za publikovanje

Kratak sadržaj

Kratak sadržaj rada treba da sadrži sažet opis problema, primenjene metode i zaključke. On je esencijalni deo rada i treba da bude jasan i koncizan. Kratak sadržaj treba da bude informativan, dajući pregled problematike, postupka i glavnih zaključaka, rezultata i njihovog značaja. Ne treba pisati u prvom licu, ne navoditi reference i jednačine i izbegavati skraćenice. Ne treba da sadrži više od 300 reči (na srpskom) do 350 (na engleskom, uključujući i određene i neodređene članove ispred imenica).

Ključne reči

Navesti do maksimalno šest ključnih reči, odvojenih međusobno zapetama

Primljeno: (unosí Redakcija) Recenzirano: (unosí Redakcija)

Izmenjeno: (unosí Redakcija) Odobreno: (unosí Redakcija)

*Korespondirajući autor: (ime i prezime, telefon)

E - mail:

1. UVOD

U časopisu "Elektroprivreda" se objavljuju kategorisani članci: originalni naučni radovi, prethodna saopštenja, pregledni i stručni radovi iz oblasti elektroprivrede i energetike.

Svi radovi podležu recenziji. Za originalnost rada, kvalitet i verodostojnost rezultata odgovorni su isključivo autori. Predajom rada autori prihvataju sva pravila navedena u ovom Uputstvu.

Ovaj dokument sadrži uputstva za pripremu radova. Mole se autori da se u pripremi radova u potpunosti pridržavaju ovog Uputstva kako bi se izbegli problemi pri štampanju rada.

Dokument je uzorak za *Microsoft Word* (verzija 7 i viša) i ujedno je i primer željenog izgleda rada. U njemu su sadržane sve potrebne informacije o formatu rada, tipu i veličini fontova, kao i pravila koja objašnjavaju postupke u vezi sa jednačinama, mernim jedinicama, slikama, tabelama i ostalim delovima rada.

Kompletan rad koji sadrži rukopis, tabele, grafikone, crteže, fotografije i puna imena i prezimena autora sa afilijacijama treba dostaviti postavljanjem on line na Aplikaciju za rukovanje rukopisima, dostupnu na veb-sajtu Časopisa, <https://epijournal.eps.rs/prijava> ili, alternativno, slanjem na e-mail adresu: epijournal.editor@eps.rs.

Obim rada je najviše deset strana (ne računajući spisak literature i naslov, ključne poruke, kratak sadržaj i ključne reči na engleskom jeziku), osim u slučajevima preglednih radova i specijalnih izdanja Časopisa sa proširenim nagrađenim radovima sa konferencija, u kom slučaju broj stranica nije ograničen, ali se preporučuje da bude do 16.

Original rada treba da bude prezentovan u formatu A4 (210x297) mm. Tekst rada treba da bude poravnat po obe margine. Sve margine treba da budu podešene na 2 cm. Tekst rada treba da bude urađen sa *single* proredom. Rad može biti napisan na srpskom ili engleskom jeziku. (Uredništvo odlučuje koji radovi će biti prevedeni i na drugi jezik, kako bi bili dostupni što većem skupu čitalaca.) Veličina fonta za pojedine delove teksta je kao u ovom Uputstvu. U radu treba izbegavati celovita matematička izvođenja. Neophodna izvođenja mogu se dati, po potrebi, kao celine, u vidu jednog ili više priloga.

Ovaj dokument može se direktno preuzeti sa web adrese <https://epijournal.eps.rs> i koristiti kao podloga za pripremu rukopisa, jednostavnim unošenjem delova teksta rada na određena mesta u ovom dokumentu.

Preporuka je da tekst rada počne uvodom u kome se formulišu problem i zadatak rada. Daje se pregled i komentar korišćene literature iz navedene oblasti i ukazuje na poziciju i doprinos rada u odnosu na navedenu literaturu.

2. NASLOV POGLAVLJA (na primer: PRIPREMA TEKSTA)

Radi veće jasnoće tekst rada treba podeliti na poglavlja i potpoglavlja. Poglavlja i potpoglavlja treba numerisati arapskim brojevima, potpoglavlja brojevima razdvojenim tačkom. Naslove poglavlja i potpoglavlja od teksta pre i

posle naslova odvojiti jednim praznim redom. Treba izbegavati prelom teksta na naslovu ili podnaslovu u tekstu.

2.1 Nivoi potpoglavlja

Sa potpoglavljima nije poželjno ići niže od drugog nivoa, na primer 2.1, 3.3 i sl.

2.1.1 Treći nivo potpoglavlja. Dozvoljen je samo izuzetno, ukoliko doprinosi metodološkoj i generalnoj jasnoći teksta rada i piše se, kao i naslovi potpoglavlja, boldiranim malim slovima, ali se završavaju tačkom, nakon koje, u nastavku tog reda i pisana normalnim fontom, počinje prva rečenica tog potpoglavlja.

2.2 Pozicioniranje tabela i grafičkih priloga

Tabele, slike i grafici mogu, po potrebi, da budu u jednoj ili preko obe kolone. Sve slike i tabele treba da budu postavljene u tekst blizu, ali nikako ispred, mesta u tekstu na kome se prvi put pominju. Slike i tabele u prilogima treba da budu označene na isti način kao u tekstu rada.

2.3 Prva strana

Na sredini prve strane navodi se naslov rada *bold* slovima veličine 16, tipa *Times New Roman*. Ispod naslova navode se puna imena i prezimena autora slovima veličine 11. Ispod imena i prezimena navode se afilijacije autora, slovima veličine 10. Posle navođenja podataka o autorima, na prvoj strani se navode ključne poruke rada, rezime rada i ključne reči, slovima veličine 11.

Ukoliko je rad pisan i za objavljivanje odobren samo na srpskom jeziku, posle sadržaja opisanog u prethodnom pasusu, u konačnoj verziji rada za publikovanje navode se i naslov rada, ključne poruke, rezime rada i ključne reči na engleskom jeziku.

Ukoliko je rad pisan na engleskom jeziku i odobren za objavljivanje, u celosti se prevodi i objavljuje i na srpskom jeziku, u identičnom formatiranju.

Ukoliko je rad pisan na srpskom jeziku i odobren za objavljivanje na oba jezika, u celosti se prevodi i objavljuje i na engleskom, u identičnom formatiranju.

U donjem levom uglu prve strane treba dati pune podatke potrebne za ostvarenje kontakta sa prvim autorom rada.

Sve ovo se jednostavno realizuje korišćenjem datog modela prve strane jednostavnim unošenjem predviđenog teksta na za to predviđena mesta u Uputstvu.

2.4 Podnaslov (na primer: Tekst rada)

Tekst rada se jednostavno unosi umesto teksta Uputstva u ovaj format unošenjem ili kopiranjem delova teksta koji su urađeni u skladu sa ovim uputstvom na za to predviđena mesta u Uputstvu.

2.5 Jednačine

Jednačine treba postaviti na sredinu teksta i numerisati ih arapskim brojevima u malim (okruglim) zagradama uz desnu marginu teksta. Za jednačine treba koristiti

matematički softver (*Microsoft Equation Editor for MS Word* ili *MathType*). Na primer:

$$I_F = I_B = -I_C = \frac{-J\sqrt{3}E_A}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

Jednačine treba odvojiti od teksta pre i teksta posle razmakom od 6 pointa. Simboli koji se koriste u jednačini moraju biti definisani pre nego što se pojave u jednačini ili neposredno posle jednačine. Pozivanje na neku jednačinu u tekstu vrši se navođenjem broja jednačine u maloj zagradi (1). Ako se rečenica počinje pozivom na jednačinu tada koristiti "Jednačina (1) je ...".

2.6 Tabele

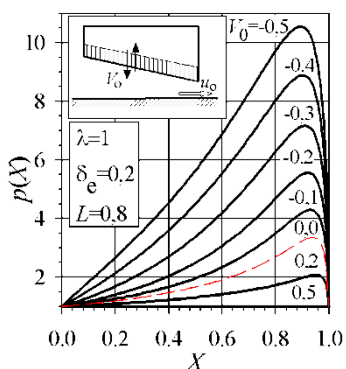
Tabele treba da budu ubačene u tekst na mestima gde se prvi put pominju ili neposredno posle. Treba da budu označene označene rimskim brojevima, a broj i naziv tabele treba da budu iznad tabele. Na primer:

Tabela I Trajanje simulacija i zauzeće memorije

ISCAS kolo	CPU vreme [s]	zauzeće memorije [MB]
c17	2	3.9
c432	62	68.7
c880	160	152.6
c1355	283	178.8

2.7 Slike

Slike treba da budu brižljivo pripremljene i unesene u tekst na predviđeno mesto. Broj i naziv slike moraju biti ispod slike. Brojeve slika označavati arapskim brojevima. Radi boljeg razumevanja izbegavati prekomerne informacije na slikama. Svi komentari koji se odnose na slike treba da se nalaze u zaglavlju. Kucane oznake treba da budu izabrane pažljivo da bi se obezbedila jasnoća. Pokušati da se ose na slikama opišu i rečima, ne samo simbolima. Na primer, bolje je napisati **vreme t**, nego samo **t**. Oznake za merne jedinice treba staviti u zagrade.



Slika 1. Opis slike

3. ZAKLJUČAK

Iako zaključak treba da sadrži pregled ključnih rezultata rada, u njemu ne treba ponavljati deo naveden u

Kratkom sadržaju. Zaključak može da objasni značaj rada ili predloži moguće primene ostvarenih rezultata i da smernice za dalja istraživanja problematike tretirane u radu.

ZAHVALNICA

Zahvalnice za sponzorstvo, finansiranje ili pomoć u radu, ako ih ima, treba da budu kao poseban, nenumerisan deo pre spiska literature. U naslovu koristiti jedninu i kada ima više zahvalnica.

LITERATURA

Spisak korišćene literature treba da bude na kraju rada u posebnom, nenumerisanom delu. Reference se numerišu arapskim brojevima u srednjim (uglastim) zagradama, po redosledu citiranja u tekstu rada. Pri navođenju, obratiti pažnju na to da reference budu tačne i kompletne, tj. da potpuno opisuju izvore podataka.

Sve navedene reference moraju biti direktno citirane u samom tekstu rada navođenjem broja reference u srednjoj (uglastoj) zagradi. Ne ograničavati se samo na navođenje svojih referenci, već navesti i relevantne reference iz posmatrane oblasti.

U nastavku se daju primeri načina navođenja literature: rad objavljen u časopisu [1], knjiga [2], poglavlje u knjizi više autora [3], rad objavljen u zborniku radova sa konferencije [4] i članak preuzet sa veb sajta [5].

- [1] Šiljak D. D, Stipanović D. M, "Robust stabilization of nonlinear systems - the LMI approach", *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 6, No. 5, pp. 461-493, 2000.
- [2] Marković Z., "Granična stanja čeličnih konstrukcija prema evrokodu", Akademska misao, Beograd, 2014.
- [3] Deavours D., "UHF RFID antennas", in: Bolić M. (Ed.), *RFID systems - research trends and challenges*, Ch. 3, Wiley, New York, 2010.
- [4] Ocokoljić G., Živković S., Subotić S., "Aerodynamic coefficients determinations for the ATM model with lateral jets simulation - experimental and numerical methods", *Proc. 4th International scientific conference on defensive technologies OTEH 2011*, Belgrade, Serbia, pp. 17-22, 6-7 October 2011.
- [5] Vukić B., "Društvene igre za visokopozicionirane poslovne ljude" [Internet]. Beograd; Novi Sad: Adizes Southeast Europe; 2010 [citirano 19.03.2012]. Dostupno na: <http://www.asee.rs/?page=142&oi=69>

DODATAK (PRILOG) 1

Dodaci, ukoliko su neophodni, treba da budu navedeni posle Literature. Ako ih ima više, treba da budu numerisani arapskim brojevima. U slučaju da prilozi sadrže tabele ili slike, oni se numerišu slovom "A" iza koga sledi tačka i redni broj (i to: za tabele rimski, od "I" nadalje, redom jedinstveno za sve priloge; a za slike arapski, od "1" nadalje, jedinstveno za sve priloge).

DODATAK (PRILOG) 2

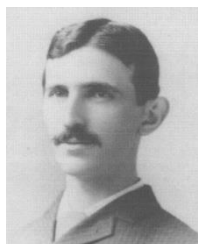
U zavisnosti od njihovog sadržaja, prilozi mogu biti formatirani dvostubačno ili jednostubačno. U slučaju kada to čitaocu omogućava bolju preglednost, slike i tabele u priložima mogu biti zarotirane ulevo za 90°.

Tabela A.I Naziv prve tabele u Prilogu

Zaglavlje	Kolona 1	Kolona 2	Kolona 3	Kolona 4	Kolona 5	Kolona 6	Kolona 7
Red 1							
Red 2							
Red 3							
Red 4							
Red 5							
Red 6							

BIOGRAFIJE

Treba dati kratku biografiju za svakog autora. Početi imenom i prezimenom autora i dati njegovu kratku, pretežno stručnu biografiju. Treba uključiti i fotografiju autora. Primer biografije je dat u nastavku.



Nikola Tesla je rođen u Smiljanu u Austrijskom carstvu, 9. jula 1856. Završio je Austrijsku politehničku školu u Gracu i studirao na Univerzitetu u Pragu. Njegovo radno iskustvo uključivalo je American Telephone Company, Budimpešta, Edison Machine Works,

Westinghouse Electric Company i Nikola Tesla Laboratories. Njegova posebna polja interesovanja su bile oblasti visokih frekvencija. Tesla je dobio počasne diplome

od institucija visokog obrazovanja uključujući Univerzitet Kolumbija, Univerzitet Jejl, Univerzitet u Beogradu i Univerzitet u Zagrebu. Dobio je medalju Elliott Cresson Instituta Franklin i Edisonovu medalju IEEE. Godine 1956. termin "tesla" (T) je usvojen kao jedinica za gustinu magnetnog fluksa u sistemu MKSA. 1975. godine Elektroenergetsko društvo (*Power Engineering Society*) je ustanovilo nagradu Nikola Tesla u njegovu čast. Tesla je preminuo 7. januara 1943. godine.

Autori su obavezni da Redakciji časopisa prilikom dostave rada dostave i potpisanu Izjavu o autorstvu i originalnosti rukopisa, čiji se obrazac može preuzeti sa sajta Časopisa, <https://epijournal.eps.rs>.

First A. Author¹, Second B. Author², Third C. Author³, ...



Instructions for the preparation of article - the title of the article (NOT MORE THAN FOUR LINES)

¹ Affiliation of the first author - institution, city, country*

² Affiliation of the second author - institution, city, country (if differs from 1)

³ Affiliation of the third author - institution, city, country (if differs from 1, 2)

...

Category of article: (Editor's input)

UDK: (Editor's input)

Highlights

- Key aspects and messages of the work should be presented in a maximum of four short items/bullets
- The sentences of these items must be short, concise, auxiliary verbs can be omitted
- E.g.: The structure and design of work for publication are considered by the instruction

Abstract

The Abstract of the article should contain a concise description of the problem, applied methods and conclusions. It is an essential part of the article and should be clear and concise. The Abstract should be informative, giving an overview of the issues, the procedure and the main conclusions, results and their significance. Do not write in the first person, do not list references and equations, and avoid abbreviations. It should not contain more than 300 words (in Serbian) to 350 (in English, including definite and indefinite articles before nouns).

Keywords

Specify up to six keywords, separated by commas

Received: (Editor's input) Reviewed: (Editor's input)

Modified: (Editor's input) Accepted: (Editor's input)

*Corresponding author: (name, phone)

E - mail:

