

DOI: [10.46793/CIGRE37.C2.08](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.C2.08)**C2.08****UTICAJ DISTRIBUIRANIH SOLARNIH ELEKTRANA NA UNUTARDNEVNO
UPRAVLJANJE ELEKTROENERGETSKIM PORTFELJEM EPS AD****THE INFLUENCE OF DISTRIBUTED PV ON THE INTRADAY MANAGMENT OF THE
ELECTRICITY PORTFOLIO OF EPS JSC****Janko Lešević, Stanislava Božić Komatina***

Kratak sadržaj: Imajući u vidu sve veću potrebu za električnom energijom koja prati visoke ekološke standarde u pogledu smanjenja emisije CO₂, Republika Srbija je razvila zakonodavni okvir za kupce-proizvođače, koji je uz trend pada cena izgradnje solarnih elektrana doveo do sve masovnije integracije solarnih elektrana u domaćinstvima. Rad analizira uticaj sve veće proizvodnje električne energije iz solarnih elektrana instalisanih na krovovima domaćinstava i preduzeća na unutardnevno upravljanje elektroenergetskim portfeljem EPS AD kroz prikaz izobličenja dijagrama potrošnje i proizvodnje. Kroz reprezentativne realizovane primere kvantitativno je određen uticaj neupravljive proizvodnje iz solarnih sistema. Takođe, u radu su predstavljeni mehanizmi za optimizaciju upravljanja koji se koriste za neutralizaciju tog uticaja i povećanje profitabilnosti kompanije. Dati su predlozi za unapređenje i adekvatniji odgovor na trend rasta implementacije solarnih elektrana. Cilj je da se pokaže značaj adaptacije tržišta i strategije upravljanja kao i da se ukaže na nove tehnologije koje bi mogle biti prateća (dopunska) mera za optimizaciju upravljanja.

Ključne reči: *Optimizacija, solarna elektrana, konzum, upravljanje, tržište električne energije*

Abstract: Given the increasing demand for electricity that's accompanying high environmental standards regarding CO₂ emission reduction The Republic of Serbia has developed a legislative framework for prosumers, which, combined with the declining cost of building solar power plants, has led to the increasingly widespread integration of rooftop solar installations in households.. This paper analyzes the impact of the growing electricity production from rooftop solar installations in households and businesses on intraday management of EPS JSC portfolio, by illustrating the distortion of consumption and production diagrams. Through representative real-world examples, the impact of non-dispatchable production from solar systems is quantitatively assessed. Furthermore, the paper presents optimization mechanisms used to neutralize this impact and increase the company's profitability. Suggestions are provided for improvements and more adequate responses to the growing trend of solar power plant implementation. The goal is to demonstrate the importance of adapting the market and

* Janko Lešević, Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, Janko.Lesevic@eps.rs
Stanislava Božić Komatina, Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, stanislava.bozic@eps.rs

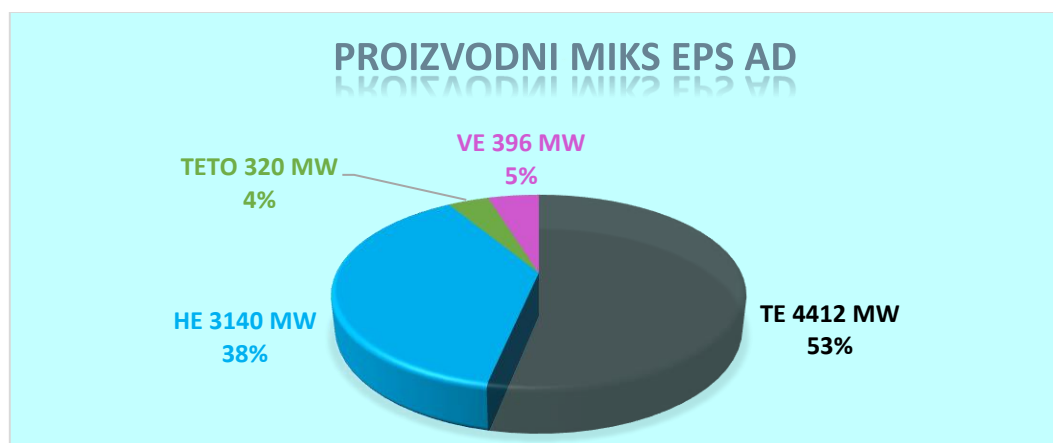
management strategies, as well as to highlight new technologies that could serve as complementary measures for optimizing energy management.

Key words: *Optimizacija, solar power plant, electricity demand, operation, electricity market*

1 UVOD

Sve veće trenutne potrebe kao i trend konstantnog porasta potražnje za električnom energijom u svetu¹, doveli su do izgradnje novih proizvodnih kapaciteta. Zahtevi za ekološki prihvatljivijim rešenjima uzrokovali su zamenu konvencionalnih proizvodnih kapaciteta obnovljivim izvorima energije. Njihova masovna izgradnja u svetu dovela je do pojeftinjenja tehnologije proizvodnje fotonaponskih panela i mogućnosti da se proizvodnja organizuje na distributivnom nivou. Uz podsticajne mere za implementaciju pv panela domaćinstva su dobila priliku da deo svoje potrošnje smanje.

Udeo proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE) u Republici Srbiji je u prethodnom periodu izgradnjom velikih vetroelektrana znatno uvećan, prateći globalne ekološke zahteve i svetski trend smanjenja emisije CO₂. Uprkos tome, i dalje većinski udeo instalisane snage kapaciteta EPS AD dolazi iz elektrana na fosilna goriva (4412 MW na pragu prenosnog sistema), i nešto manje iz hidroelektrana (3140 MW na pragu prenosnog sistema), kao što prikazuje Slika 1 što u poređenju sa drugim elektroprivredama u regionu i Evropi čini proizvodni miks EPS AD vrlo fleksibilnim. Pored sopstvenih kapaciteta, EPS AD je u skladu sa Zakonom o energetici preuzeo balansnu odgovornost za vetroelektrane sa statusom povlašćenih proizvođača instalisane snage 396 MW. Takođe, do kraja 2025. godine očekuje se i puštanje u rad prve vetroelektrane u vlasništvu EPS AD u Kostolcu (instalisan snage 66MW) i solarne elektrane na istoj lokaciji snage 10MW. Slika 1 prikazuje udele različitih tehnologija u proizvodnom miksu EPS AD, gde se može videti dominantnost termoelektrana, uz nešto niži udeo hidroelektrana.



Slika 1: Proizvodni miks EPS AD

Iskorišćen hidropotencijal Srbije pored najavljene izgradnje reverzibilne hidroelektrane RHE Bistrica i Đerdap 3 ostavio je prostora za izgradnju malih hidroelektrana, što je kroz sistem podsticaja relativno brzo dovelo do eksploatacije većine lokacija koje su imale takav potencijal.

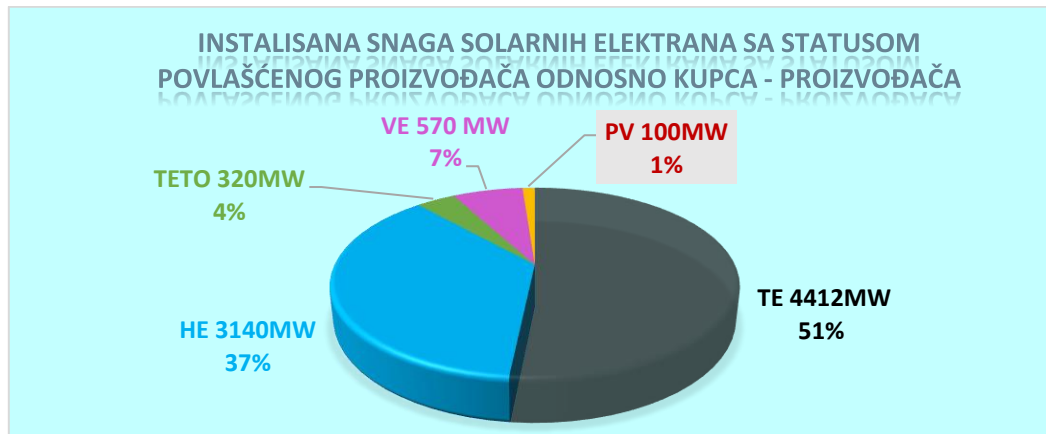
¹ <https://www.iea.org/reports/electricity-2025/executive-summary>

Kako se zahtevi za ekološkim rešenjima po pitanju proizvodnje električne energije nameću kao jedino prihvatljivo rešenje, tako je i okretanje ostalim OIE i povećavanje njihovog udela u proizvodnom miksu deo planova razvoja EPS AD. Kako bi se što pre ostvarili zacrtani ciljevi u povećanju udela OIE, Srbija je kroz podsticajne mere za izgradnju vetro i solarnih elektrana ispratila globalni trend. Jedan od načina koje je država obezbedila jeste podsticaj privrede i stanovništva da se solarne elektrane grade na krovovima postrojenja ali i stambenih objekata. Poslednjih godina cena izgradnje solarnih elektrana je drastično opala. Trenutna cena fotonaponskih panela je na istorijskom minimum i iznosi oko 0.167\$/Wp, čak oko 12 puta niža nego u periodu pre 15 godina kada je iznosila oko 2\$/Wp².

Podsticajne mere u vidu davanja subvencija za izgradnju solarne elektrane na krovovima domaćinstava uticale su na sve veću distribuiranu proizvodnju električne energije. Tako je povećanje instalisanog kapaciteta solarnih elektrana na distributivnom nivou dovelo do povećanja ukupno proizvedene električne energije iz solarnih elektrana, što se sa stanovišta prenosnog sistema ogleda u smanjenju dela potrošnje električne u periodima najveće iradijacije. Pored subvencija, radi pojednostavljenja procedure izgradnje i puštanja malih solarnih elektrana u rad, uvedene su dodatne podsticajne mere koje se tiču otkupa proizvedene električne energije malih solarnih elektrana. Uveden je sistem kupaca – proizvođača koji je omogućio vrlo jednostavno regulisanje svih obaveza u vezi sa dobijanjem neophodnih dozvola za izgradnju elektrane ali i plasmanom energije. Navedeni propisi su predviđali da se sva proizvedena energija koja nije lokalno potrošena može isporučiti u distributivnu mrežu, a da će se pritom koristiti sistem „neto merenje“, koji omogućava kupcu – proizvođaču da „deponuje“ energiju koju je prethodno predao u mrežu, i potroši je u drugom periodu kada je njegova potrošnja veća (ili proizvodnja solarne elektrane manja). Presek stanja se vrši 1. aprila, što znači da svu proizvedenu, a nepotrošenu energiju, kupci – proizvođači mogu potrošiti do ovog datuma, nakon koga se stanje resetuje. Nakon velikog odziva građana i privrede na ovaj vid podsticaja, najavljena je promena podsticajne mere na „neto obračun“, gde se vrednost viška predate električne energije, u toku jednog meseca obračunava i naplaćuje na osnovu ugovora između kupca-proizvođača i snabdevača, dok će se potrošnja tarifirati u skladu sa važećim tarifama. U odnosu na „neto merenje“ način obračuna, jedna od najvažnijih izmena predstavlja i činjenica da kupac-proizvođač neće moći da „deponuje“ višak proizvedene energije koji bi koristio u periodu više potrošnje (ili niže proizvodnje solarne elektrane – najčešće zimski period, kada domaćinstva koja koriste električnu energiju za grejanje mogu imati i nekoliko puta veću potrošnju u odnosu na ostatak godine). Za snabdevača ova promena predstavlja značajno unapređenje jer su kupci-proizvođači mogli predavati višak energije snabdevaču u periodu veoma niskih cena (recimo na proleće, period visokih dotoka na hidroelektranama i niske potrošnje usled odsustva potrebe za grejanjem i hlađenjem), i „deponovanu“ energiju koristiti u periodu vrlo visokih cena (na primer zimi, u periodu loše hidrologije i visoke potrošnje usled potrebe za grejanjem). Pristup „neto merenje“ je kupcu-proizvođaču omogućavao da izgradi elektranu koja bi tokom većine godine bila značajno predimenzionisana u odnosu na njegovu potrošnju, a koja bi uprkos tome bila isplativa zbog visoke potrošnje u zimskom periodu. „Neto obračun“ to menja, pa će budući kupci-proizvođači morati drugačije ocenjivati isplativost svoje investicije. Sve navedeno je uticalo da se brzina izgradnje novih malih solarnih elektrana izuzetno ubrza. Solarne elektrane možemo podeliti na povlašćene proizvođače (čija je

²<https://cleantechnica.com/2020/09/06/solar-pv-panels-were-12x-more-expensive-in-2010-459x-more-expensive-in-1977-tesla-solar-cost-lowest/>

instalirana snaga prema registru povlašćenih proizvođača 8MW), kupce-proizvođače (čija je instalirana snaga prema trenutno dostupnim podacima Elektro distribucije Srbije 27 MW za elektrane na stambenim objektima³, oko 80kW za kupce-proizvođače stambene zajednice⁴ i oko 65MW na ostalim (uglavnom industrijskim) objektima⁵, odnosno ukupno oko 100 MW, što prikazuje Slika 2).



Slika 2 - Udeo solarnih elektrana kod prozjumeru u ukupnoj proizvodnji

Međutim, izvesno je da postoje i dodatne solarne elektrane koje ne pripadaju nijednoj od prethodno navedenih kategorija. Kako bi se procenila ukupna instalirana snaga svih solarnih elektrana u Srbiji, moguće je koristiti izveštaj AERS (poslednji objavljen se odnosi na 2023. godinu) gde su svi proizvodni kapaciteti na distributivnom nivou grupisani po tehnologiji, čiji deo prikazuje Slika 3.

Врста електране	Број електрана	Инсталирана снага (MW)
Мале хидроелектране	163	132
Електране на биомасу	3	4
Електране на биогас	37	39
Ел. на депонијски гас и гас из отпадних вода	0	0
Електране на ветар	5	34
Електране на сунчеву енергију	164	43
Електране на сунчеву енергију на тлу	28	36
Електране на сунчеву енергију на објектима	136	7
Електране на геотермалну енергију	0	0
Ел. са комбин. произ. на фосилна горива	15	39
Електране на отпад	0	0
Остале електране	2	3
УКУПНО	389	294

Slika 3 - Instalirana snaga elektrana na distributivnom nivou prema godišnjem izveštaju AERS za 2023. godinu

Ukupna instalirana snaga svih elektrana na distributivnom nivou 2023. godine iznosila je 294MW, od čega je 252MW elektrana na obnovljive izvore energije. Prema registru Elektro distribucije Srbije⁶, instalirana snaga elektrana na obnovljive izvore energije na distributivnom nivou u trenutku pisanja rada iznosila je 329MW. Ukoliko pretpostavimo da je

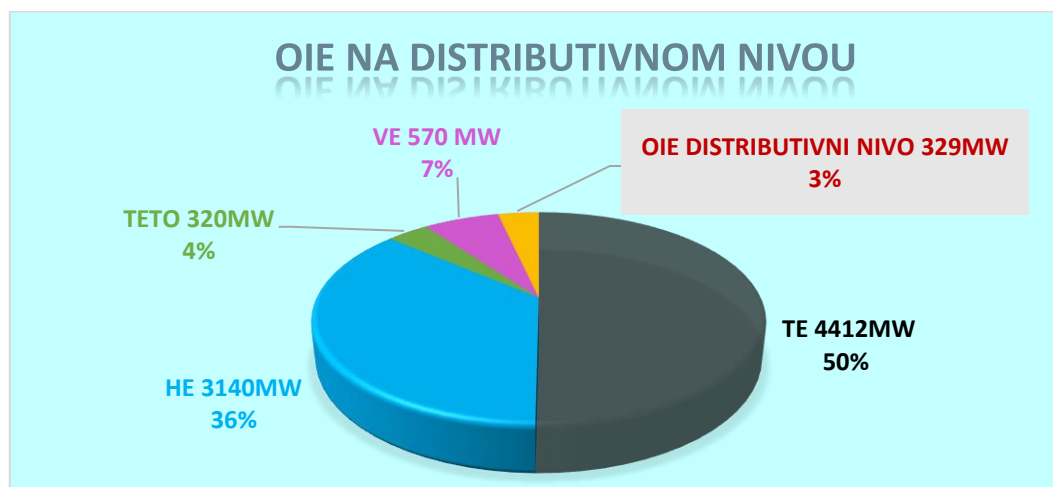
³ <https://elektrodistribucija.rs/pdf/DOMACINSTVA.pdf>

⁴ https://www.elektrodistribucija.rs/pdf/STAMBENA_ZAJEDNICA.pdf

⁵ https://elektrodistribucija.rs/pdf/OSTALI_KP.pdf

⁶ <https://elektrodistribucija.rs/pdf/ELEKTRANE.pdf>

sav dodatni kapacitet koji je instalisan tokom 2024. i 2025. godine (odnosno 77MW) predstavljao solarne elektrane, može se zaključiti da je ukupna instalisana snaga svih solarnih elektrana u Srbiji bez obzira na njihov status iznosi 120MW.



Slika 4 - Udeo OIE na distributivnom nivou

Može se zaključiti da je pomak u povećanju udela OIE u ukupnom proizvodnom miksu mali u procentualnom smislu. Međutim, kada se analiziraju i porede dijagrami potrošnje električne energije u toku dana kada je dan bio oblačan i kada se posmatra sunčan dan, može se doći do zaključka da je na unutardnevnom nivou uticaj solarnih elektrana nezanemarljiv.

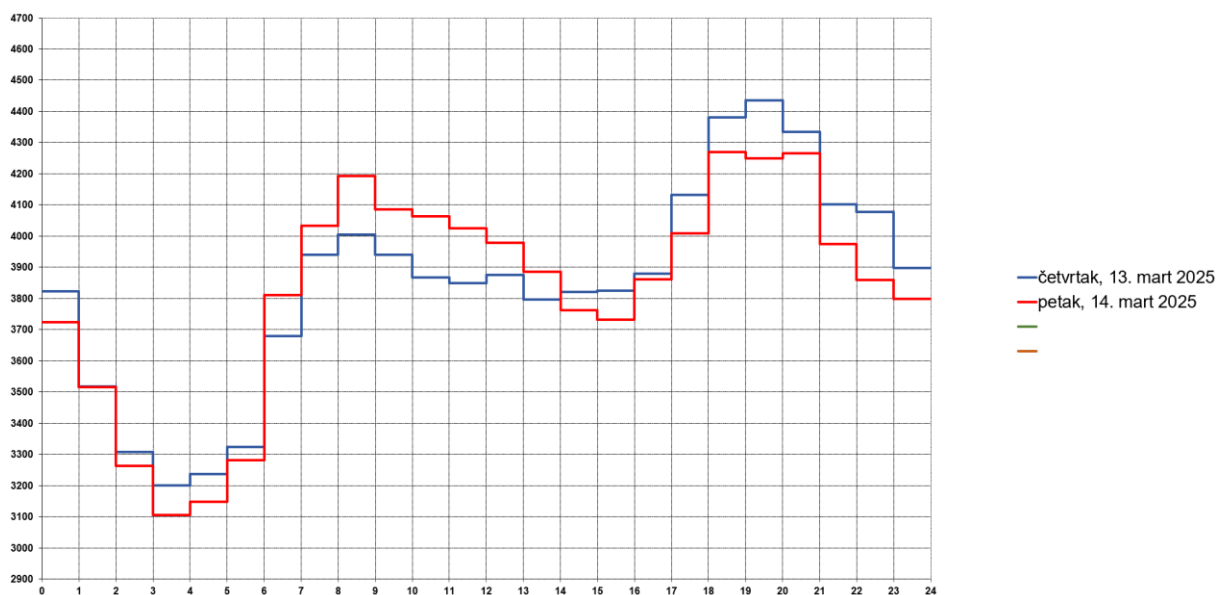
Pored uticaja na konzum, snižena potrošnja električne energije (odnosno snižena potražnja – povećana ponuda) dovodi do promena na tržištu električne energije. U regionu, pa i u celoj Evropi, primetan je drastičan pad cene električne energije na veleprodajnom tržištu u periodu najveće proizvodnje solarnih elektrana. Ovaj trend se preslikava i na Srbiju, što dovodi do temeljitih promena u načinu upravljanja portofolijom EPS AD, odnosno njegovoj optimizaciji.

2 IDENTIFIKACIJA UTICAJA SOLARNIH ELEKTRANA NA REZIDUALNI KONZUM EPS AD

Rezidualni konzum se kao pojam definiše kao ukupna potrošnja svih potrošača na nekoj teritoriji (u ovom slučaju na prostoru Republike Srbije), umanjen za proizvodnju električne energije na distributivnom nivou. Drugim rečima, to je konzum koji se može “videti” iz pozicije prenosnog sistema. Za operatora prenosnog sistema, proizvodnja na distributivnom nivou nije vidljiva, pa se sva ova proizvodnja prezentuje kao umanjenje potrošnje električne energije. Kako prikupljanje podataka o proizvodnji svih ovih elektrana u realnom vremenu nije bilo planirano (iako bi tehnički bilo moguće), tako ni distinkcija između stvarnog i rezidualnog konzuma nije jasno vidljiva (nije moguće jasno definisati koliki je uticaj distribuirane proizvodnje).

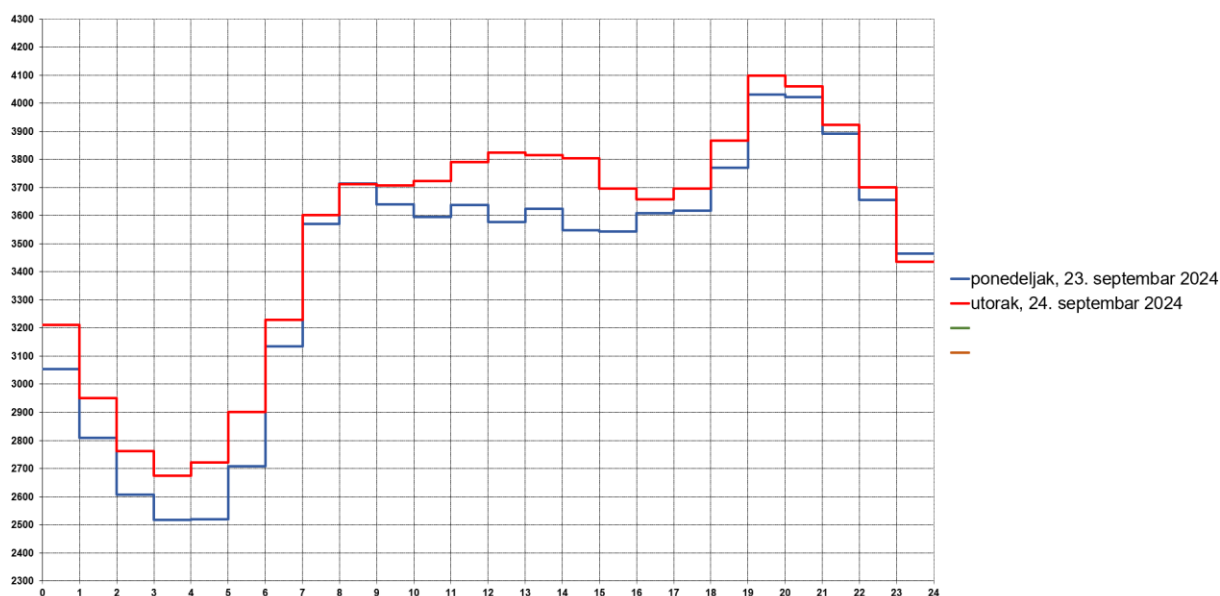
Može se reći da uticaj distribuiranih solarnih elektrana ima dva efekta na potrošnju električne energije. S jedne strane distribuirana proizvodnja solarnih elektrana dovodi do toga da se smanjuje potrošnja jer deo energije neophodan domaćinstvu i objektu se nadomešćuje iz sopstvene proizvodnje, a s druge strane deo koji se ne iskoristi na lokalnom nivou se predaje mreži i dodatno povećava proizvodnju električne energije u sistemu. Taj efekat se slikovito

prikazuje kroz posmatranje dva uzastopna radna dana koji za sličnu temperaturu (što bi za efekat imalo približno jednak konzum) imaju različite dijagrame potrošnje, što prikazuje Slika 5. Primećuje se specifičan propad potrošnje u vidnom delu dana (delu dana sa velikom iradijacijom) što je logična posledica proizvodnje električne energije solarnih elektrana.



Slika 5 - Poređenje konzuma između dva slična uzastopna dana, primer 1

Na grafiku se mogu videti ostvareni konzumi za dva karakteristična dana sa skoro identičnim temperaturama (13.6°C minimalna, 22.4°C maksimalna i 17.7°C srednja dnevna temperatura, naspram 13.8°C minimalna, 23.7°C maksimalna, 17.9°C srednja dnevna temperatura), uz značajnu razliku u broju sunčanih sati (7.8 naspram 3.2 sata). Razlika između potrošnje tokom ova dva dana u periodu od 6h do 14h iznosila je i do 200MW satno. Jedan deo te razlike potiče od stvarnog povećanja konzuma zbog dodatne potrošnje električne energije za osvetljenje, dok je ostatak posledica manje proizvodnje iz distribuiranih solarnih elektrana. Pored toga, prvog dana je popodne došlo do razvoja oblačnosti i kratkotrajne kiše u popodnevnom časovima (od 14h do 16h), što je rezultiralo povećanjem konzuma u odnosu na naredni dan u tom periodu kada kiše nije bilo.



Slika 6 – Poređenje konzuma između dva slična uzastopna dana, primer 2

Na drugom primeru vide se ostvareni konzumi tokom dva uzastopna dana, 23. i 24. septembra 2024. godine. Prvog dana, srednja dnevna temperatura iznosila je 20.3°C, dok je maksimalna bila 28.7°C. Drugog od dva dana srednja dnevna temperatura bila je 20.9°C dok je maksimalna bila 27.2°C. Broj sunčanih sati drugog dana opao je sa 10.3 na 6.1, što je uzrokovalo značajno manju proizvodnju električne energije iz solarnih elektrana, što se može videti kao razlika u konzumu između dva predstavljena dana, kao što prikazuje Slika 6. Sa grafika se može jasno videti da je razlika u konzumu u pojedinim satima iznosila i do 250 MW, što ukazuje na instalisanu snagu solarnih elektrana.

Kao što je već navedeno, Elektrodistribucija Srbije vodi registar kupaca – proizvođača koji se redovno ažurira, te u njemu trenutno figuriše 1262 pravna lica, 3280 fizičkih lica (domaćinstava), kao i 4 stambene zajednice, ukupne instalisane snage oko 90MW. Tabela 1 prikazuje rast instalisanih kapaciteta u kategoriji kupaca – proizvođača po godinama.

Godina	Domaćinstva (kW)	Ostali (kW)	Ukupno (kW)
2022	5,032	4,159	9,191
2023	15,662	24,076	39,738
2024	25,059	61,357	86,416
2025	26,863	65,343	92,206

Tabela 1 - Instalisani kapacitet kupaca - proizvođača⁷

Imajući u vidu da su statusi kupac – proizvođač dodeljivani počevši od 1.4.2022. godine, vidan je značajan porast u broju aplikacija u 2023. i 2024. godini. Ukoliko se trend iz prvih 3 meseca 2025. godine nastavi, za očekivati je da broj novopriključenih kupaca – proizvođača i u ovoj godini bude sličan onom iz prethodnih godina. Tabela 2 sadrži podatke o broju kupaca – proizvođača po vrsti (fizička/pravna lica).

⁷ Napomena: podaci su ažurni zaključno sa 29.03.2025. godine

Broj kupaca proizvođača	Domaćinstva	Ostali (preduzeća)
2022	602	87
2023	1,925	657
2024	3,074	1,189
2025	3,280	1,262

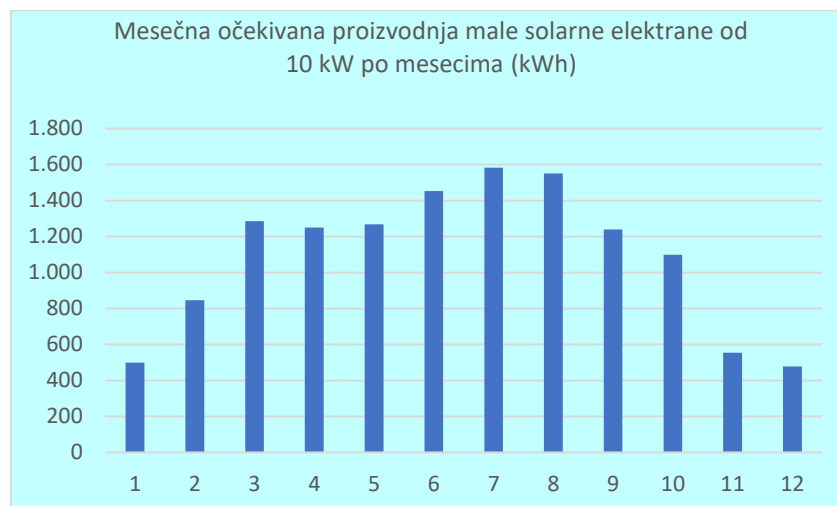
Tabela 2 - Broj kupaca - proizvođača po godinama

Važno je napomenuti da pored povlašćenih proizvođača i kategorije kupac – proizvođač postoje i dodatne solarne elektrane koje ne pripadaju pomenutim grupama. Imajući u vidu uticaj osunčanosti na konzum sa 2 predstavljena primera, može se zaključiti da je instalisana snaga preostalih solarnih elektrana na distributivnom nivou između 100MW i 150MW, što odgovara pretpostavci iz poglavlja 1.

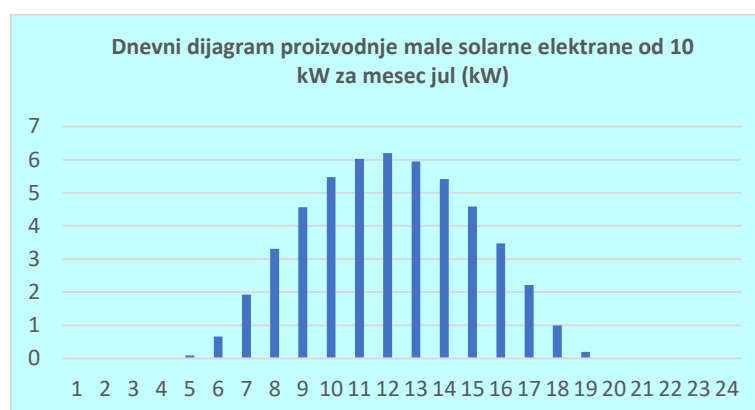
Nemogućnost da se precizno odredi proizvodnja distribuiranih elektrana, umnogome komplikuje i otežava planiranje rada portfolia EPS AD. Naime, osnova planiranja svih bitnih aspekata jednog elektroenergetskog portfolija, kako dugoročnog (izgradnja novih kapaciteta, planovi remonata, planovi trgovine...), tako i kratkoročnog (satni dijagram trgovine, satno angažovanje proizvodnih kapaciteta...) jeste adekvatno sagledavanje potrošnje kupaca (konzuma). U slučaju kada se drastično uvećava proizvodnja malih solarnih elektrana, nije moguće napraviti distinkciju između trenda rasta (smanjenja) potrošnje i instalacije novih malih solarnih elektrana. Ukoliko se zaključi da postoji trend stagnacije, ili čak pada vršnog opterećenja, to bi moglo uticati na donošenje odluke o odlaganju izgradnje, ili pak potpunom odustanku od izgradnje novog proizvodnog kapaciteta, što može imati dalekosežne posledice. U momentu kada trend izgradnje malih solarnih elektrana dođe do zasićenja, ponovo bi postao primetan rast potrošnje kako u vršnim intervalima tako i na dnevnom/sezonskom nivou. Međutim, potrebno je imati u vidu vreme neophodno za izgradnju novih kapaciteta, te moguće probleme koje bi neadekvatno planiranje izgradnje novih kapaciteta moglo da izazove.

Na isti način, ovo sagledavanje može imati uticaj na sezonsko planiranje raspoloživosti postojećih kapaciteta (kapitalni remont), plan nabavke primarnog goriva (ugalj, prirodni gas). Dakle, osim evidencije o instalisanim kapacitetima, od krucijalnog značaja su i podaci o ukupnoj proizvodnji ovih elektrana (makar i približni), jer bi se tek tada stekao realan pogled na bilans elektroenergetskog portfolia EPS AD.

Primeri iz prakse pokazuju da proizvodnja male solarne elektrane (na teritoriji Republike Srbije) značajno može varirati na dnevnom, ali i sezonskom nivou, pa se najveći deo proizvodnje može očekivati u dugim letnjim danima sa malom količinom padavina i oblačnosti, dok je tokom dana očekivana proizvodnja elektrane najveća oko podneva. Slika 7 i Slika 8 predstavljaju reprezentativni primer za malu solarnu elektranu instalisane snage 10kW na teritoriji Beograda. Ukupna godišnja proizvodnja je na nivou od oko 13MWh, ali umnogome zavisi od orijentacije same elektrane kao i inklinacije koja je zavisna od krova na koji se postavlja elektrana a koja se razlikuje od objekta do objekta. Prikazani dnevni dijagram proizvodnje predstavlja srednju vrednost za ceo reprezentativni mesec (jul), dok se na nivou dana mogu očekivati značajnija odstupanja.



Slika 7 - Prosečna mesečna proizvodnja SE od 10kW



Slika 8 - Prosečan dijagram proizvodnje SE od 10kW za mesec jul

3 OPTIMIZACIONE METODE ZA MITIGACIJU UTICAJA

Izazovi koje stohastički, neupravljivi izvori energije donose sistemima su odavno poznati: ne može se sa sigurnošću utvrditi kada će i kojoj meri elektrana proizvoditi energiju. Za manje instalisane snage, ovo možda i nije od prevelikog značaja, ali sa povećanjem instalisanog kapaciteta, uticaj koji može imati se uvećava. S jedne strane, postoji benefit od smanjenja potrošnje električne energije, pa se višak može plasirati na slobodnom tržištu, ili u slučaju da za to postoji mogućnost, promenom angažovanja upravljive proizvodnje (najčešće hidroelektrana), dodatno optimizovati elektroenergetski portfolio. Međutim, ukoliko dođe do značajnog odstupanja proizvodnje od plana, a pritom je instalisana snaga kapaciteta velika (uzmimo u obzir na primer vetroelektrane na teritoriji Republike Srbije, sa instalisanim kapacitetom od oko 570MW), funkcionisanje EES može biti ozbiljno ugroženo. Trenutno važeći propisi definišu pomoćne usluge sekundarne i tercijarne rezerve u iznosu od 140MW⁸ i 300MW (135MW u smeru naniže) redom (primarna rezerva se angažuje samo u slučaju odstupanja frekvencije od nominalne vrednosti i nije od interesa za ovu analizu).

Sve napred navedeno pokazuje značaj adekvatnog planiranja proizvodnje svih obnovljivih izvora energije, uključujući i male solarne elektrane. Iako je proizvodnja solarnih elektrana

⁸ Potreban opseg sekundarne rezerve u kontrolnoj oblasti EMS AD smanjen je sa 160MW na 140MW od početka 2025. godine

smještena u vidni deo dana, kada je i potrošnja električne energije svakako veća nego noću, ukupan vrh potrošnje je svakako u toku večernjih sati kada je i proizvodnja SE (solarnih elektrana) jednaka nuli. Značajna proizvodnja solarnih elektrana u satima koji prethode večernjem vrhu potrošnje može dodatno produbiti problem potrebe za brzim povećanjem proizvodnje na konvencionalnim elektranama.

Sa povećanjem instalisane snage varijabilnih izvora energije, dolaze i naprednije i preciznije tehnike prognoze njihove proizvodnje. U poređenju sa pomenutim prognozama za period pre 2020. godine, subjektivni osećaj autora je da je trenutna prognoza proizvodnje vetroelektrana daleko unapređena te da su značajna odstupanja proizvodnje znatno ređa.

Međutim, vlasnici malih solarnih elektrana nemaju obavezu da dostavljaju planove proizvodnje EPS AD, što znači da je neophodno da se razvije nezavisna prognoza koja bi bila korišćena u ovu svrhu. Kako bi to bilo moguće, potrebno je angažovanje više sektora unutar kompanije, ali i izvan nje, poput operatora distributivnog i prenosnog sistema, kao i vlasnika/operatora malih solarnih elektrana. Prikupljanje istorijskih podataka o proizvodnji za što duži period je od ključne važnosti za ovaj proračun, kako bi se mogao formirati jedan (ili više) proizvodnih profila koji bi se mogli primeniti na instalisani kapacitet svih solarnih elektrana. Moguće je takođe obezbediti i korišćenje specijalizovanih softvera za prognoziranje proizvodnje solarnih (i vetro) elektrana za jedan ili nekoliko dana unapred.

Na kraju, moguće je aktivirati i tržišne mehanizme kako bi se eventualna odstupanja korigovala, u vidu prodaje ili kupovine energije na slobodnom tržištu. Na tom polju je situacija značajno bolja nego prethodnih godina jer je aktivno unutardnevno tržište na SEEPEX berzi, pored regionalnih berzi na kojima je EPS AD takođe aktivan. Pored toga, očekuje se i skora implementacija trgovine na kraćem obračunskom intervalu (15 minuta umesto 1 sat) što bi dalo dodatnu mogućnost za precizno balansiranje neupravljive proizvodnje. To bi, naravno, moralo biti praćeno i dodatnim angažmanom trgovačkih kuća prisutnih na srpskom tržištu.

Tokom dana se u periodima najveće insolcije potrošnja smanjuje, i dnevni minimum postaje izraženiji. Razlika između dnevnog vrha i dnevnog minimuma ide i preko 700 MW. Takođe nameće se pitanje kako velike razlike u cenama tokom dana, utiču na unutardnevno poslovanje u EPS AD, kakvi se sve izazovi pojavljuju u optimizaciji upravljanja i kakva se rešenja traže da bi se ovaj trend minimizovao. O trenutnim metodama koje se koriste za ublažavanje uticaja priključenja solarnih elektrana na distributivnom nivou kao i potencijalnim rešenjima koja bi mogla biti implementirana u budućnosti biće reči u okvirima ovog rada.

4 UTICAJ NA TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Pored efekta na konzum, velika proizvodnja iz solarnih elektrana promenila je trend tržišnih cena. Tabela 3, Tabela 4 i Tabela 5 sadrže podatke analize ostvarenih cena na referentnim berzama (SEEPEX, HUPX, CROPEX) u poslednjih nekoliko godina, kada se povećao udeo električne proizvedene iz solarnih elektrana. Analiziran je broj sati sa izuzetno niskim cenama (nižom od 1, 5 i 10€/MWh) u prethodnim godinama. Ovde treba uzeti u obzir da zakonodavni okvir u Republici Srbij ne prepoznaje negativne cene električne energije, što nije slučaj na berzama u regionu gde se neretko dešava da cene u toku dana budu negativne usled sve većeg priključenja solarnih elektrana. Treba napomenuti i da su cene u intraday procesu rada berze često приметно niže od cena u day-ahead procesu, te da analizirani podaci obuhvataju cene zaključno sa 30.03.2025. godine.

Limit cene	1	5	10
2022	2	8	19
2023	41	114	185
2024	81	173	259
2025	13	26	37
ukupno	137	321	500

Tabela 3 - Broj sati na berzi SEEPEX sa cenama nižim od navedenog limita

Limit cene	1	5	10
2022	10	18	34
2023	164	246	344
2024	394	480	567
2025	12	24	35
Ukupno	580	768	980

Tabela 4 - Broj sati na berzi HUPLEX sa cenama nižim od navedenog limita

Limit cene	1	5	10
2022	15	34	60
2023	169	268	392
2024	322	417	519
2025	11	24	35
Ukupno	517	743	1006

Tabela 5 - Broj sati na berzi CROPEX sa cenama nižim od navedenog limita

To dovodi do promene u načinu unutardnevnog poslovanja EPS AD, kako je dijagram cena značajno izmenjen u odnosu na dosadašnje. Ranije je po pravilu nizak noćni konzum praćen i niskim cenama električne energije što je umnogome oblikovalo dijagram trgovanja EPS AD. Međutim, tokom poslednjih nekoliko godina, situacija je izmenjena tako da se vrlo često cene preko dana niže nego cene tokom noći, što direktno utiče na strategiju trgovine ali i upravljanja proizvodnim kapacitetima EPS AD. Istorijski, reverzibilna hidroelektrana (RHE) Bajina Bašta je u pumpnom režimu angažovana prevashodno noću (i u veoma specifičnim režimima i tokom dana). Međutim, njeno angažovanje uglavnom prati, s jedne strane konzum u Republici Srbiji, i s druge strane, cenu električne energije na berzama u regionu. Zbog toga, sve je češće angažovanje RHE Bajina Bašta u režimima koji ne odgovaraju uobičajenim, već se dešava da se u pumpnom režimu angažuje u periodima sa najvećom insolacijom, dok tokom noći nije angažovana.

S druge strane, porast instalisanih kapaciteta obnovljivih izvora energije (koji prikazuje Tabela 1) koincidira sa smanjenjem prosečnih cena električne energije. Tabela 6 prikazuje prosečne cene električne energije na berzama SEEPEX, HUPX i CROPEX od 2022. godine. Pored Srbije, instalisani kapaciteti solarnih elektrana u regionu (Mađarskoj⁹, Hrvatskoj¹⁰, Sloveniji¹¹) su prikazali drastičan skok u istom intervalu. 2022. godina je bila pogođena veoma visokim

⁹ ceenergynews.com

¹⁰ balkangreenenergynews.com

¹¹ www.pvknowhow.com

cenama prirodnog gasa zbog konflikta u Ukrajini, niskih rezervi gasa u skladištima u EU, kao i zbog izuzetno visokih konzuma zbog niskih temperatura¹².

Average	SEEPEx	HUPX	CROPEX
2022	273.65	271.66	272.42
2023	103.46	106.82	103.72
2024	101.76	100.81	94.69
2025	132.46	136.74	131.00

Tabela 6 - Prosečne godišnje cene električne energije na berzama u regionu

Dodatno, u prethodnom periodu došlo je do smanjenja traženog opsega sekundarne rezerve sa 160MW na 140MW. Naime, Pravila o radu prenosnog sistema¹³ predviđaju računanje neophodnog opsega sekundarne rezerve putem empirijske formule (Jednačina 1):

$$R = \sqrt{10 * L_{max} + 150^2} - 150$$

Jednačina 1 - Formula za određivanje potrebnog opsega sekundarne rezerve

Opseg sekundarne rezerve od 160MW odgovara maksimalnom opterećenju od oko 7,400MW, dok je vršno opterećenje u kontrolnoj oblasti EMS AD ispod 6,000MW¹⁴. Međutim, ovo je protivrečno povećanju udela obnovljivih izvora energije u proizvodnom miksu Republike Srbije. Kako bi najbolje valorizovao sopstveni proizvodni portfolio, EPS nema podsticaj da obezbedi veći opseg sekundarne rezerve (jer za isto ne bi bio plaćen), već preostali kapacitet teži da iskoristi kroz prodaju energije na slobodnom tržištu. U slučaju značajnog odstupanja proizvodnje distribuiranih elektrana od plana, a usled smanjenja opsega sekundarne rezerve, moguće je da će kontrolna oblast EMS AD biti neizbalansirana, što dovodi do dodatnih troškova za kupovinu energije od susednih operatora prenosnog sistema. Mišljenje je autora da bi trebalo povećati izdvajanja za pomoćne usluge, te povećati opseg sekundarne rezerve tako da uzima u obzir instalisani kapacitet neupravljivih izvora energije (prvenstveno solarnih i vetroelektrana).

Fokus u prethodnim poglavljima bio je na malim solarnim elektranama, ali značajan udeo u ukupnom proizvodnom miksu imaju i veće elektrane, koje ne mogu biti u sistemu podsticaja, ili imati status kupca – proizvođača. I ove elektrane moraju rešiti pitanje balansne odgovornosti koje je ranije po pravilu preuzimao EPS AD. Zakonom o energetici, u Srbiji su prepoznati „agregatori“ elektrana koji, između ostalog, mogu formirati virtuelnu elektranu, objediniti balansnu odgovornost za sve članove virtuelne elektrane, zajednički nastupiti na tržištu električne energije i sami bivaju balansno odgovorni. Ovo je relativno nov pojam na domaćem tržištu koji zahteva napredne tehnike prognoze kako svako odstupanje od planirane proizvodnje nosi značajne troškove. Prednost virtuelnih elektrana je što je verovatnoća da se greška na više elektrana superponira ograničena, pa je preciznost prognoze potrošnje na većem broju elektrana uglavnom veća u poređenju sa preciznosti prognoze proizvodnje samo jedne elektrane.

U drugim regionima u kojima solarne elektrane čine dominantan udeo u proizvodnom miksu, dodavanje novih elektrana nije tako jednostavno jer stvara probleme u radu prenosnog sistema.

¹²https://www.ecb.europa.eu/press/economic-bulletin/focus/2022/html/ecb.ebbox202204_01~68ef3c3dc6.en.html
13

[https://www.aers.rs/media/Files/AktiAERS/AERSDajeSaglasnost/Pravila%20o%20radu%20prenosnog%20sistema%20EE%20\(GEN_NAZIV\).pdf](https://www.aers.rs/media/Files/AktiAERS/AERSDajeSaglasnost/Pravila%20o%20radu%20prenosnog%20sistema%20EE%20(GEN_NAZIV).pdf)

¹⁴ <https://ems.rs/tehnicki-izvestaji/>

U Južnoj Australiji rezidualni konzum u periodima nižih opterećenja može biti negativan¹⁵. Da bi dobili saglasnost za povezivanje na mrežu solarnih elektrana na krovu objekta, investitori moraju obezbediti uređaje koji dozvoljavaju operatoru prenosnog ili distributivnog sistema ograničavanje proizvodnje elektrane u periodu kada je penetracija solarne energije u sistemu najveća. Takođe, subvenciju mogu dobiti samo oni koji izgrade solarnu elektranu čija je orijentacija takva da se maksimalna proizvodnja obezbeđuje u ranim jutarnjim ili kasnim popodnevним satima (istočna ili južna orijentacija), što za posledicu ima manju ukupnu proizvodnju električne energije.

5 PREDLOŽENE MERE – SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Energija sunca kao besplatna odavno je u fokusu da preuzme primat u proizvodnji električne energije. Međutim, poznata ograničenja usled nepredvidivosti i neophodnosti da se sva proizvedena energija potroši u istom trenutku, dovela je do potrebe skladištenja takve besplatne energije. EPS AD u svojim proizvodnim kapacitetima ima reverzibilnu hidroelektranu RHE Bajina Bašta sa kapacitetom od 194,3GWh, kao i PAP Lisina sa oko 9.3GWh kapaciteta (rad isključivo u pumpnom režimu, voda se prebacuje u akumulaciju Vlasinskih HE). U toku je razvoj RHE Bistrica koja će povećati fleksibilnost u upravljanju u EPS AD. U daljem tekstu će biti pomenuti i moderniji načini skladištenja energije koje bi doprineli boljoj optimizaciji.

Proizvodni portfolio EPS AD se može smatrati za izuzetno fleksibilan u poređenju sa pojedinim evropskim elektroprivredama, imajući u vidu veliki udeo hidroelektrana u ukupnom proizvodnom miksu. Međutim, ostatak kapaciteta je izrazito nefleksibilan, budući da je mogućnost promene opterećenja na termoelektranama na ugaj vrlo ograničena. Termoelektrane – toplane na prirodni gas su u nešto boljem položaju, ali je njihov broj radnih sati znatno manji. U periodima velikih voda, kada protočne elektrane rade u prelivnim režimima (proizvodnja jednaka instalisanom kapacitetu), akumulacione hidroelektrane rade sa manjim kapacitetom kako ne bi povećavale preliv na nizvodnim elektranama (osim „neutralnih“ Vlasinskih HE i HE Pirot), mogućnost brze regulacije proizvodnje je limitirana.

Značajnu ulogu na tržištima pomoćnih usluga u prethodnim godinama preuzimaju baterijski sistemi za skladištenje energije (Battery Energy Storage System – BESS), koji se odlikuju izuzetnom fleksibilnošću. Baterije imaju mogućnost da postignu svoju maksimalnu snagu (koja može biti više stotina MW) za svega nekoliko sekundi iz stanja mirovanja. U oblastima koja imaju razvijena tržišta pomoćnih usluga (Velika Britanija¹⁶, Australija¹⁷, Sjedinjene Američke Države¹⁸), baterijski sistemi su izuzetno rasprostranjeni i preuzimaju većinu ovih usluga na sebe, dok se konvencionalni generatori oslobađaju za slobodnu optimizaciju proizvodnje električne energije. Kao jedna od najbrže rastućih grana energetike, baterije su doživele veliki broj unapređenja, počevši od produženog životnog veka (najčešće 20 godina proizvođačke garancije), preko više efikasnosti (oko 85% „round-trip“ efikasnost), do poboljšane bezbednosti. Takođe, degradacija kapaciteta baterija je smanjena (iako je i dalje primetna), pa je očekivana degradacija tokom životnog veka sistema oko 1% godišnje. Pored toga, tehnološka unapređenja su omogućila baterijama da pružaju sistemu „veštačku“ inerciju implementacijom „grid – forming“ tehnologije invertora, što omogućava reagovanje na promene frekvencije slično sinhronim generatorima. Zahvaljujući tome, sistemi u potpunosti bez obrtnih mašina

¹⁵ <https://www.sapowernetworks.com.au/data/313655/sa-network-sets-a-new-mark-for-negative-demand/>

¹⁶ <https://www.energy-storage.news/uk-reaches-6gw-8gwh-of-operational-bess-nearly-20gwh-under-construction/>

¹⁷ <https://www.energycouncil.com.au/analysis/battery-storage-australia-s-current-climate/>

¹⁸ <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=61202>

postaju mogući, pa će baterijski sistemi zauzimati veoma važnu poziciju u elektroenergetskim sistemima u budućnosti. Modularna priroda BESS znači da se sama postrojenja mogu graditi u izuzetno širokom spektru instalisanih snaga, što za uzvrat znači da se mogu graditi u različitim sredinama. Mogu se ko-locirati sa obnovljivim izvorima energije ili sa centrima potrošnje, što bi za rezultat moglo imati smanjenje gubitaka u prenosnoj i distributivnoj mreži.

Dodatnu mogućnost za skladištenje energije predstavlja vodonik, koji ima značajno širi spektar primena u odnosu na baterije. Osnovna premisa je izgradnja postrojenja za elektrolizu gde bi se od jeftine električne energije iz obnovljivih izvora energije proizvodio vodonik, koji se može skladištiti i čuvati na dužem horizontu. Dalja upotreba može biti u gorivim ćelijama gde se vodonik pretvara nazad u električnu energiju. Mana ovog procesa je drastično niža „round-trip“ efikasnost (ukupna efikasnost procesa pretvaranja električne energije u vodonik, i zatim pretvaranja vodonika u električnu energiju) u poređenju sa baterijskim sistemima (oko 50% za vodonik naspram 85% za baterije¹⁹) kao i činjenica da tokom produženog skladištenja vodonika, dolazi do gubitaka usled curenja. Ostale primene su upotreba vodonika u industriji u kojoj vodonik već igra značajnu ulogu, kao i upumpavanje vodonika u gasovodnu mrežu, čime bi se smanjila zavisnost od uvoza prirodnog gasa.

Na teritoriji Srbije, pored pomenutih RHE Bajina Bašta, PAP Lisina i RHE Bistrica, postoji i ideja o izgradnji RHE Đerdap (Đerdap 3), sa izuzetno visokom instalisanom snagom, sa relativno niskim energetske kapacitetom. RHE se karakterišu sa relativno visokim efikasnostima, uporedivim sa efikasnošću baterija.

Sa stanovišta regulative, Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije predviđa obavezu investitora da obezbedi kapacitet za balansiranje proizvodnje neupravljive elektrane u iznosu od najmanje 20% instalisanog kapaciteta po snazi, kapaciteta za skladištenje energije od 40% moguće satne proizvodnje (na primer, za elektranu od 100MW, potrebno je obezbediti kapacitet za balansiranje obnovljivih izvora snage najmanje 20MW, sa kapacitetom od 40MWh). Na taj način, otvoren je put za izgradnju većeg broja baterijskih postrojenja kao najjeftinijih i najjednostavnijih za implementaciju od svih gorenavedenih opcija.

6 ZAKLJUČAK

Analiza uticaja distribuiranih solarnih elektrana na unutardnevno upravljanje elektroenergetskim portfeljem EPS AD pokazala je da sve veći broj instalacija malih solarnih sistema ima značajan efekat na potrošnju električne energije, posebno u periodima visokog sunčevog zračenja. Ovaj uticaj se manifestuje kroz smanjenje potrošnje iz distributivne mreže, što može otežati prognozu potrošnje i planiranje rada elektroenergetskog sistema.

Iako je trenutni doprinos distribuiranih solarnih elektrana ukupnom proizvodnom miksu Srbije relativno mali, njihov uticaj na dnevne profile potrošnje je vidljiv, posebno u periodima maksimalne proizvodnje tokom sunčanih dana. Ovi efekti su primetni kroz promene na tržištu električne energije, uključujući pojavu sati sa izuzetno niskim ili čak negativnim cenama električne energije u regionu, kao i kroz potrebu za prilagođavanjem upravljanja elektroenergetskim portfeljem EPS AD u skladu sa novim tržišnim uslovima.

U radu su predstavljeni različiti mehanizmi za optimizaciju upravljanja, uključujući unapređenje prognoza proizvodnje iz solarnih sistema, prilagođavanje strategija trgovine i upotrebu tržišnih mehanizama. Poseban naglasak stavljen je na potencijal integracije

¹⁹ <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2015/ee/c4ee04041d>

skladištenja energije kroz baterijske sisteme (BESS) i reverzibilne hidroelektrane, kao ključne tehnologije za povećanje fleksibilnosti i stabilnosti sistema. Predložene mere uključuju i povećanje opsega sekundarne rezerve, kao i implementaciju skladišnih kapaciteta za balansiranje neupravljivih izvora energije. Takođe, preporučuje se dalji razvoj regulatornog okvira koji će omogućiti optimalno integrisanje novih izvora energije u elektroenergetski sistem.

Ovi zaključci naglašavaju značaj adaptacije tržišta i strategija upravljanja u skladu sa trendom ubrzane implementacije solarnih elektrana, ali i potencijal za dalji razvoj novih tehnologija koje mogu doprineti unapređenju upravljanja elektroenergetskim portfeljem EPS AD.

7 LITERATURA

- [1] Zakon o energetici, Sl. Glasnik RS, 2024
- [2] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije, Sl. Glasnik RS, 2024
- [3] Pravila o radu tržišta električne energije, EMS AD, 2024
- [4] Strategies for Provision of Secondary Reserve Capacity to Balance Short-Term Fluctuations of Variable Renewable Energy, Radu, KTH School of Industrial Engineering and Management, 2017
- [5] Energy Storage System Consolidated Performance Test Results, Department of Energy USA, Crawford et al., 2020