

Optimalna ponuda agregatora umreženih baterijskih spremnika i obnovljivih izvora na energetskom i tržištu pomoćnih usluga

Jukić, Ilija

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:527381>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-08**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Sveučilišni studij

**OPTIMALNA PONUDA AGREGATORA UMREŽENIH
BATERIJSKIH SPREMNIKA I OBNOVLJIVIH IZVORA
NA ENERGETSKOM I TRŽIŠTU POMOĆNIH USLUGA**

Diplomski rad

Ilija Jukić

Osijek, 2022. godina

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak rada	1
2. PREGLED PODRUČJA TEME.....	2
3. TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE	3
3.1. Agregator	5
3.2. Pomoćne usluge	7
4. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE	11
4.1. Fotonaponski sustav.....	11
5. BATERIJSKI SPREMNICI ENERGIJE	15
5.1. Litij-ionski baterijski spremnici	16
6. MATEMATIČKI MODEL SUSTAVA UMREŽENIH BATERIJSKIH SPREMNIKA I OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U TRŽIŠNIM UVJETIMA.....	18
7. PRIMJER NASTUPA AGREGATORA UMREŽENIH BATERIJSKIH SPREMNIKA I OBNOVLJIVIH IZVORA NA ENERGETSKOM TRŽIŠTU I TRŽIŠTU POMOĆNIH USLUGA	20
7.1. Rezultati simulacije za 02.03.2022 god. (radni dan)	22
7.2. Rezultati simulacije za 06.03.2022. god. (neradni dan)	25
7.3. Rezultati simulacije za 09.03.2022. god. (radni dan)	28
7.4. Rezultati simulacije za 13.03.2022. god. (neradni dan)	31
7.5. Rezultati simulacije za 16.03.2022. god. (radni dan)	34
7.6. Rezultati simulacije za 20.03.2022. god. (neradni dan)	37
7.7. Rezultati simulacije za 23.03.2022. god. (radni dan)	40
7.8. Rezultati simulacije za 27.03.2022. god. (neradni dan)	43
8. ZAKLJUČAK.....	46
9. SAŽETAK.....	47
10. ABSTRACT	47

11. LITERATURA	48
12. ŽIVOTOPIS.....	50

1. UVOD

Razvojem zemalja i tehnologije dolazi do sve veće uporabe i potrebe za većom količinom električne energije, a to može utjecati na povećanje zagađenja okoliša. Zbog toga je Europska Unija postavila određene ciljeve pomoću kojih bi se do 2030. god. smanjio udio stakleničkih plinova na barem 55% uspoređujući sa 1990. godinom. Osim toga teži se ka povećanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u Europi na 32%, ali i poboljšanje energetske efikasnosti na 32,5%. Europska unija ima u planu do 2050. stvoriti klimatski neutralnu Europu. Zbog toga dolazi do povećanja izgradnje energetski učinkovitih objekata. Samim time što se mijenja udio obnovljivih izvora dolazi i do pojave aktivnih kupaca (kupci s vlastitom proizvodnjom) koji u sklopu s agregatorima mogu stvarati konkurentnost na tržištu i utjecati i na promjenu cijena električne energije. Dodatno se razmatra i širenje tržišta na način da se uzima u obzir mogućnost pružanja pomoćnih usluga te na taj način povećati konkurentnost i smanjiti uvoz energije sa tržišta koja su izvan Republike Hrvatske. Integracijom obnovljivih izvora povećava se i udio instaliranih spremnika električne energije, koji dodatno pomažu u održavanju stabilnosti i fleksibilnosti mreže.

U drugom poglavlju dan je pregled sadržaja literature korištene za istraživanje tržišta, njegovih sudionika, obnovljivih izvora te baterijskih spremnika. U trećem poglavlju prikazan je teorijski pregled tržišta, agregatora i pomoćnih usluga sustava. U četvrtom poglavlju opisan je utjecaj obnovljivih izvora te opis fotonaponskih sustava. U petom poglavlju dan je pregled različitih tipova baterijskih spremnika. U šestom poglavlju predstavljen je matematički model te su u sedmom poglavlju izraženi rezultati dobiveni modelom. U osmom poglavlju su komentirane dobiti i troškovi te prednosti nastupa na energetskom tržištu i tržištu pomoćnih usluga ostvareni modelom.

1.1. Zadatak rada

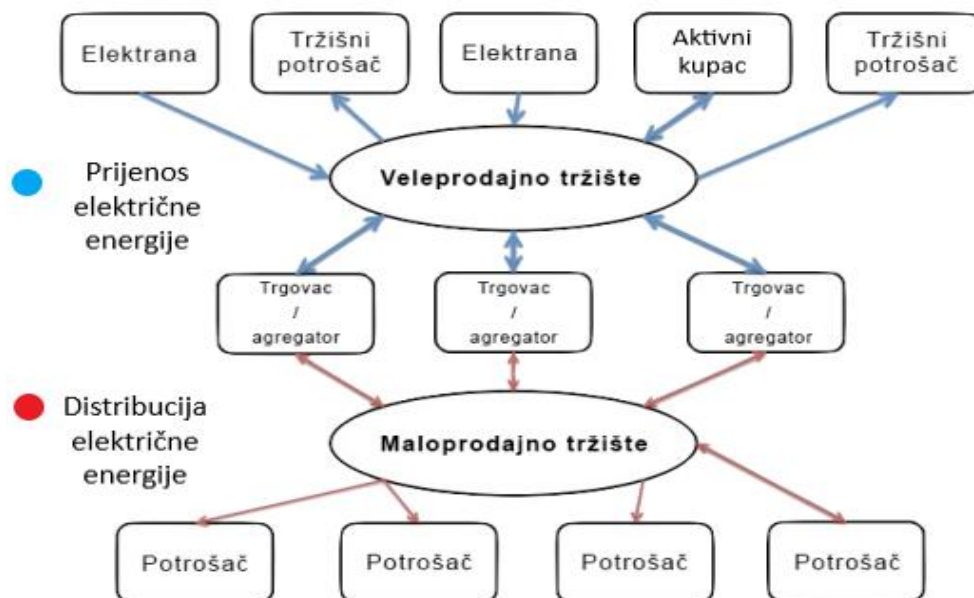
U diplomskom radu potrebno je dati pregled mogućnosti zadavanja ponuda na tržištu električne energije za sustav kojeg čine umreženi stacionarni spremnici energije i obnovljivi izvori, objasniti pojam agregatora, dati pregled tehničkih karakteristika baterije i obnovljivih izvora električne energije. Nadalje, potrebno je izraditi optimizacijski model sustava baterijskog spremnika energije i obnovljivih izvora s ciljem maksimizacije zarade na tržištu električne energije i tržištu pomoćnih usluga.

2. PREGLED PODRUČJA TEME

U [1 – 5] opisano je tržište električne energije, njegove osnovne značajke, definicije, pojmovi koji detaljnije objašnjavaju tržište. Objašnjena su i tržišta koja postoje u Republici Hrvatskoj, sudionici na tržištu te njihovi zadaci (obaveze) i prava. Prema [5] dodatno je pojašnjena burza u Republici Hrvatskoj, pravila pri sudjelovanju na tržištu i dan unaprijed i unutardnevno tržište. U [6] objašnjen je pojam agregatora te su predloženi modeli agregatora na tržištu električne energije u RH, njihov utjecaj na trenutno tržište, narušavanje tržišnih odnosa te poticaj za sudjelovanje agregatora na tržištu. Prema [5] i [7] objašnjene su pomoćne usluge elektroenergetskog sustava, tko ih organizira, koje su to usluge, način nastupanja tržištu pomoćnih usluga te potrebne zahtjeve koji se moraju ispuniti kako bi mogli pružati pomoćne usluge. U [3], [8-11], [19] objašnjeni su utjecaji i potreba za povećanjem udjela obnovljivih izvora zbog smanjenja emisija stakleničkih plinova, utjecaja na zdravlje i okoliš, te zapošljavanje. Osim toga ukazano je i na potencijal obnovljivih izvora u ruralnim područjima i područjima u razvoju. U [9-11] dodatno je pojašnjeno korištenje Solarne energije, te tipovi panela koji se mogu koristiti za pretvorbu Sunčeve energije u električnu (ili toplinsku), te neki od načina povezivanja solarnih panela na mrežu i prednosti i nedostatke istih. U [11 – 15] [18] opisani su baterijski spremnici energije, njihove osnovne značajke, utjecaji na mrežu i fleksibilnost sustava. Osim toga dan je i pregled osnovnih tipova sekundarnih baterijskih spremnika, njihove prednosti i nedostaci, te razloge za korištenje pojedinih za spremnike električne energije u solarnim sustavima. U [15] dane su tehničke karakteristike jedne LiFePO₄ baterije, te je na osnovu tih tehničkih karakteristika modeliran baterijski spremnik u fotonaponskom sustavu.

3. TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE

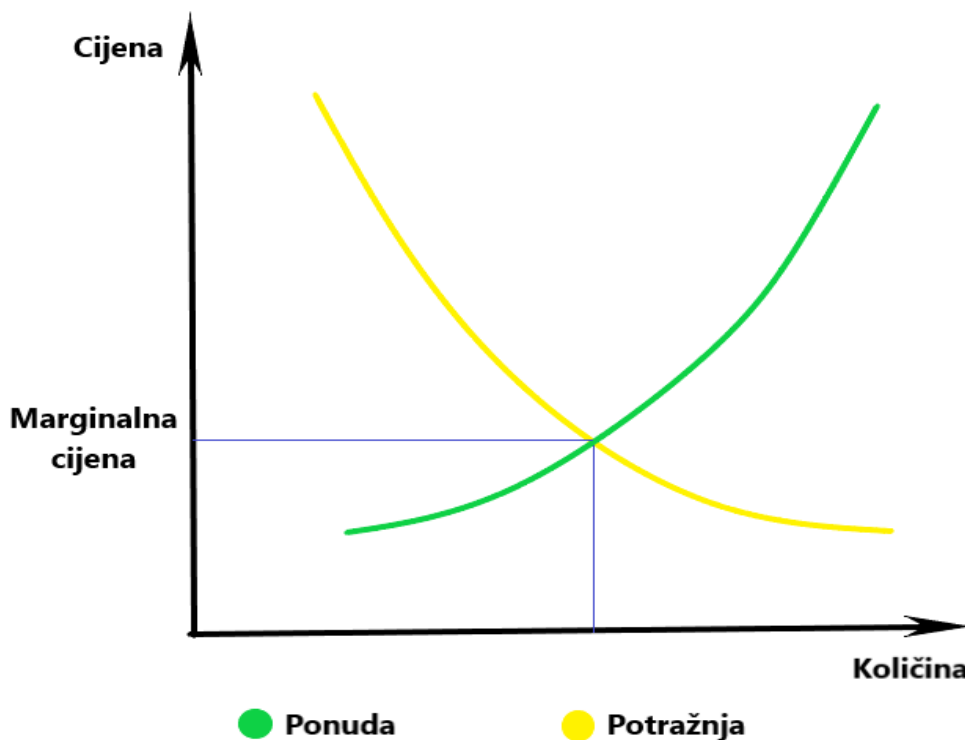
Grupe koje nude proizvode (prodavači) i grupe koja traže određene proizvode (kupci) zajedno čine tržište. Prema [1] „Tržište se definira kao stalan i organiziran oblik dovođenja u kontakt ponude i potražnje roba i usluga. Tržište je istodobno mehanizam kojim se reguliraju odnosi prodavača i kupaca u uvjetima u kojima sudionici razmjene ili kupoprodaje ostvaruju svoje ciljeve i interese zbog kojih i stupaju u međusobne aranžmane.“ Pojedinač često ne stvara značajnu konkurentnost proizvoda na tržištu zbog količine proizvoda koje nudi. Zbog toga se stvaranjem veće grupe proizvođača iste usluge ili proizvoda stvara konkurentnost na tržištu zbog koje može doći do promjene cijene proizvoda (usluge). Uz trgovinu uvijek postoji određeni rizik kojega kupac ili prodavač mora biti svjestan. Prema [2] „Energetska tržišta su robna tržišta koja je posebno bave trgovinom i opskrbom energije. Energetsko tržište može se odnositi na tržište električne energije, kao i na druge izvore.“ Otvaranjem maloprodajnog tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj, te pojavom konkurencije na tržištu nastaje mogućnost slobodnog odabira opskrbljivača kupcima. Na taj način dolazi do pojave konkurentnih cijena na tržištu električne energije, te poboljšanja kvalitete usluge za kupce. Na slici 3.1, prema [3] prikazana je pojednostavljena shema tržišta električne energije.



Slika 3.1. Pojednostavljena shema tržišta električne energije [3]

U Republici Hrvatskoj postoje dva tržišta električne energije, te je u samom početku razvoja izabran bilateralni model tržišta gdje se trgovina električnom energijom provodi putem bilateralnih

ugovora sklopljenih između sudionika na tržištu električne energije, te je taj model naknadno proširen uvođenjem bilančnih grupa. Prema [2] „Bilančna grupa je jedan ili više sudionika na tržištu za koju se prijavljuje tržišna pozicija, određuje ostvarenje i za čije je odstupanje odgovoran voditelj bilančne grupe.“ Drugo tržište je organizirano tržište električne energije kojeg provodi Hrvatska burza električne energije d.o.o. (CROPEX). Prema [4] „Hrvatska burza električne energije d.o.o. osnovana je u cilju osiguranja središnjeg mjesta za organiziranu, sigurnu, anonimnu i razvidnu trgovinu električnom energijom između tržišnih sudionika, članova burze.“ Trgovanje putem CROPEX-a vrši se na dan unaprijed i unutar dnevnog tržištu. Na dan unaprijed tržištu pretpostavlja se (predviđa) potrebna količine električne energije i cijene koja će biti na tržištu električne energije, te se na taj način može procijeniti kako davati ponude na tržištu električne energije. Izračun tržišne cijene vrši se na osnovu pravila jedinstvene cijene i na taj način se pomoću krivulja ponude i potražnje električne energije za svaki sat, određuje cijena energije kojom trguju svi članovi burze čije su ponude prihvaćene. Na slici 3.2 prikazan je način određivanja marginalne cijene.



Slika 3.2. Određivanje marginalne cijene zakonom ponude i potražnje

Prema [4] „Unutardnevno tržište je tržište za kontinuirano trgovanje proizvodima tijekom sati trgovanja u kojima se transakcije automatski uparuju kada se podudarni nalozi unesu na Unutardnevnu platformu za trgovanje.“ Trgovanje započinje u 15:00 dan prije isporuke, a transakcije mogu biti ostvarene do 30 minuta prije isporuke, te se može trgovati sa satnim i blok proizvodima koje sudionici burze mogu definirati.

Članovi burze su svi oni sudionici koji imaju dopuštenje za obavljanje trgovinske djelatnosti na području Republike Hrvatske. Sudionici na tržištu električne energije u Hrvatskoj su:

- Proizvođač – sudionik koji proizvodi električnu energiju
- Opskrbljivač – sudionik koji vrši opskrbu električnom energijom (prodaju električne energije kupcima)
- Trgovac – sudionik koji vrši kupoprodaju energije
- Krajnji kupac – opskrbljuje se električnom energijom preko opskrbljivača s kojim ugovara cijenu električne energije

Prema [5] „Proizvođač, opskrbljivač i trgovac moraju imati dozvole za obavljanje energetske djelatnosti koje u Republici Hrvatskoj izdaje Hrvatska Energetska Regulatorna Agencija (HERA) te potpisan ugovor o sudjelovanju na tržištu električne energije koji su sklopljeni između energetske subjekata i Hrvatskog operatora tržišta energije d.o.o.“

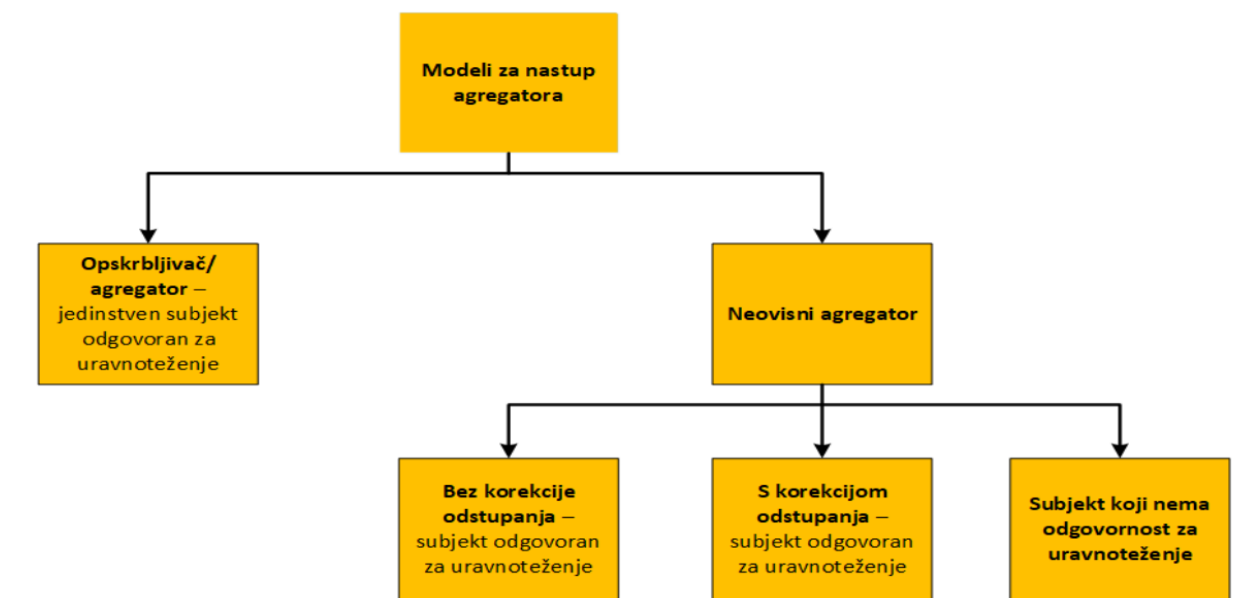
3.1. Agregator

Kupci su često pasivni sudionici tržišta električne energije, dok se u novije vrijeme potiče kupce da se aktiviraju na tržištu električne energije (postaju aktivni sudionici) te da vrše i proizvodnju električne energije, te na taj način nastaje pojam aktivni kupac. Prema [2] „Aktivni kupac je krajnji kupac ili skupina krajnjih kupaca koji djeluju zajedno, koji troši ili skladišti električnu energiju proizvedenu u vlastitom prostoru smještenom unutar definiranih granica ili koji prodaje električnu energiju koju sam proizvodi ili sudjeluje u pružanju fleksibilnosti ili u programima energetske učinkovitosti, uz uvjet da te djelatnosti nisu njegova primarna trgovačka ili profesionalna djelatnost.“ Zbog toga dolazi do pojave pojma distribuiranih pružatelja usluga fleksibilnosti (dPUF) uz pomoć kojih se povećava fleksibilnost sustava kroz distribucijsku mrežu. Glavni problem dPUF-ova je mali kapacitet proizvodnje i mogućnosti trgovanja u odnosu na sudionike na veleprodajnom tržištu, te zbog toga nastaje mogućnost zajedničkog nastupa na tržištu više dPUF-ova preko agregatora.

Prema [2] „Agregator je sudionik na tržištu koji se bavi agregiranjem. Agregiranje je djelatnost koju obavlja fizička ili pravna osoba koja može kombiniranjem snage i/ili iz mreže preuzete električne energije više kupaca ili operatora skladišta električne energije ili snage i/ili u mrežu predane električne energije više proizvođača ili aktivnih kupaca ili operatora skladišta energije radi sudjelovanja na bilo kojem tržištu električne energije.“ Agregiranje više kupaca ima nekoliko prednosti:

- 1) Male potrošače ništa ne potiče da plaćaju energiju po promjenljivoj cijeni, njihov zahtjev za energijom nije previše elastičan, oni žele koristiti električnu energiju neovisno o vremenskom razdoblju dana (manje tvrtke neće pomjeriti vrijeme proizvodnje i rada prema cijeni na tržištu). U slučajevima kada nemaju sreće moglo bi doći do plaćanja velikih iznosa za energiju zbog njihovih debalansa.
- 2) Planiranje potrošnje pojedinog kupca je jako teško, ali agregiranjem više njih je to mnogo lakše učiniti, jer je uzorak potrošnje mnogo stabilniji i mnogi debalansi energije se međusobno ponište.
- 3) Broj sudionika na tržištu se mijenja (konkurentnost).

Na slici 3.3 prikazani je podjela modela za sudjelovanje agregatora na tržištu električne energije u Republici Hrvatskoj.



Slika 3.3. Podjela modela za sudjelovanje agregatora na tržištu električne energije [6]

Predložena su 4 modela agregatora na tržištu a to su prema [6]:

- „Opskrbljivač/agregator – prednost ovog modela je najmanje narušavanje trenutnih odnosa na tržištu te minimalne potrebne promjene u zakonodavstvu i regulativi, ali je nedostatak što države s malim brojem opskrbljivača neće osjetiti povećanje broja sudionika na tržištu (ne raste konkurentnost tržišta).“
- „Neovisni agregator koji ima odgovornost za uravnoteženje, bez korekcije odstupanja – ovaj model nije održiv jer agregator predaje svu svoju zaradu od pružanja usluga fleksibilnosti operatoru prijenosnog sustava kako bi kompenzirao neravnotežu, te zbog toga agregator nema razloga za sudjelovanje na ovakvome tržištu.“
- „Neovisni agregator koji ima odgovornost za uravnoteženje, s korekcijom odstupanja – prednost ovakvog modela je postojanje financijskog poticaja za sudjelovanje na tržištu i time povećanje broja tržišnih sudionika (povećanje konkurentnosti na tržištu), ali nastaju poteškoće prilikom određivanja cijene kompenzacije agregatora prema opskrbljivaču.“
- „Neovisni agregator koji nema odgovornost za uravnoteženje – ovaj model bi narušio postojeći koncept odgovornosti za uravnoteženje gdje svaki subjekt koji uzrokuje neravnotežu mora snositi troškove za istu, ali je na malom tržištu moguće razmatrati i ovaj model za sudjelovanje agregatora.“

Prema [2] „Agregator može sudjelovati na svim tržištima električne energije u skladu s pravilima koja uređuju pojedina tržišta električne energije.“

3.2. Pomoćne usluge

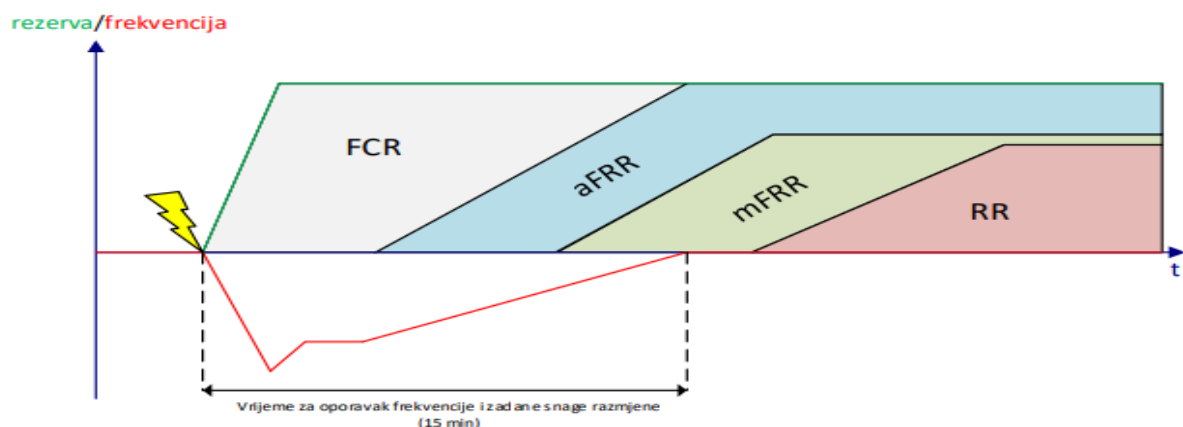
Operator prijenosnog sustava (OPS) vrši vođenje elektroenergetskog sustava (EES), osigurava dostupnost i kvalitetu električne energije krajnjim korisnicima te pouzdanost rada sustava. Za pouzdan rad sustava koriste se dodatne usluge koje se nazivaju pomoćnim uslugama. Prema [2] „Pomoćna usluga je usluga potrebna za rad prijenosnog ili distribucijskog sustava, uključujući usluge uravnoteženja i nefrekvencijske pomoćne usluge, koja ne uključuje upravljanje zagušenjem. Nefrekvencijska pomoćna usluga je usluga kojom se koristi operator prijenosnog sustava ili operator distribucijskog sustava u svrhu regulacije napona u stacionarnom stanju, injektiranja brzodjelujuće jalove struje, tromosti za osiguranje stabilnosti lokalne mreže, struje kratkog spoja, sposobnosti crnog starta te sposobnosti otočnog pogona.“ Pomoćne usluge su usluge kojima se vrši vođenje elektroenergetskog sustava, održavanje frekvencije i napona te ponovna uspostava napajanja. Reguliraju se ugovorom između OPS-a i korisnika mreže koji pruža pomoćnu uslugu. Uvjet za djelotvorno tržište pomoćnim uslugama sustava je konkurentnost na tržištu, jer

ako nema većeg broja konkurentnih pružatelja pomoćnih usluga može doći do uporabe položaja pojedinih sudionika, te visokih cijena za izvršavanje pomoćne usluge.

Prema [5] „OPS može osigurati energiju za uravnoteženje sustava na različite načine:

- Aktivacijom odnosno kupoprodajom energije od pružatelja usluge uravnoteženja kroz ugovorenu rezervu snage
- Aktivacijom odnosno kupoprodajom energije od pružatelja usluge uravnoteženja na temelju dobrovoljnih ponuda za energiju uravnoteženja
- Kupoprodajom od drugih operatora prijenosnog sustava
- Kupoprodajom električne energije na tržišnim načelima od tržišnih sudionika na tržištu električne energije koji s operatorom prijenosnog sustava imaju potpisan Ugovor o kupoprodaji električne energije za uravnoteženje sustava i na burzi električne energije.“

Usluge uravnoteženja služe za održavanje frekvencije sustava te radi održavanja pogonske sigurnosti, a osiguravaju se i aktiviraju zasebno za negativni i pozitivni smjer aktivacije. U uslugama uravnoteženja sustava mogu sudjelovati svi korisnici mreže i agregatori koji s OPS-om imaju sklopljen ugovor o pružanju usluga uravnoteženja, a da bi ugovor bio sklopljen prvo moraju dokazati da su za te usluge tehnički osposobljeni (utvrđuje se pretkvalifikacijskim postupkom). Tehnička osposobljenost se provjerava i pokreće zahtjevom za priznavanje tehničke sposobnosti za pojedinu pomoćnu uslugu, a zatim se vrši provjera komunikacijskog sustava te testiranje tehničke sposobnosti za pružanje pojedine usluge. Ispunjenjem svih zadanih uvjeta stječe se potvrda o tehničkoj sposobnosti pružanja pomoćne usluge. Na slici 3.4. prikazan je vremenski tijek aktivacije pojedinih pomoćnih usluga.



Slika 3.4. Vremenski tijek aktivacije pojedine pomoćne usluge [7]

- FCR – rezerva kojom se vrši održavanje frekvencije (primarna regulacija frekvencije)
- aFRR – rezerva kojom se vrši ponovna uspostava frekvencije aktivirana automatskim regulatorom (sekundarna regulacija frekvencije i snage razmjene)
- mFRR – rezerva kojom se vrši ponovna uspostava frekvencije ručnom aktivacijom po nalogu operatora sustava (tercijarna regulacija frekvencije i snage razmjene)
- RR – zamjenska rezerva

FCR uslugu pružaju svi generatori na prijenosnoj mreži te se ona ne naplaćuje, a RR usluga je dobrovoljna te se u hrvatskom EES-u ne primjenjuje. U tablici 3.1. prikazane su temeljne karakteristike navedenih pomoćnih usluga.

Tablica 3.1. Temeljne karakteristike pojedine pomoćne usluge [7]

Usluga	Dostupnost	Vrijeme odziva	Maks. trajanje aktivacije	Vrijeme između aktivacija	Maks. broj aktivacija	Min. snaga	OPS/ODS korisnici
FCR	100%	100% snage unutar 30 sekundi	Konst.	-	-	1 MW	OPS
aFRR	100% vremena ponude	100% snage unutar 5 minuta	Konst.	-	-	1 MW	OPS i ODS
mFRR	100% vremena ponude	100% snage unutar 15 minuta	Definirano u ugovoru o pružanju pomoćnih usluga	Definirano u ugovoru o pružanju pomoćnih usluga	Definirano u ugovoru o pružanju pomoćnih usluga	1 MW	OPS i ODS

Nabava mFRR rezerve potrebne za pouzdanost rada sustava se vrši javnim nadmetanjem. Pružatelji usluga uravnoteženja definiraju se kao ponuditelji koji podnose ponude OPS-u, a ponude se odnose na osiguravanje mFRR rezerve snage, kupnje energije uravnoteženja iz ugovorene

mFRR rezerve snage, kupnje energije uravnoteženja iz dobrovoljnih ponuda za mFRR rezervu snage. U tablici 3.2. prikazani su parametri proizvoda za uravnoteženje.

Tablica 3.2. Parametri proizvoda za uravnoteženje [5]

mFRR rezerva snage za sigurnost	
Minimalni iznos ponude	3 MW
Zahtijevano vrijeme za aktivaciju	≤ 15 minuta
Minimalno trajanje aktivacije	30 min
Maksimalno trajanje aktivacije	2 sata
Vrijeme između dvije aktivacije	8 sati
Smjer rezerve	+
Limit cijene za mFRR rezervu snage:	XX,XX HRK/MW
Limit cijene za energiju uravnoteženja:	XX,XX HRK/MWh

U dogovoru sa ponuditeljem pomoćne usluge moguće je pri potrebi za dodatnom pomoćnom uslugom izvršavati dulje trajanje aktivacije od 2 [h] te učestaliju aktivaciju u odnosu na vrijeme trajanja između dvije aktivacije prema tablici 3.2. U tablici 3.3. prikazan je obrazac ponude za energiju uravnoteženja.

Tablica 3.3. Obrazac ponude za energiju uravnoteženja [5]

Ponuda za energiju uravnoteženja u razdoblju od DD.MM.GGGG do DD.MM.GGGG						
{ naziv pružatelja }						
{ vrijeme podnošenja ponude DD.MM.GGGG hh:mm }						
Pon	Uto	Sri	Čet	Pet	Sub	Ned
Energija uravnoteženja [MWh/h]						
X	X	X	X	X	X	X
Jedinična cijena energije uravnoteženja [HRK/MWh]						
X	X	X	X	X	X	X
Djeljivost ponude						
DA (s koracima po 1 MW)/ NE						

Vrijeme otvaranja nadmetanja za energiju uravnoteženja započinje u 15:00 [h] predzadnjeg radnog dana u tjednu prije tjedna u kojemu se isporučuje energija, a nadmetanje se zatvara u 13:00 [h] zadnjeg radnog dana prije dana isporuke i te se ponude dostavljaju elektroničkom poštom.

4. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Razvijenost neke države može se prikazati u ovisnosti o energetskej potrošnji i na taj način većom razvijenosti države dolazi do povećanja potrošnje električne energije što ima značajan utjecaj na povećanje emisije stakleničkih plinova iz konvencionalnih izvora. Zbog toga značajan utjecaj imaju obnovljivi izvori energije (energija vode, biomase, geotermalnih izvora, energija vjetra i Sunca). Proizvodnjom električne energije iz obnovljivih izvora dolazi do povećanja opskrbe električnom energijom i zaštite okoliše, te zadovoljstva javnosti zbog proizvodnje energije na ekološki prihvatljiv način.

Neke od prednosti proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora su povećanje energetske neovisnosti države (manji uvoz električne energije), povećanje broja mogućih radnih mjesta, kraće razdoblje potrebno za stavljanje u pogon u odnosu na konvencionalne izvore, dostupnost električne energije u ruralnim područjima i mjestima u razvoju, ali postoje i određeni nedostaci kao što su ovisnost proizvodnje električne energije postrojenja o vremenskim uvjetima te u slučaju kada se ne proizvede potrebna količina električne energije moraju se koristiti konvencionalni izvori.

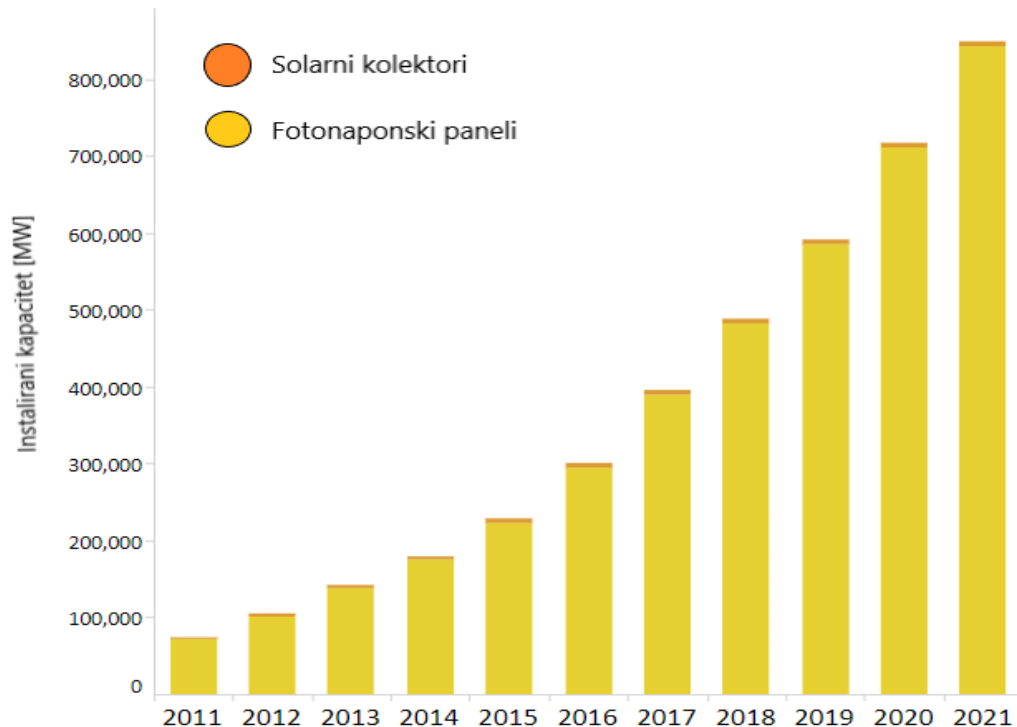
Prema [3] „Povećanjem udjela proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora došlo je do povećanja nestabilnosti elektroenergetskog sustava, te nepredvidivih promjena cijena električne energije na tržištu.“ Zbog utjecaja vremenskih uvjeta predviđanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora je dosta kompliciranije nego za konvencionalne izvore što utječe na stabilnost elektroenergetskog sustava. Prema [8] „Jedan od ključnih ciljeva je povećanje udjela proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora minimalno na 32% do 2030. godine te je predloženo da se za cilj poveća udio i na 45%. Na taj način će doći do smanjenja udjela stakleničkih plinova te boljih klimatskih prilika i čistijeg okoliša.“

4.1. Fotonaponski sustav

Energija Sunca se može koristiti na dva osnovna načina: solarnim kolektorima gdje se Sunčeva energija koristi za grijanje tekućine (pogon većih generatora i toplinskih pogona) i fotonaponskim ćelijama gdje se vrši direktna pretvorba Sunčeve energije u električnu energiju.

Fotonaponski sustavi su jedni od brže rastućih tehnologija iskorištenja obnovljivih izvora energije i imaju važnu ulogu u elektroenergetskim sustavima na svijetu. Fotonaponski sustavi se mogu koristiti kako bi se proizvela električna energija na komercijalnoj razini ili u manjim sustavima za osobnu upotrebu.

Kroz prošlo desetljeće su troškovi proizvodnje fotonaponskih panela u značajnom padu te je zbog toga došlo do trenda porasta instalacije fotonaponskih panela. Na slici 4.1. prikazan je trend porasta instaliranog kapaciteta solarnih kolektora i fotonaponskih sustava.

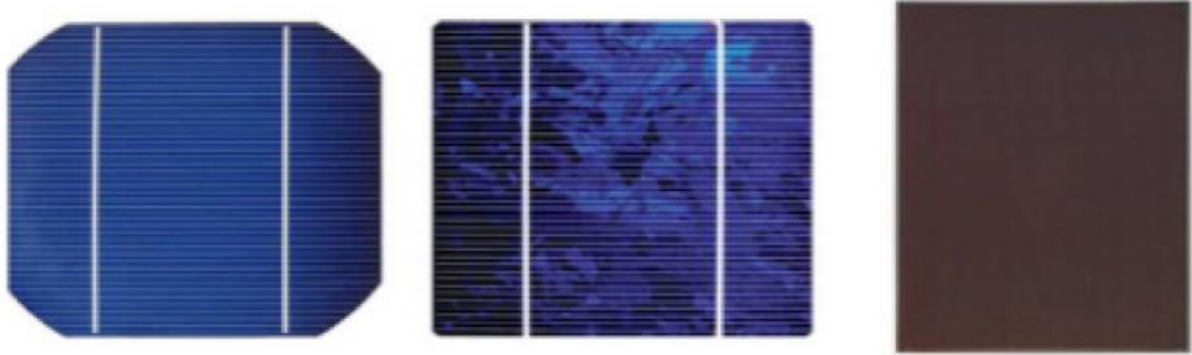


Slika 4.1. Trend rasta instaliranog kapaciteta solarnih kolektora i fotonaponskih panela [9]

U današnje vrijeme postoje različite tehnologije proizvodnje solarnih panela te tako i razne vrste i sastav solarnih ćelija, a to su:

- Monokristalne fotonaponske ćelije
- Polikristalne fotonaponske ćelije
- Tankoslojne fotonaponske ćelije (aSi – amorfni silicij, CdTe –kadmij telurij)

Na slici 4.2. prikazan je izgled različitih fotonaponskih ćelija.



Slika 4.2. Fotonaponske ćelije (s lijeva na desno monokristalna, polikristalna i tankoslojna ćelija)

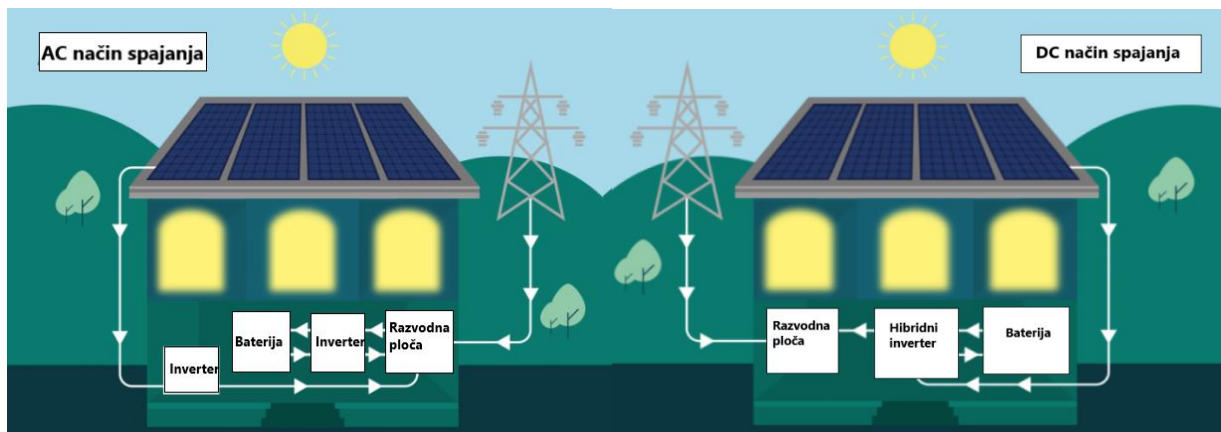
[10]

Monokristalni fotonaponski paneli su danas među najpopularnijima za upotrebu, imaju visok stupanj iskorištenja (oko 20 %), zauzimaju manje prostora i imaju dulji vijek trajanja u odnosu na ostale tipove panela. Osim toga manji je utjecaj visokih temperatura u odnosu na polikristalne panele te su estetski privlačniji, ali su zbog toga i najskuplji od svih.

Polikristalni fotonaponski paneli su također jako popularni, ali im je stupanj iskorištenja nešto manji u odnosu na monokristalne panele (oko 15 %), ali su u odnosu na njih jeftiniji. Manje su prostorno efikasni te imaju kraći vijek trajanja zbog značajnijeg utjecaja visokih temperatura na njih.

Tankoslojni fotonaponski paneli su najlakši za proizvesti, potrebno je manje materijala za njihovu proizvodnju te su zbog toga značajno jeftiniji u odnosu na prethodna dva tipa. Fleksibilni su, male težine i estetski privlačni, ali im je učinkovitost niska (7 do 10 %) i imaju kratak vijek trajanja. Ukoliko je dostupan velik prostor za postavljanje mogu biti jako dobra opcija za ugradnju.

Osim solarnih panela unutar fotonaponskih sustava potrebno je obratiti pažnju na inverter, baterijski spremnik koji se koristi (ako je instaliran u sustavu) i način spajanja sustava na mrežu (izmjenično – AC ili istosmjerno – DC spojen sustav). Na slici 4.3 prikazan je način AC i DC spajanja fotonaponskog sustava na mrežu.



Slika 4.3. AC i DC način spajanja fotonaponskog sustava [11]

AC načinom spajanja dolazi do potrebe dva različita invertera što povećava cijenu sustava, smanjenja učinkovitosti prijenosa energije za 1 do 3 %, ali je veća fleksibilnost postavljanja sustava (baterija i inverter ne moraju biti postavljeni u blizini), kvarovi na bateriji ne utječu na fotonaponski sustav i obrnuto. DC načinom spajanja je učinkovitiji prijenos energije, jeftinija instalacija, ali pri kvaru na inverteru baterija može postati beskorisna, baterija mora biti postavljena u blizini invertera.

5. BATERIJSKI SPREMNICI ENERGIJE

Razvojem tehnologije, sve većom primjenom obnovljivih izvora energije (posebice energije vjetra i sunca) te razvojem električnih vozila nastaje potreba za većom uporabom baterijskih spremnika energije. Baterijski spremnici energije imaju značajnu ulogu pri korištenju obnovljivih izvora energije. Moguće ih je koristiti kako bi se smanjila nepredvidivost proizvodnje električne energije iz vjetroelektrana i fotonaponskih elektrana te prodaju energije u razdoblju većih cijena na tržištu. Baterijski spremnici električne energije vrše pretvorbu kemijske energije u električnu, te se vrši osnovna podjela baterijskih spremnika na:

- Primarne baterijske spremnike – ne mogu se jednostavno ponovno napuniti te se nakon pražnjenja izbacuju iz uporabe
- Sekundarne baterijske spremnike – mogu izvršiti određeni broj ciklusa punjenja i pražnjenja te su zbog toga popularnije na tržištu

Prema [12] „Osnovne veličine koje opisuju spremnike električne energije su:

- Nazivna snaga – najviša izlazna snaga sustava za pohranu energije
- Gustoća energije – količina energije koja se može pohraniti u kilogramu ili kubnom metru spremnika, bitna je za dimenzioniranje prostora za smještaj spremnika
- Vrijeme pražnjenja – vrijeme potrebno da se skladište energije isprazni
- Vrijeme odziva – vrijeme od trenutka kada sustav dobije nalog za pražnjenje do uspostave nazivne snage pražnjenja
- Samopražnjenje – gubitak pohranjene energije nevezan uz cikluse punjenja i pražnjenja
- Učinkovitost – postotni omjer između električne energije predane sustavu za vrijeme pohrane energije i električne energije predane mreži za vrijeme pražnjenja sustava.“

Osim toga potrebno je razumjeti i pojmove kojima se opisuju određena stanja baterijskih spremnika, a neki od tih su stanje napunjenosti (SoC) te dubina pražnjenja (DoD). Stanje napunjenosti baterije predstavlja procijenjeni iznos kapaciteta koji se nalazi unutar baterijskog spremnika te se izražava u postocima. Govori o odnosu spremljene energije i energije koju je moguće spremi unutar baterijskog spremnika. Dubina pražnjenja govori o postotku pražnjenja baterije u odnosu na njen kapacitet. Proizvođač baterije preporučuje dubinu pražnjenja pri korištenju baterije kako bi njen rad bio optimalan.

Postoje različiti tipovi baterijskih spremnika zbog korištenja različitih materijala za izradu, a neki od njih su natrij-sumpor, nikal-kadmij, nikal-metal hidrid, olovno-kiselinske i litij-ionske baterije.

Olovno-kiselinske baterije su u najraširenijoj upotrebi i koriste se u automobilskoj industriji, ali i kao stacionarni spremnici energije te su popularne zbog niske cijene. Prema [13] „životni vijek ovih baterija je od 6 do 15 godina (1500 ciklusa na 80% dubine pražnjenja)“. Olovno-kiselinske baterije su niskih cijena, jednostavne su za recikliranje i zahtijevaju jednostavnu tehnologiju punjenja. Međutim nedostatak ove tehnologije je mala gustoća energije, korištenje olova (toksično) te smanjenje iskoristivog kapaciteta pri velikoj dubini pražnjenja i prebrzom pražnjenju.

Nikal-kadmij (NiCd) baterije su jako uspješan baterijski proizvod te u odnosu na olovno-kiselinske baterije imaju veću gustoću energije te mogu podnijeti veći broj ciklusa punjenja i pražnjenja. Moguće ih je koristiti na niskim temperaturama (od -20 do -40 °C) bez većeg utjecaja na njihove performanse. Zbog toksičnosti kadmija više nisu dostupne za uporabu te su zbog toga proizvedene nikal-metal hidrid (NiMH) baterije koje imaju sve prednosti NiCd baterija, ali ne i kapacitet baterije (značajno manji u usporedbi sa NiCd i olovno-kiselinskim baterijama). Osim toga NiMH baterije imaju značajno veću gustoću energije u odnosu na prethodna dva tipa baterija.

Natrij-sumpor (NaS) baterije se sadrže tekući sumpor koji se nalazi uz pozitivnu elektrodu i tekućeg natrija uz negativnu elektrodu. Radna temperatura baterije je između 300 i 350 °C pri čemu se koristi energija spremljena u bateriji kako bi se napajao izvor topline koji će održavati bateriju na toj temperaturi, čime se smanjuju performanse same baterije. Prema [13] „Natrij-sumpor baterije mogu podnijeti 4500 ciklusa punjenja i pražnjenja uz vrijeme pražnjenja od 6 do 7,2 sati.“ Imaju jako brzo vrijeme odziva (u području milisekundi) te se zbog toga mogu koristiti za uravnoteženje mreže. Nazivna snaga ovih baterija je u području 1 MW.

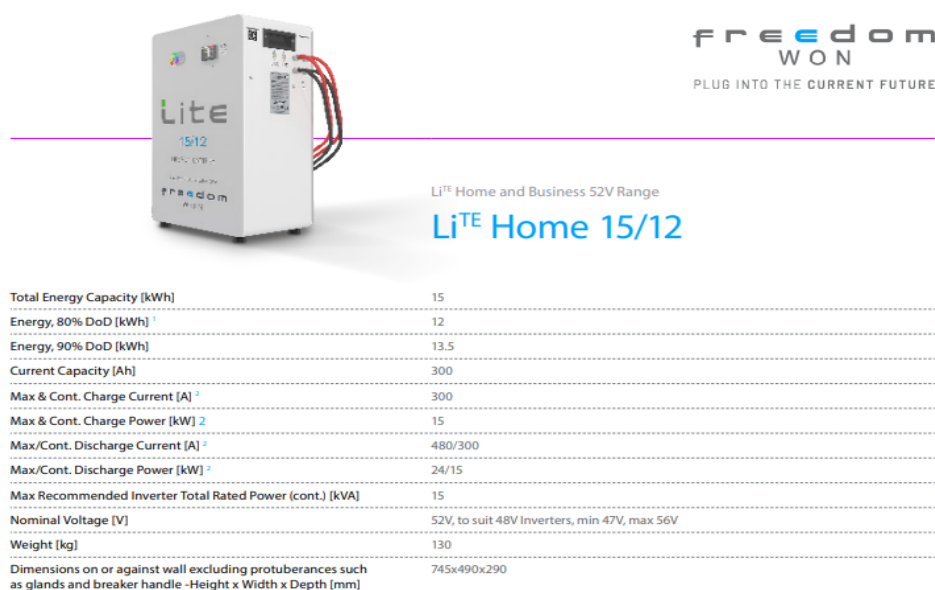
5.1. Litij-ionski baterijski spremnici

Litij-ion tehnologija baterijskih spremnika je postala najznačajnija tehnologija skladištenja energije. Jedna Li-ion ćelija može zamijeniti tri NiCd i NiMH ćelije. Imaju veliku gustoću energije i zbog masovne proizvodnje očekuje se pad cijene Li-ion baterijskih spremnika. Općenito imaju visok stupanj učinkovitosti (95 do 98%) te mogu podnijeti oko 5000 ciklusa punjenja i pražnjenja, a u nekim slučajevima i više (ovisno o materijalima koji se koriste za elektrode, ali i dubini pražnjenja baterija pri korištenju). Sigurnost Li-ion baterijskih spremnika predstavlja problem zbog termalne nestabilnosti pri većim temperaturama te se vrši kontrola kako ne bi došlo do punjenja i pražnjenja baterije izvan dozvoljenih granica. Li-ion baterije se i dalje razvijaju te su glavna tema istraživanja materijali koji se koriste za izradu katode. U tablici 5.1. dan je pregled različitih materijala uporabljenih za izradu katode u Li-ion tehnologiji te primjena tih tehnologija.

Tablica 5.1. Upotreba različitih katoda u Li-ion baterijama [14]

Materijal katode	Područje upotrebe
Nikal-mangan-kobalt oksid (NMC)	Električna vozila, spremnik EE, medicinski uređaji, industrija
Nikal-kobalt-aluminij oksid (NCA)	Električna vozila, medicinski uređaji, industrija
Litij-kobalt oksid (LCO)	Prijenosni uređaji
Litij-mangan oksid (LMO)	Električni alati, medicinski uređaji
Litij-željezo fosfat (LFP)	Električna vozila i autobusi, spremnik EE

Litij-željezni fosfat baterije (LFP ili LiFePO_4) su široko korištene u sustavima električnih vozila zbog termalne i kemijske stabilnosti te su zbog toga sigurnije za upotrebu pri napajanju električnih vozila u odnosu na ostale Li-ion baterije s drugim materijalima katode. One mogu podnijeti temperature do $85\text{ }^\circ\text{C}$ bez da dođe do razgradnje te su ekološki prihvatljive. Specifični volumen LiFePO_4 baterije je 35% manji u odnosu na olovno-kiselinske baterije, uz 1/3 težine olovno-kiselinskih baterija te su zbog toga jednostavnije za transport. Cijena LiFePO_4 baterije je velika, ali zbog velikog broja ciklusa punjenja i pražnjenja, iskoristivog kapaciteta i energetske efikasnosti je jako pogodna za iskorištenje kao spremnik energije u fotonaponskim sustavima. Za potrebe diplomskog rada baterijski spremnik je modeliran prema karakteristikama Freedom Won Li^{TE} Home 15/12 LiFePO_4 baterijskom spremniku prikazanim na slici 5.1.



Slika 5.1. Freedom Won Li^{TE} Home 15/12 [15]

6. MATEMATIČKI MODEL SUSTAVA UMREŽENIH BATERIJSKIH SPREMNIKA I OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U TRŽIŠNIM UVJETIMA

Cilj predloženog modela je maksimizirati profit aktivnih kupaca koji vrše proizvodnju i skladištenje električne energije u vremenskom razdoblju od jednog dana. Optimizacijski problem se može zapisati:

$$\max \sum_{t=1}^{n_t} (Pp(t) * Ck(t) - Pk(t) * Ck(t) + Ppu(t) * Cp(t) - Pku(t) * Cp(t)) \quad (6-1)$$

Gdje su:

- $Pp(t)$ – električna energija prodana na tržištu u periodu t
- $Ck(t)$ – cijena električne energije na tržištu u periodu t
- $Pk(t)$ – električna energija kupljena na tržištu u period t
- $Cp(t)$ – cijena električne energije na tržištu pomoćnih usluga u periodu t
- $Ppu(t)$ – električna energija prodana na tržištu pomoćnih usluga u periodu t
- $Pku(t)$ – električna energija kupljenja na tržištu pomoćnih usluga u periodu t
- n_t - period simulacije

Član $Pp(t) * Ck(t) - Pk(t) * Ck(t)$ predstavlja prihode umanjene za troškove koji se ostvare prodajom, odnosno kupnjom energije na el.en. tržištu, a član $Ppu(t) * Cp(t) - Pku(t) * Cp(t)$ predstavlja prihode umanjene za troškove koji se ostvare prodajom, odnosno kupnjom energije na tržištu pomoćnih usluga.

Jednadžba balansa električne energije je zadana sljedećom relacijom:

$$Ede(t) - Ege(t) + Pch(t) - Pdch(t) + Pp(t) - Pk(t) + Ppu(t) - Pku(t) = 0 \quad (6-2)$$

gdje je:

- $Ede(t)$ – potražnja električne energije kućanstava u periodu t
- $Ege(t)$ – proizvodnja električne energije fotonaponskih elektrana u periodu t
- $Pch(t)$ – energija punjenja baterijskog spremnika u periodu t
- $Pdch(t)$ – energija pražnjenja baterijskog spremnika u periodu t

Ograničenje za stanje napunjenosti (engl. *SOC – State of Charge*) baterijskog spremnika za prvi sat izračunavat će se relacijom (6-3):

$$SoC(t) = SOC_{start} + \eta_{ch} \cdot Pch(t) - \frac{Pdch(t)}{\eta_{dch}} \quad (6-3)$$

Za sve ostale sate (osim prvog) vrijedit će relacija (6-4):

$$SOC(t) = SOC(t - 1) + \eta_{ch} \cdot Pch(t) - \frac{Pdch(t)}{\eta_{dch}} \quad (6-4)$$

gdje je:

- $SOC(t)$ – stanje napunjenosti stacionarnog baterijskog spremnika na kraju perioda t
- SOC_{start} – stanje napunjenosti stacionarnog baterijskog spremnika na početku perioda (t_1)
- $SOC(t-1)$ – stanje napunjenosti stacionarnog baterijskog spremnika za prošli period ($t-1$)
- η_{ch} – koeficijent učinkovitosti punjenja baterijskog spremnika
- η_{dch} – koeficijent učinkovitosti pražnjenja baterijskog spremnika.

Ograničenje maksimalne trenutne snage kupljene na tržištu u periodu t definirano je kao:

$$0 \leq Pk(t) \leq Pk_{max} \quad (6-5)$$

Ograničenje maksimalne trenutne snage prodane na tržište u periodu t definirano je kao:

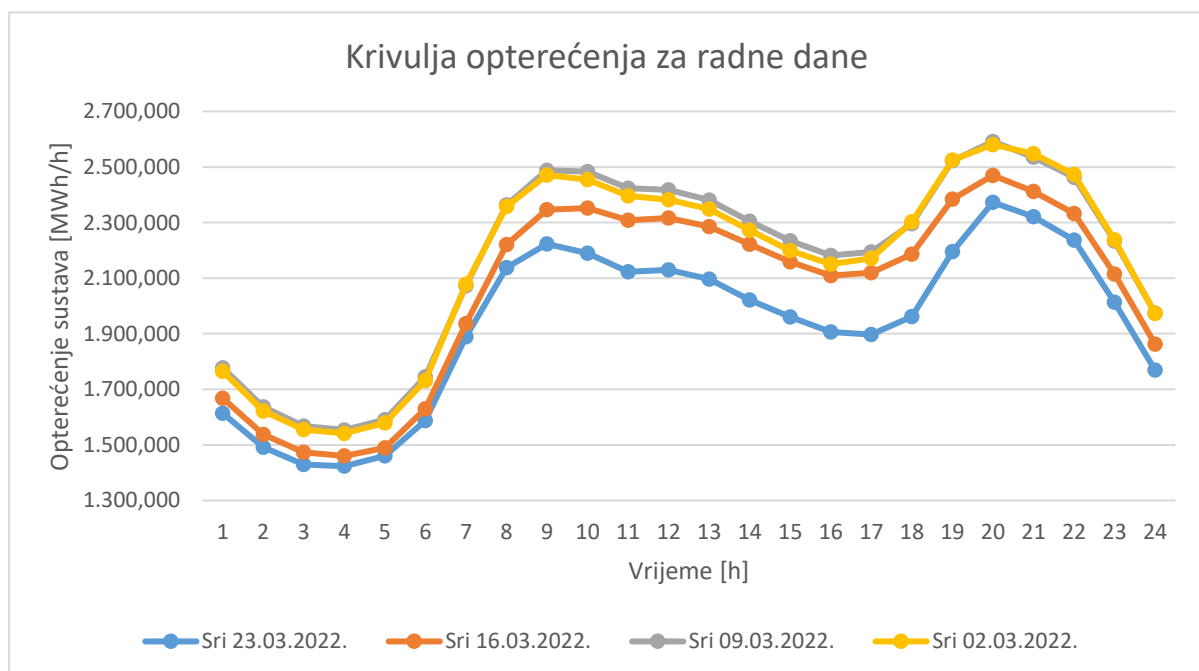
$$0 \leq Pp(t) \leq Pp_{max} \quad (6-6)$$

Ograničenje za stanje napunjenosti baterijskog spremnika definirano je kao:

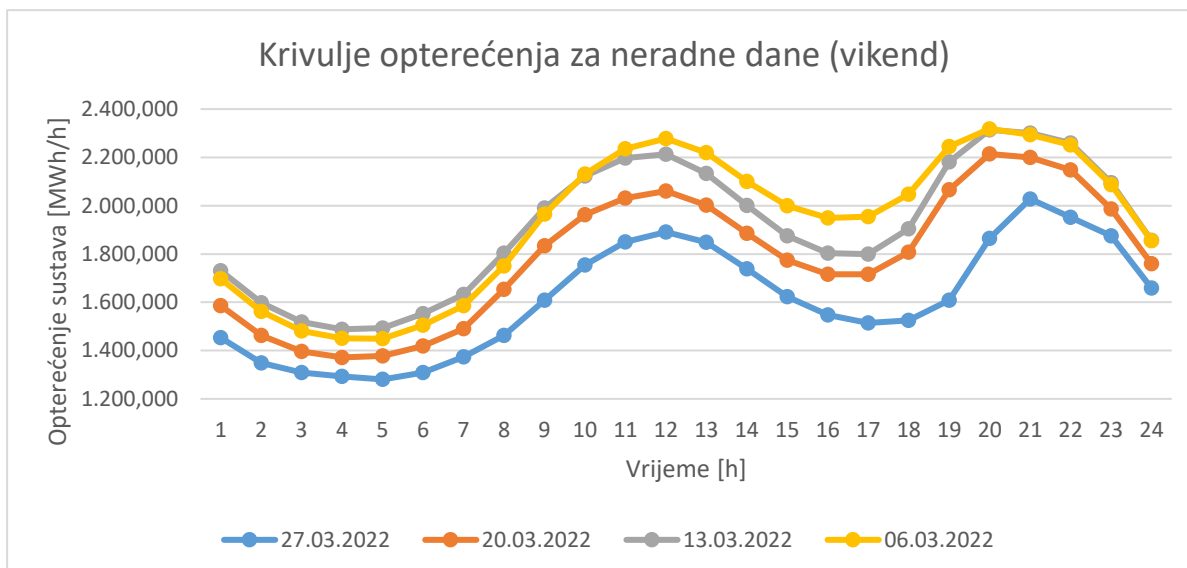
$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max} \quad (6-7)$$

7. PRIMJER NASTUPA AGREGATORA UMREŽENIH BATERIJSKIH SPREMNIKA I OBNOVLJIVIH IZVORA NA ENERGETSKOM TRŽIŠTU I TRŽIŠTU POMOĆNIH USLUGA

Model za optimalno korištenje sustava umreženih baterijskih spremnika i fotonaponskih elektrana napravljen je u programskom jeziku GAMS. Napravljena su dva modela za optimalnu ponudu agregatora baterijskog spremnika na tržištu: model sa mogućnosti trgovanja samo na energetskom tržištu te model sa mogućnošću trgovanja na energetskom i tržištu pomoćnih usluga. Pri simulaciji modela pretpostavljen je agregator koji na tržištu zastupa 1000 kućanstava. Svako kućanstvo ima fotonaponsku elektranu čija instalirana snaga iznosi 4 kW te baterijski spremnik kapaciteta 15 kWh. Za analizu je odabran jedan radni dan (srijeda) i jedan neradni dan (nedjelja) kroz 4 tjedna. Podaci o proizvodnji električne energije fotonaponske elektrane za svaki dan preuzeti su sa sustava PVGIS (eng. *Photovoltaic Geographical Information System*) [16]. Podaci o cijenama električne energije na tržištu te o opterećenju sustava za odabrane dane su preuzeti s ENTSO-E Transparency Platform-e [17] i CROPEX-a [4]. Putem platforme CROPEX preuzete su cijene samo za dan unaprijed tržište električnom energijom za planirane dane analize. Putem ENTSO-E Transparency Platform-e preuzete su cijene ostvarene na tržištu pomoćnih usluga te podaci o opterećenju elektroenergetskog sustava. Dan je pregled krivulja opterećenja elektroenergetskog sustava za radne dane i za neradne dane slikama 7.1 i 7.2.

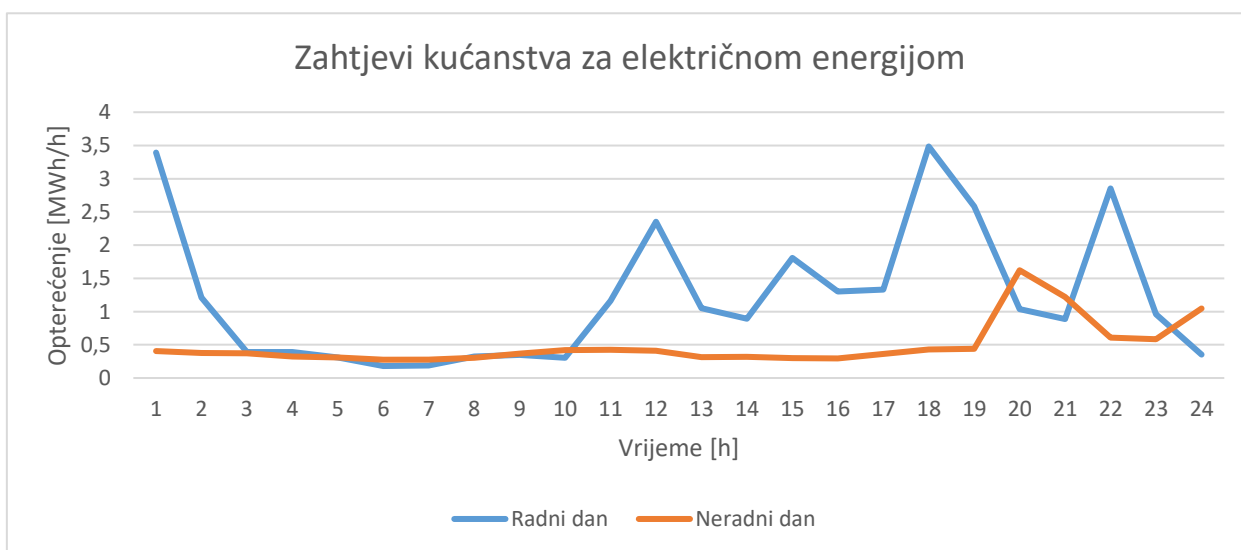


Slika 7.1. Krivulja opterećenja EES-a kroz radne dane [17]



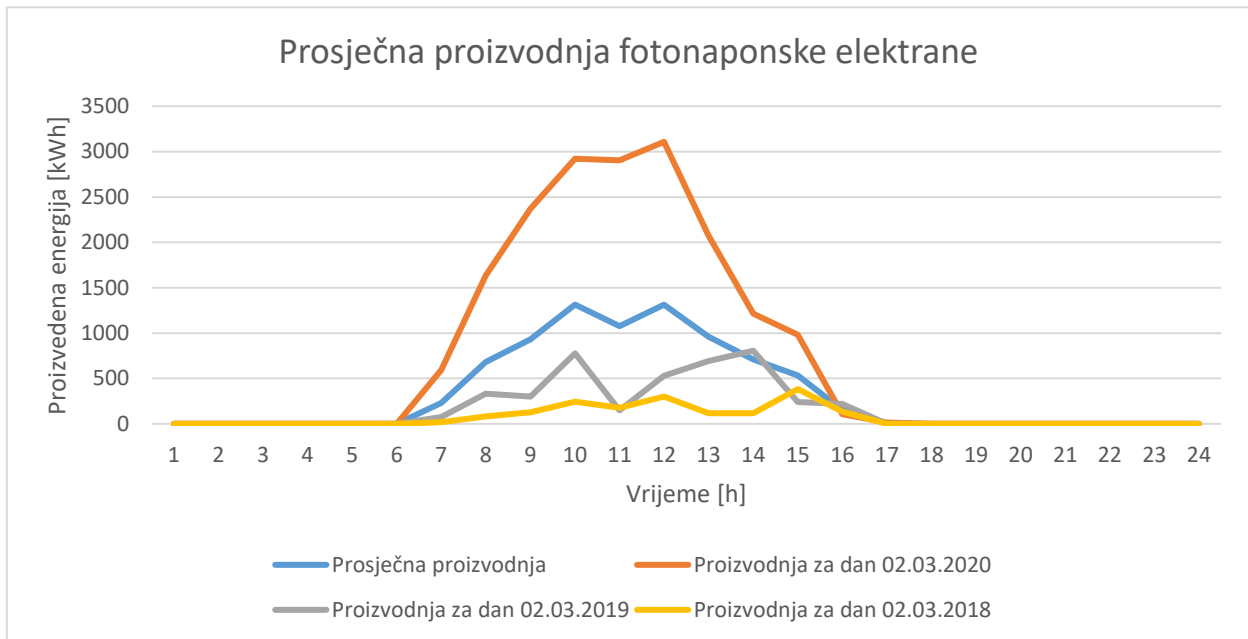
Slika 7.2. Krivulja opterećenja EES-a za neradne dane [17]

Prema slikama 7.1 i 7.2 izvršena je pretpostavka o vremenu u kojemu je potrebno pružanje pomoćnih usluga elektroenergetskom sustavu te je odlučeno da se stvara mogućnost prodaje električne energije na tržištu pomoćnih usluga u vremenu od 6h do 9h i od 15h do 18h. U tom vremenu je vidljiva promjena potrošnje električne energije te porast potrebe za električnom energijom u sustavu. U tome razdoblje se stvori razlika između potrebne i ostvarene količine električne energije te je zbog toga potrebna aktivacija pomoćnih usluga u tim trenutcima. Na slici 7.3 prikazani su izmjereni zahtjevi za električnom energijom jednog kućanstva tijekom radnog dana i tijekom neradnog dana.

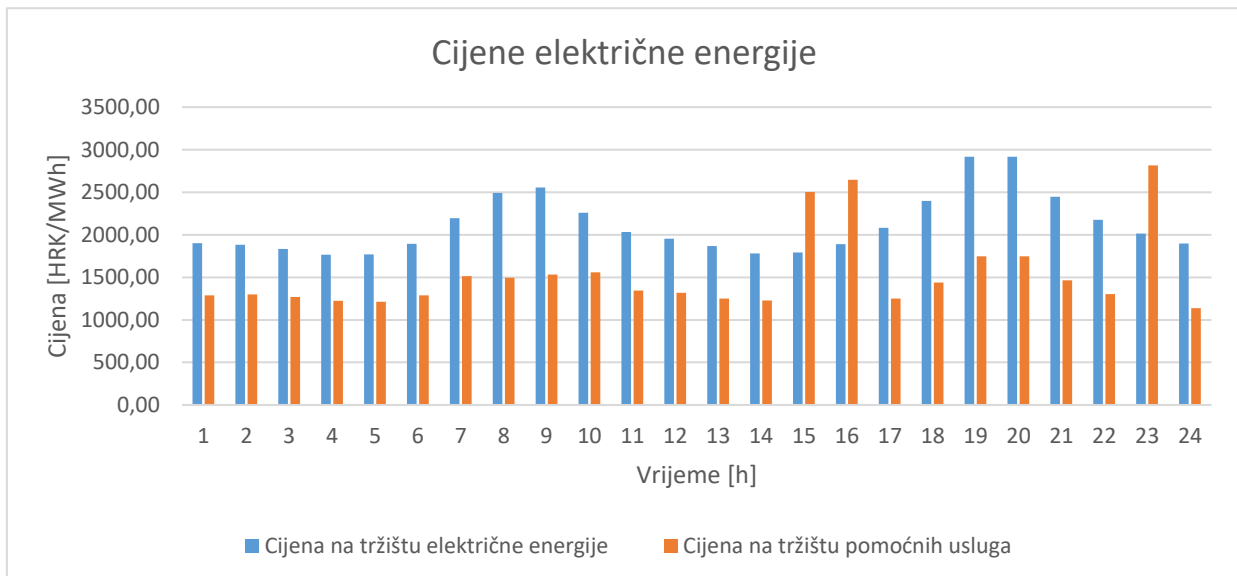


Slika 7.3. Zahtjevi kućanstva za električnom energijom tijekom radnog i neradnog dana

7.1. Rezultati simulacije za 02.03.2022 god. (radni dan)



Slika 7.4. Prosječna proizvodnja fotonaponske elektrane [16]

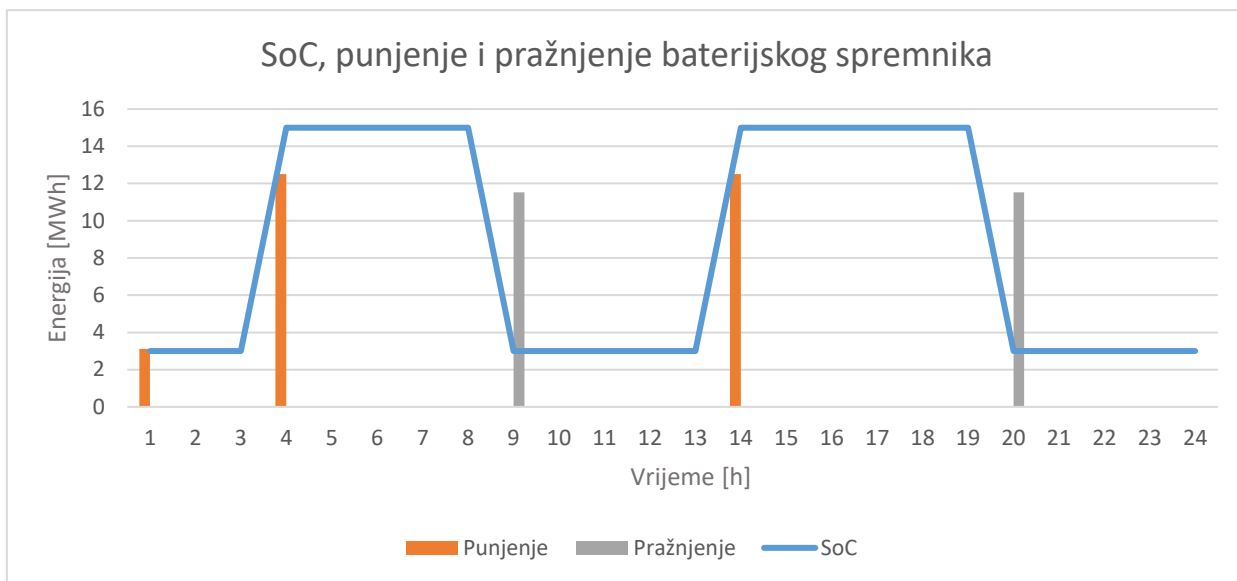


Slika 7.5 Cijena energije na tržištu za 02.03.2022. god. [4] [17]

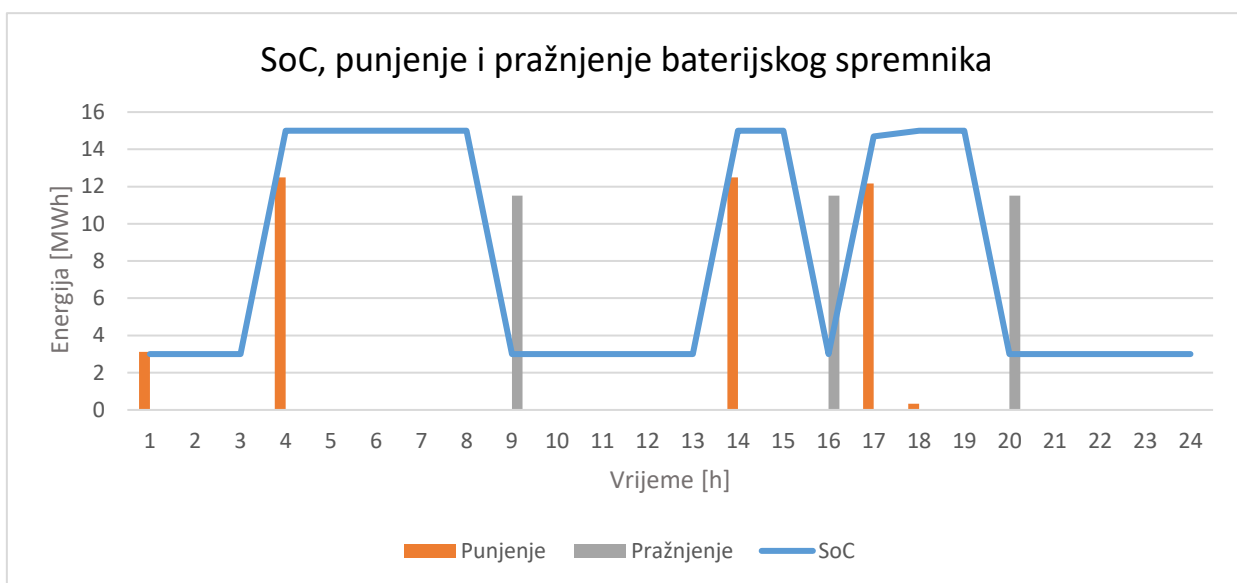
Tablica 7.1. Kupljena/prodana energija za dan 02.03.2022 god.

	Trgovanje samo na tržištu električne energije		Trgovanje na energetsom i tržištu pomoćnih usluga		
	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Prihod [HRK]	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Energija prodana na tržištu pomoćnih usluga [kWh]	Prihod [HRK]
t1	-6514,26	-12390,45	-6514,26		-12390,45
t2	-1211,44	-2280,28	-1211,44		-2280,28
t3	-388,91	-713,28	-388,91		-713,28
t4	-12892,00	-22772,82	-12892,00		-22772,82
t5	-309,42	-547,68	-309,42		-547,68
t6	-180,25	-341,42	-180,25		-341,42
t7	40,07	87,91	40,07		87,91
t8	357,00	890,11	357,00		890,11
t9	12104,73	30915,96	12104,73		30915,96
t10	1009,39	2279,83	1009,39		2279,83
t11	-84,42	-171,62	-84,42		-171,62
t12	-1038,66	-2029,94	-1038,66		-2029,94
t13	-92,59	-172,75	-92,59		-172,75
t14	-12678,52	-22573,34	-12678,52		-22573,34
t15	-1273,12	-2279,31	-1273,12		-2279,31
t16	-1150,62	-2176,48		10369,38	27431,58
t17	-1327,56	-2766,08	-13500,00		-28128,47
t18	-3484,78	-8358,25	-3812,34		-9143,89
t19	-2581,48	-7526,91	-2581,48		-7526,91
t20	10481,52	30574,81	10481,52		30574,81
t21	-885,23	-2165,20	-885,23		-2165,20
t22	-2854,69	-6208,87	-2854,69		-6208,87
t23	-960,62	-1934,42	-960,62		-1934,42
t24	-351,32	-666,13	-351,32		-666,13
Σ		-33326,60			-29866,57

Analizom podataka dobivenih simulacijom modela vidljivo je da za dan 02.03.2022 nije ostvaren profit pri oba slučaja nastupanja na tržištu, ali je vidljivo da je nastupom na tržištu pomoćnih usluga smanjen trošak pri trgovanju za čak 10,38%. Vidljivo je da su cijene na tržištu pomoćnih usluga u jutarnjim satima kada je moguć izlazak na tržište pomoćnih usluga značajno manje u odnosu na cijene na tržištu električnom energijom te zbog toga nije vršena trgovina na tržištu pomoćnih usluga u tim satima.



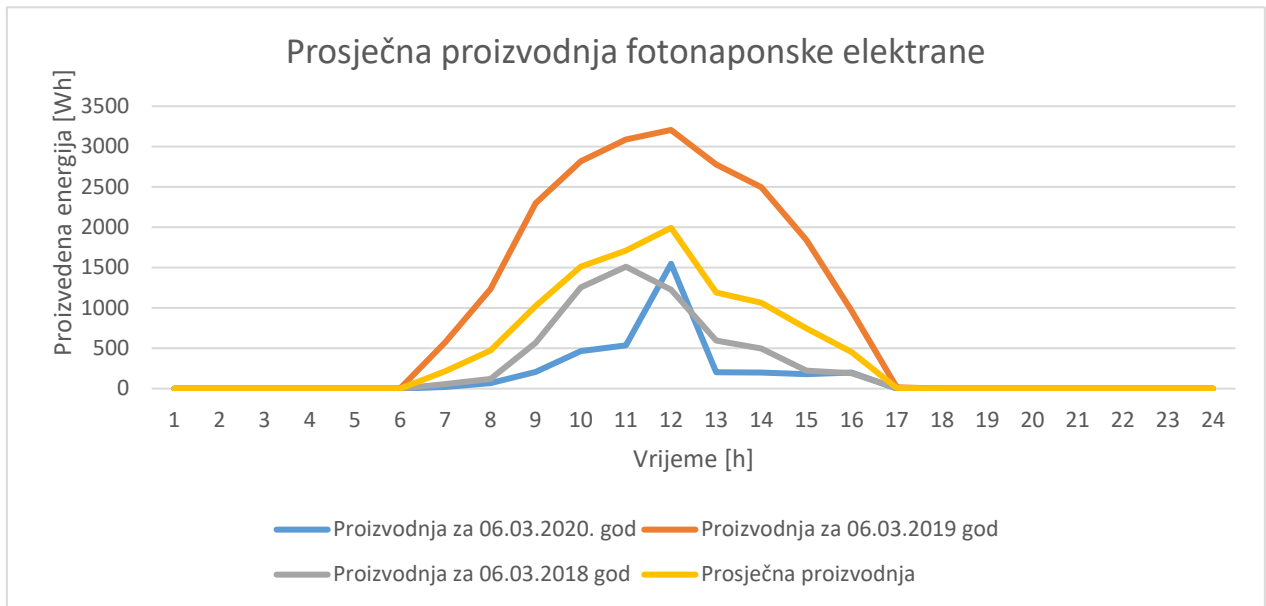
Slika 7.6. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja samo na tržištu električne energije



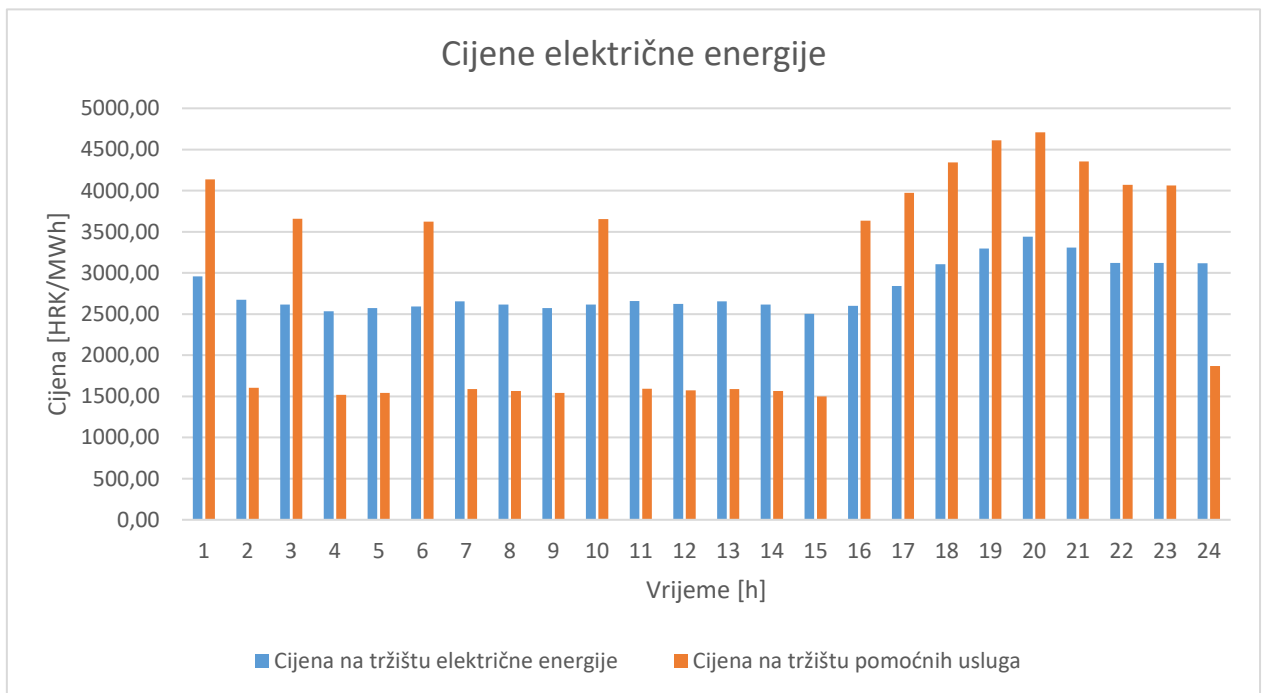
Slika 7.7. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja na tržištu električne energije i pomoćnih usluga

Analizom cijena električne energije donosi se odluka o punjenju baterijskog spremnika u satima niskih cijena kako bi se nakon određenog vremena ta energija iskoristila i prodala na tržištu kada je cijena pogodna za ostvarivanje profita ili pokrivanje određenih troškova. Osim samog punjenja spremnika potrebno je osigurati energiju potrebnu za kućanstvo u slučaju da fotonaponska elektrana ne može pokriti potrošnju kućanstva.

7.2. Rezultati simulacije za 06.03.2022. god. (neradni dan)



Slika 7.8. Prosječna proizvodnja fotonaponske elektrane [16]



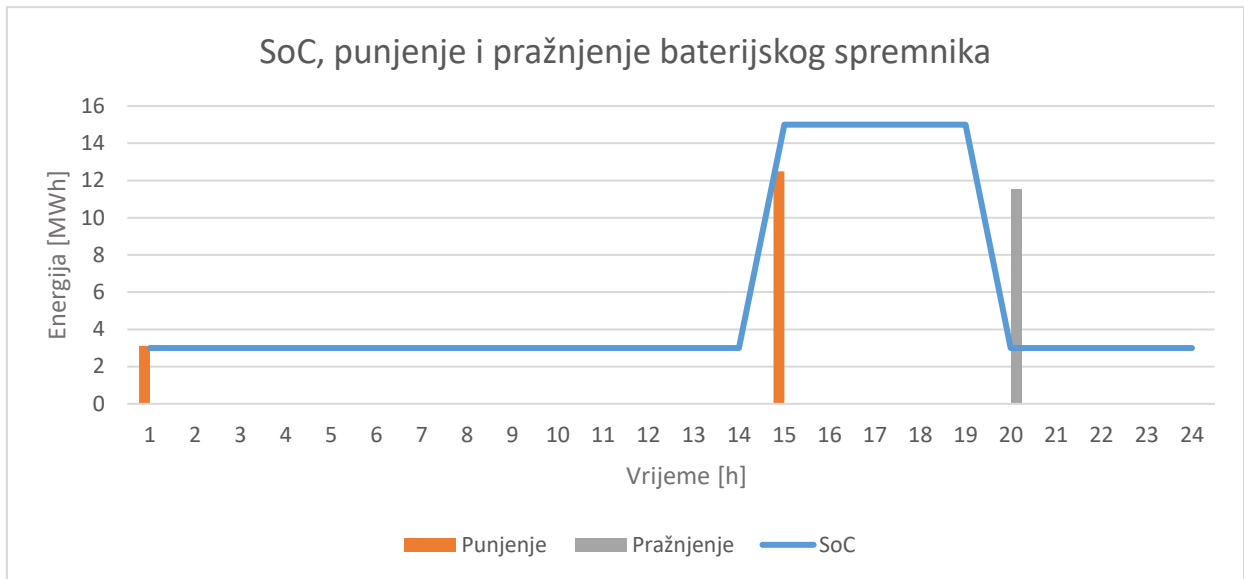
Slika 7.9 Cijena energije na tržištu za 06.03.2022. god. [4] [17]

Tablica 7.2. Kupljena/prodana energija za dan 06.03.2022 god.

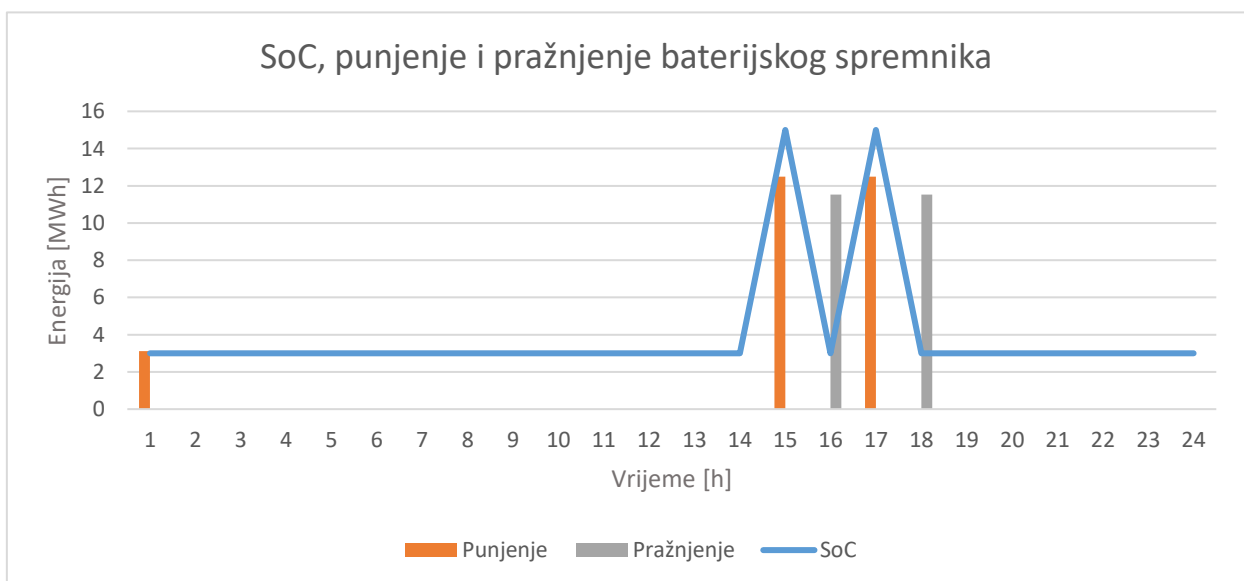
	Trgovanje samo na tržištu električne energije		Trgovanje na energetsom i tržištu pomoćnih usluga		
	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Prihod [HRK]	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Energija prodana na tržištu pomoćnih usluga [kWh]	Prihod [HRK]
t1	-3529,52	-10445,64	-3529,52		-10445,64
t2	-375,45	-1004,16	-375,45		-1004,16
t3	-370,50	-968,91	-370,50		-968,91
t4	-323,53	-819,26	-323,53		-819,26
t5	-310,13	-797,62	-310,13		-797,62
t6	-277,07	-718,14	-277,07		-718,14
t7	-60,38	-160,16	-60,38		-160,16
t8	167,70	438,44	167,70		438,44
t9	657,25	1690,72	657,25		1690,72
t10	1093,34	2858,35	1093,34		2858,35
t11	1287,06	3423,53	1287,06		3423,53
t12	1582,80	4152,37	1582,80		4152,37
t13	876,59	2326,24	876,59		2326,24
t14	746,31	1951,06	746,31		1951,06
t15	-12052,16	-30140,63	-12052,16		-30140,63
t16	157,43	409,10		11677,43	42430,28
t17	-351,12	-997,62	-12851,12		-36513,37
t18	-430,79	-1338,22		11089,21	48166,43
t19	-438,49	-1445,50	-438,49		-1445,50
t20	9898,44	34069,85	-1621,56		-5581,30
t21	-1221,14	-4037,20	-1221,14		-4037,20
t22	-607,99	-1898,00	-607,99		-1898,00
t23	-583,54	-1821,65	-583,54		-1821,65
t24	-1045,60	-3261,16	-1045,60		-3261,16
Σ		-8534,23			7824,70

Analizom podataka dobivenih simulacijom modela vidljivo je da za dan 06.03.2022 nije ostvaren profit pri trgovanju samo na tržištu električne energije, ali je ostvaren profit pri nastupu na tržištu električne energije i pomoćnih usluga. Vidljivo je da su cijene na tržištu pomoćnih usluga u jutarnjim satima kada je moguć izlazak na tržište pomoćnih usluga značajno manje u odnosu na cijene na tržištu električnom energijom te nije izvršena trgovina u tim satima na tržištu pomoćnih

usluga. Kupovinu električne energije s tržišta pomoćnih usluga u tim satima nije moguće vršiti jer elektroenergetskom sustavu nedostaje određeni iznos energije.

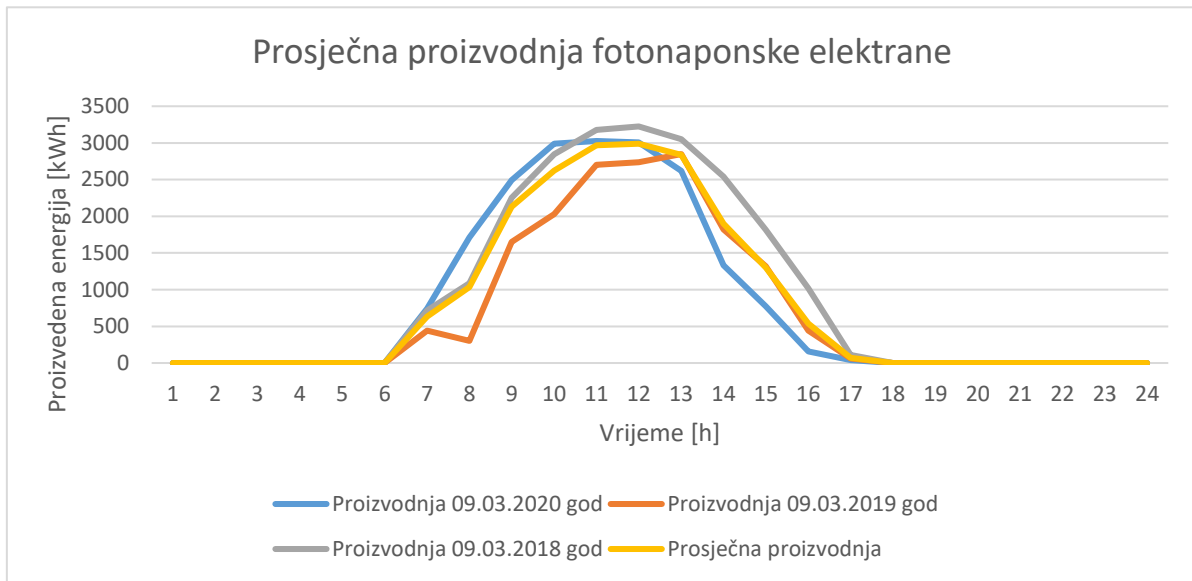


Slika 7.10. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja samo na tržištu električne energije

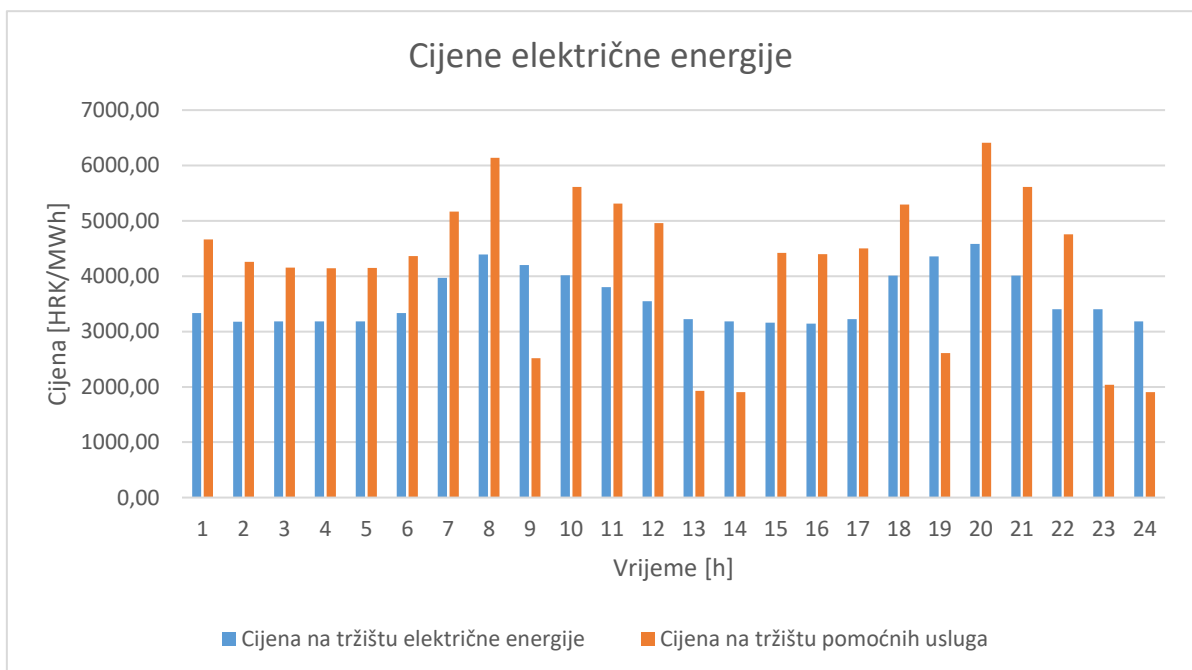


Slika 7.11. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja na tržištu električne energije i pomoćnih usluga

7.3. Rezultati simulacije za 09.03.2022. god. (radni dan)



Slika 7.12 Prosječna proizvodnja fotonaponske elektrane [16]

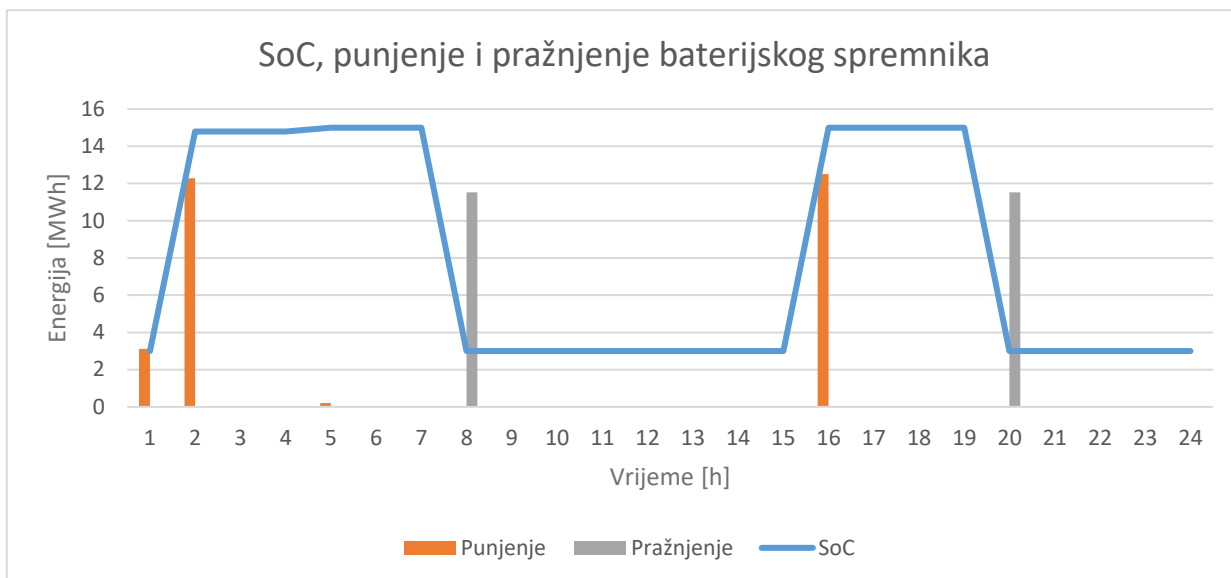


Slika 7.13 Cijena energije na tržištu za 09.03.2022. god. [4] [17]

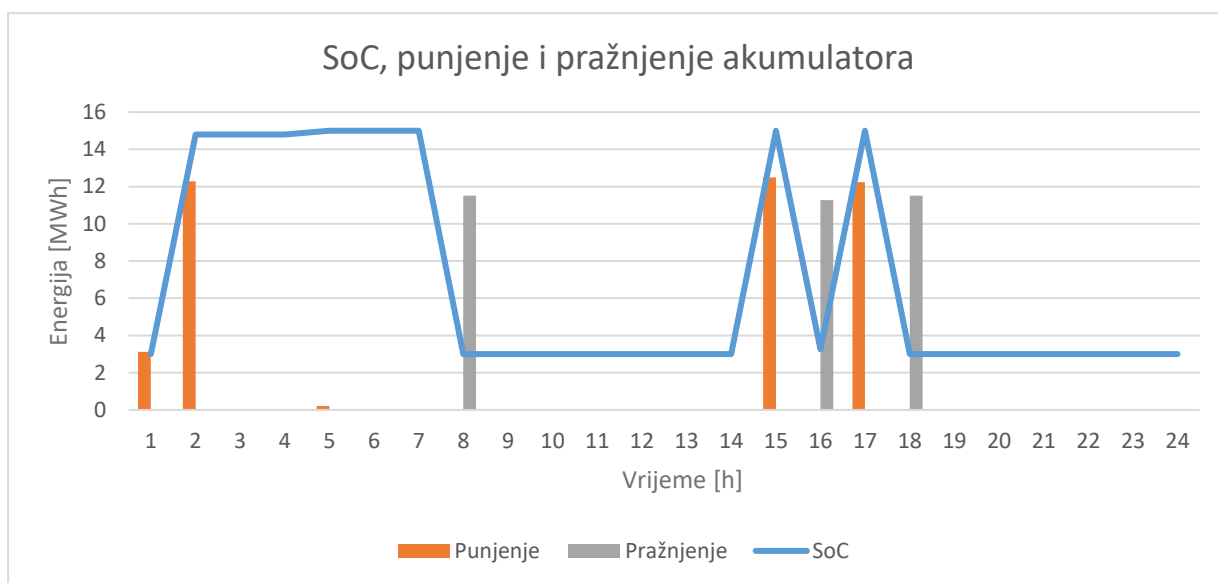
Tablica 7.3. Kupljena/prodana energija za dan 09.03.2022 god.

	Trgovanje samo na tržištu električne energije		Trgovanje na energetsom i tržištu pomoćnih usluga		
	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Prihod [HRK]	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Energija prodana na tržištu pomoćnih usluga [kWh]	Prihod [HRK]
t1	-6514,26	-21725,90	-6514,26		-21725,90
t2	-13500,00	-42899,90	-13500,00		-42899,90
t3	-388,91	-1237,79	-388,91		-1237,79
t4	-392,00	-1247,52	-392,00		-1247,52
t5	-520,86	-1657,59	-520,86		-1657,59
t6	-180,25	-600,90	-180,25		-600,90
t7	445,44	1767,68		445,44	2300,54
t8	12228,10	53685,14		12228,10	75056,31
t9	1783,35	7495,86	1783,35		7495,86
t10	2316,73	9301,50	2316,73		9301,50
t11	1809,02	6875,53	1809,02		6875,53
t12	638,73	2266,25	638,73		2266,25
t13	1785,41	5750,04	1785,41		5750,04
t14	1007,31	3205,69	1007,31		3205,69
t15	-504,78	-1595,94	-13004,78		-41116,81
t16	-13263,95	-41708,23		10514,09	46222,46
t17	-1262,54	-4066,36	-13500,00		-43480,40
t18	-3484,78	-13978,68		8035,22	42541,41
t19	-2581,48	-11245,08	-2581,48		-11245,08
t20	10481,52	48046,14	-1038,48		-4760,27
t21	-885,23	-3551,95	-885,23		-3551,95
t22	-2854,69	-9706,12	-2854,69		-9706,12
t23	-960,62	-3268,40	-960,62		-3268,40
t24	-351,32	-1118,08	-351,32		-1118,08
Σ		-21214,61			13398,88

Analizom podataka dobivenih simulacijom modela vidljivo je da za dan 09.03.2022 nije ostvaren profit pri trgovanju samo na tržištu električne energije, ali je ostvaren profit pri nastupu na tržištu električne energije i pomoćnih usluga. Razlog tome su pogodne i stimulirajuće cijene za izlazak na tržište pomoćnih usluga u jutarnjim i večernjim satima. Osim toga radnim danima je povećana potrošnja kućanstava te je fotonaponska elektrana svojom proizvodnjom ne može pokriti. Zbog toga je potrebno nadoknaditi potrebnu električnu energiju dodatnom kupovinom na tržištu.

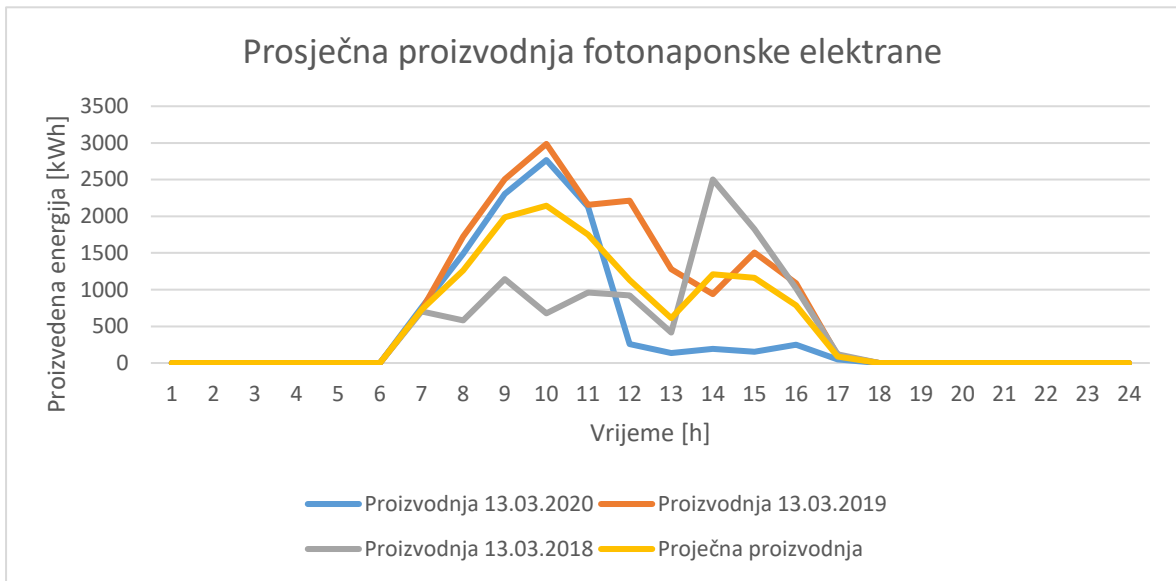


Slika 7.14. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja samo na tržištu električne energije

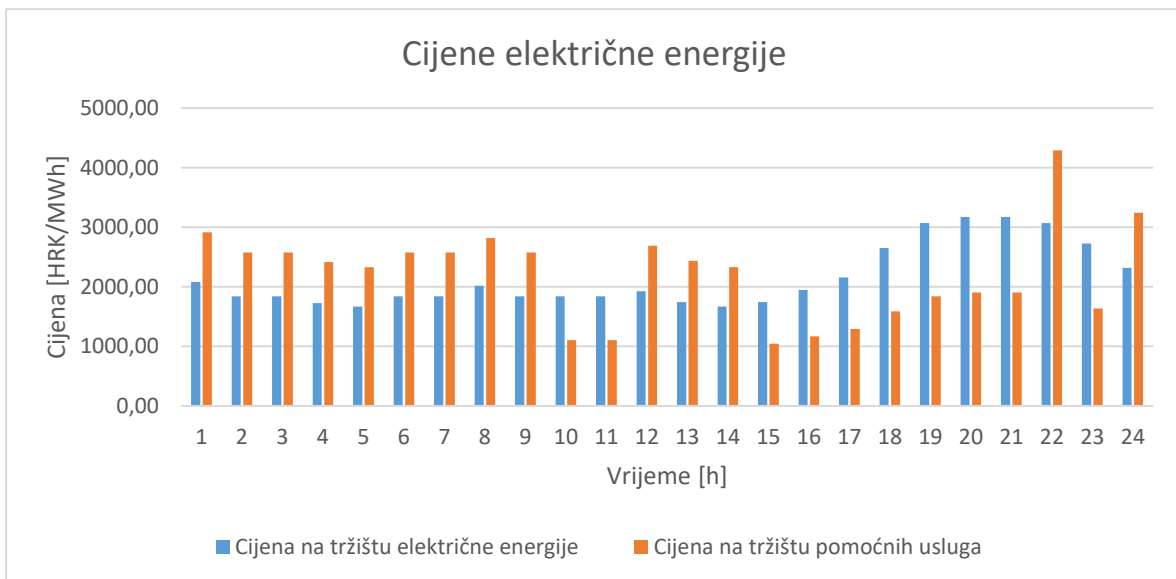


Slika 7.15. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja na tržištu električne energije i pomoćnih usluga

7.4. Rezultati simulacije za 13.03.2022. god. (neradni dan)



Slika 7.16 Prosječna proizvodnja fotonaponske elektrane [16]

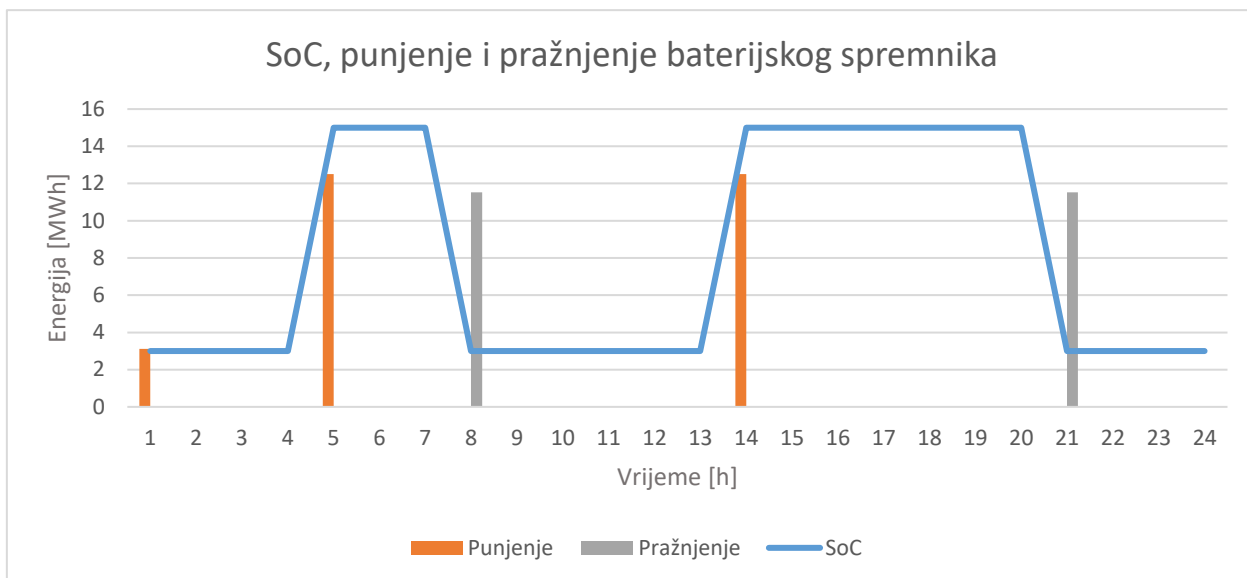


Slika 7.17 Cijena energije na tržištu za 13.03.2022. god. [4] [17]

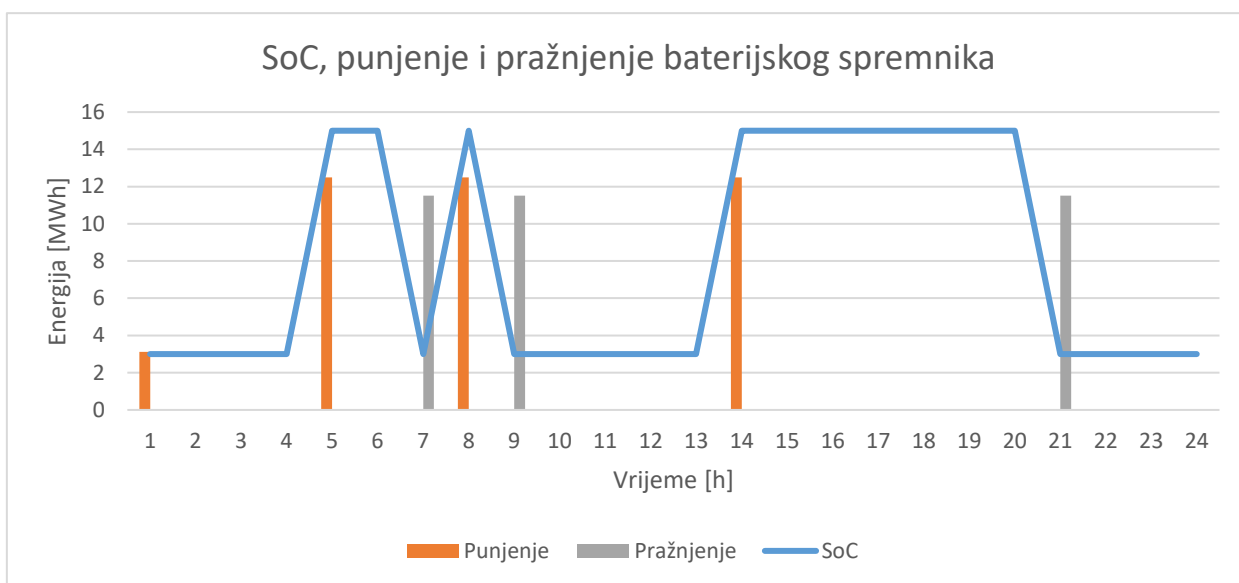
Tablica 7.4. Kupljena/prodana energija za dan 13.03.2022 god.

	Trgovanje samo na tržištu električne energije		Trgovanje na energetsom i tržištu pomoćnih usluga		
	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Prihod [HRK]	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Energija prodana na tržištu pomoćnih usluga [kWh]	Prihod [HRK]
t1	-3529,52	-7354,07	-3529,52		-7354,07
t2	-375,45	-691,25	-375,45		-691,25
t3	-370,50	-682,14	-370,50		-682,14
t4	-323,53	-558,73	-323,53		-558,73
t5	-12810,13	-21354,49	-12810,13		-21354,49
t6	-277,07	-510,13	-277,07		-510,13
t7	450,62	829,65		11970,62	30818,59
t8	12478,06	25161,51	-11541,94		-23273,86
t9	1618,32	2979,53		13138,32	33824,86
t10	1726,05	3177,88	1726,05		3177,88
t11	1325,42	2440,27	1325,42		2440,27
t12	720,75	1387,38	720,75		1387,38
t13	295,62	515,29	295,62		515,29
t14	-11606,71	-19350,70	-11606,71		-19350,70
t15	861,56	1502,01	861,56		1502,01
t16	490,04	955,53	490,04		955,53
t17	-271,92	-586,68	-271,92		-586,68
t18	-430,79	-1142,39	-430,79		-1142,39
t19	-438,49	-1345,55	-438,49		-1345,55
t20	-1621,56	-5147,84	-1621,56		-5147,84
t21	10298,86	32695,08	10298,86		32695,08
t22	-607,99	-1865,67	-607,99		-1865,67
t23	-583,54	-1591,66	-583,54		-1591,66
t24	-1045,60	-2423,47	-1045,60		-2423,47
Σ		7039,36			19438,27

Analizom podataka dobivenih simulacijom modela vidljivo je da je za dan 13.03.2022. ostvaren profit pri oba načina trgovanja, ali je pri nastupu na tržištu pomoćnih usluga ostvaren značajno veći profit u odnosu na nastup samo na tržište električne energije. Razlog tome je manja potrošnja kućanstava, pad cijena na tržištu u odnosu na 09.03.2022. god. te je pri kupovini električne energije za potrebe kućanstva ostvareno značajno manje troškova i zbog toga se stvorio prostor za profit.

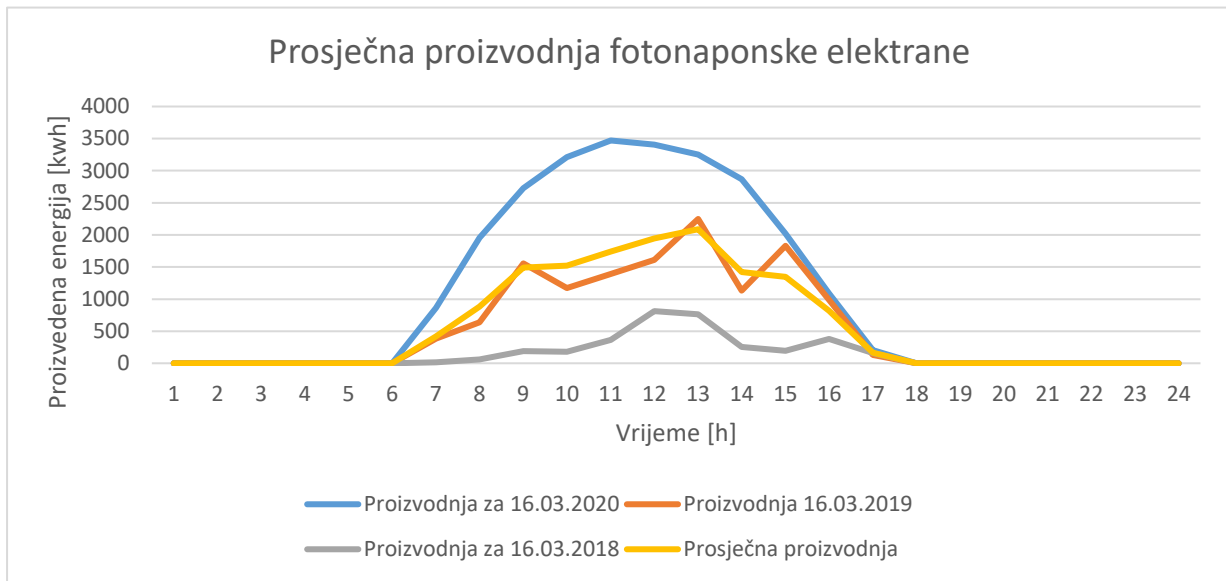


Slika 7.18. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja samo na tržištu električne energije

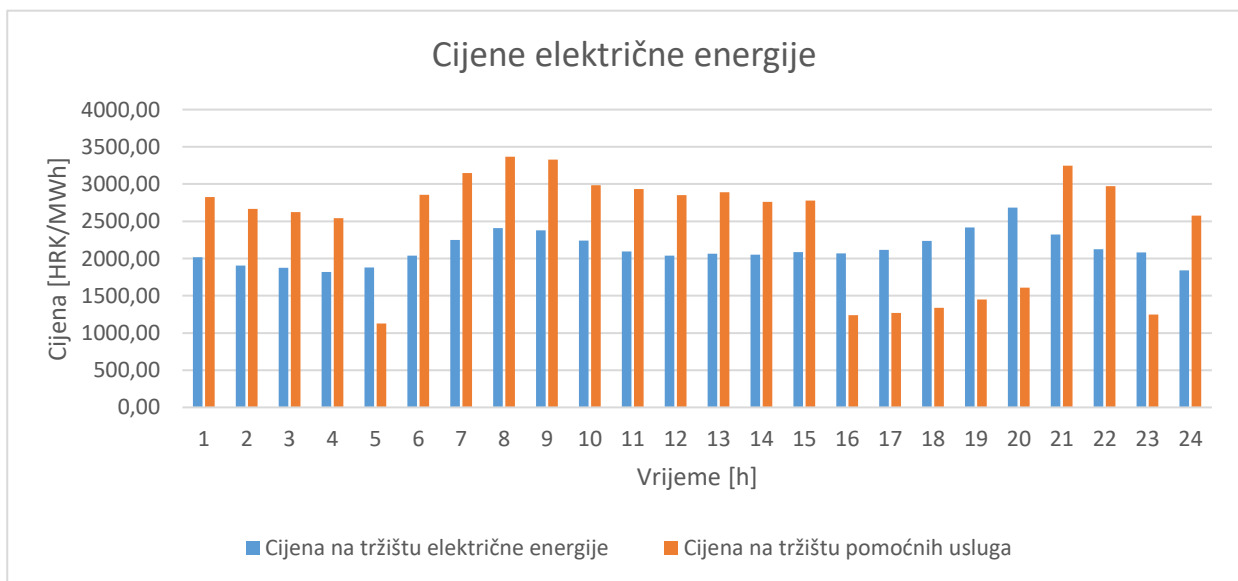


Slika 7.19. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja na tržištu električne energije i pomoćnih usluga

7.5. Rezultati simulacije za 16.03.2022. god. (radni dan)



Slika 7.20 Prosječna proizvodnja fotonaponske elektrane [16]

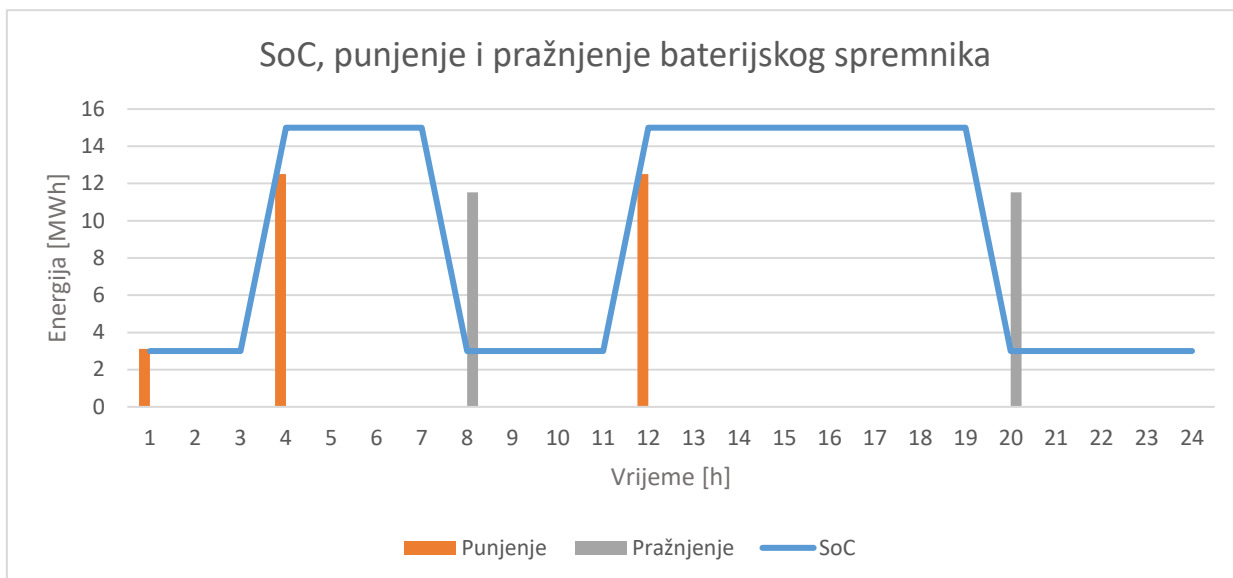


Slika 7.21 Cijena energije na tržištu za 16.03.2022. god. [4] [17]

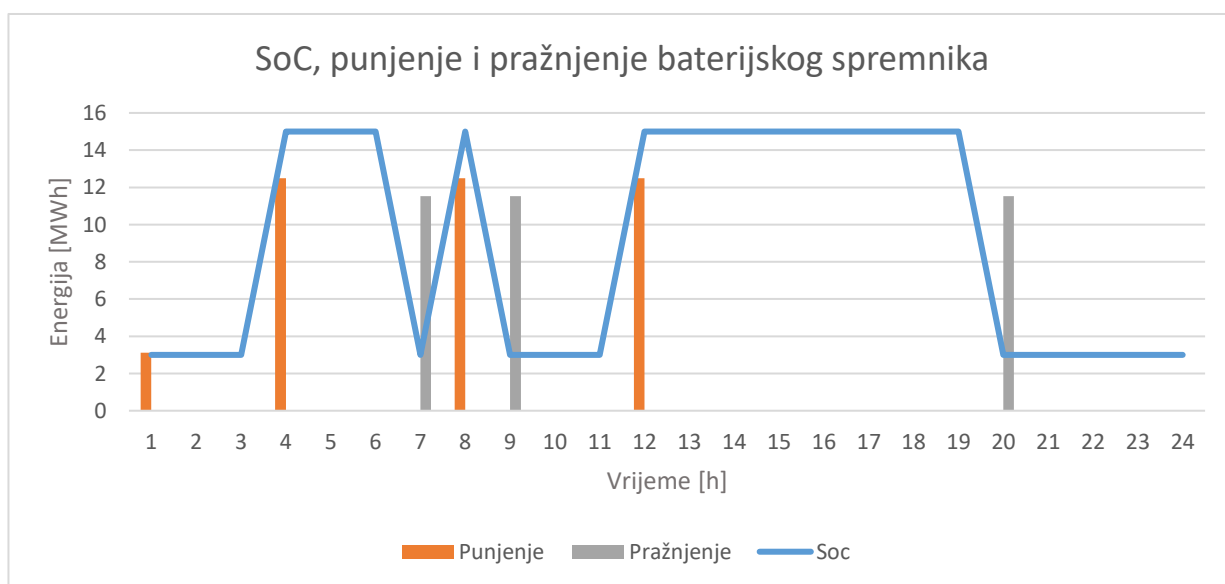
Tablica 7.5. Kupljena/prodana energija za dan 16.03.2022 god.

	Trgovanje samo na tržištu električne energije		Trgovanje na energetsom i tržištu pomoćnih usluga		
	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Prihod [HRK]	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Energija prodana na tržištu pomoćnih usluga [kWh]	Prihod [HRK]
t1	-6514,26	-13153,53	-6514,26		-13153,53
t2	-1211,44	-2307,53	-1211,44		-2307,53
t3	-388,91	-729,28	-388,91		-729,28
t4	-12892,00	-23443,84	-12892,00		-23443,84
t5	-309,42	-581,87	-309,42		-581,87
t6	-180,25	-367,78	-180,25		-367,78
t7	231,96	521,91		11751,96	36987,31
t8	12078,75	29074,88	-11941,25		-28743,90
t9	1145,29	2724,73		12665,29	42149,19
t10	1216,85	2728,47	1216,85		2728,47
t11	581,83	1219,34	581,83		1219,34
t12	-12907,90	-26324,63	-12907,90		-26324,63
t13	1035,04	2137,39	1035,04		2137,39
t14	529,96	1086,88	529,96		1086,88
t15	-459,96	-958,67	-459,96		-958,67
t16	-484,30	-1002,47	-484,30		-1002,47
t17	-1167,77	-2468,53	-1167,77		-2468,53
t18	-3484,78	-7786,82	-3484,78		-7786,82
t19	-2581,48	-6243,84	-2581,48		-6243,84
t20	10481,52	28113,01	10481,52		28113,01
t21	-885,23	-2054,05	-885,23		-2054,05
t22	-2854,69	-6064,36	-2854,69		-6064,36
t23	-960,62	-2001,45	-960,62		-2001,45
t24	-351,32	-646,83	-351,32		-646,83
Σ		-28528,87			-10457,80

Analizom podataka dobivenih simulacijom modela vidljivo je da za dan 16.03.2022 nije ostvaren profit pri oba slučaja nastupanja na tržištu, ali je nastupom na tržištu pomoćnih usluga smanjen trošak pri trgovanju. Vidljivo je da su cijene na tržištu pomoćnih usluga u jutarnjim satima kada je moguć izlazak na tržište pomoćnih usluga značajno veće u odnosu na cijene na tržištu električnom energijom te je zbog mogućnosti trgovanja u tim satima smanjen trošak pri trgovanju.

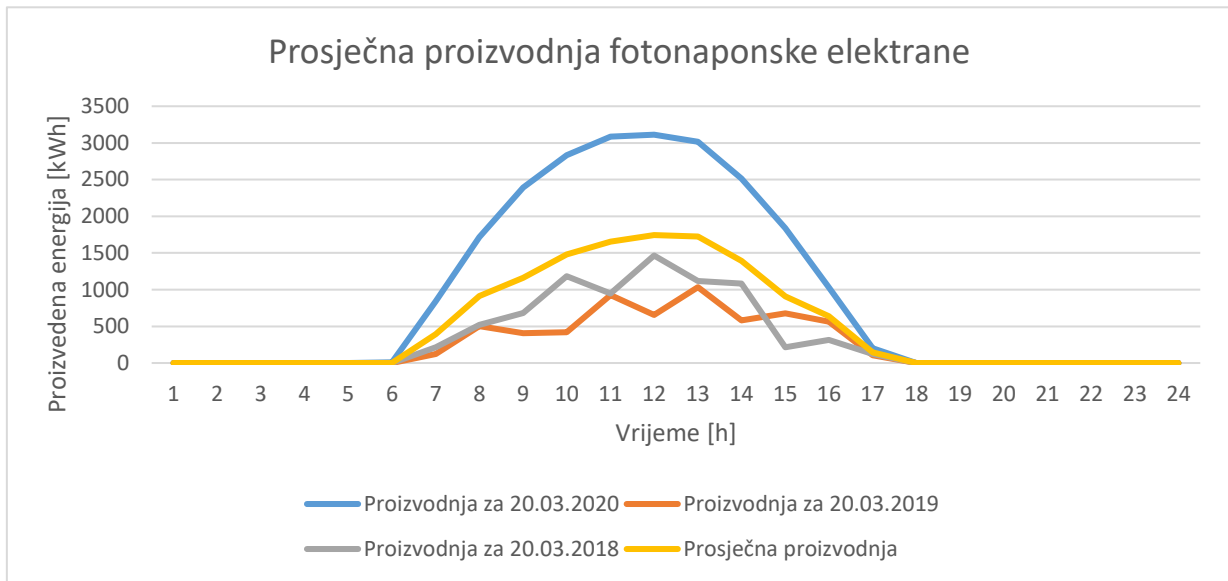


Slika 7.22. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja samo na tržištu električne energije

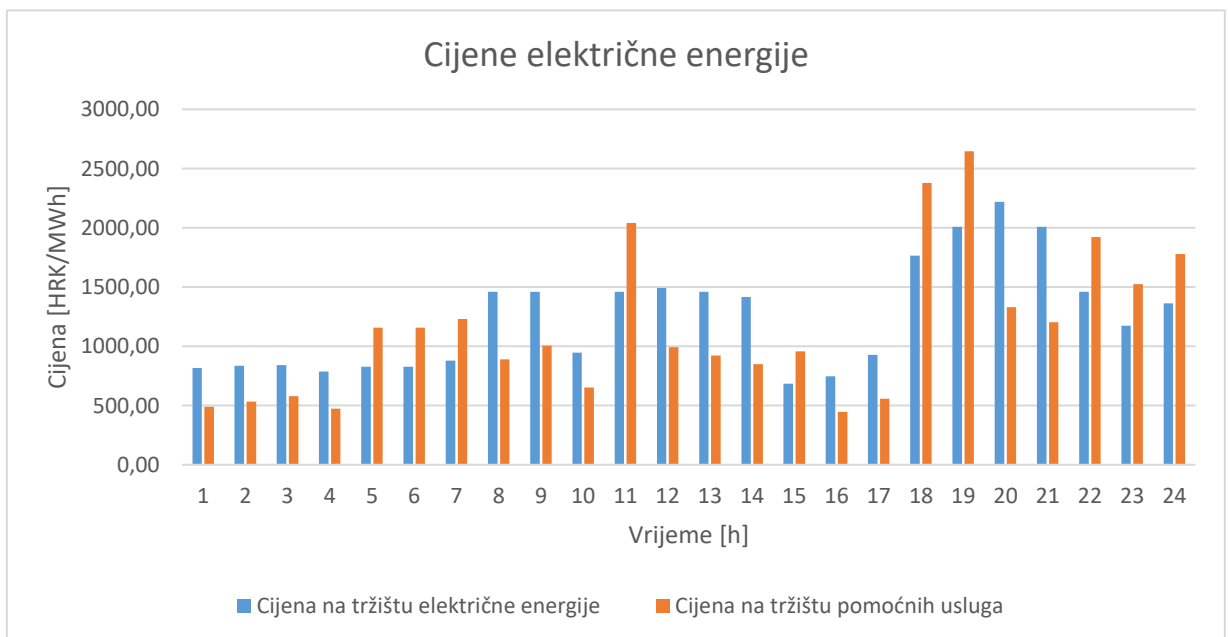


Slika 7.23. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja na tržištu električne energije i pomoćnih usluga

7.6. Rezultati simulacije za 20.03.2022. god. (neradni dan)



Slika 7.24 Prosječna proizvodnja fotonaponske elektrane [16]

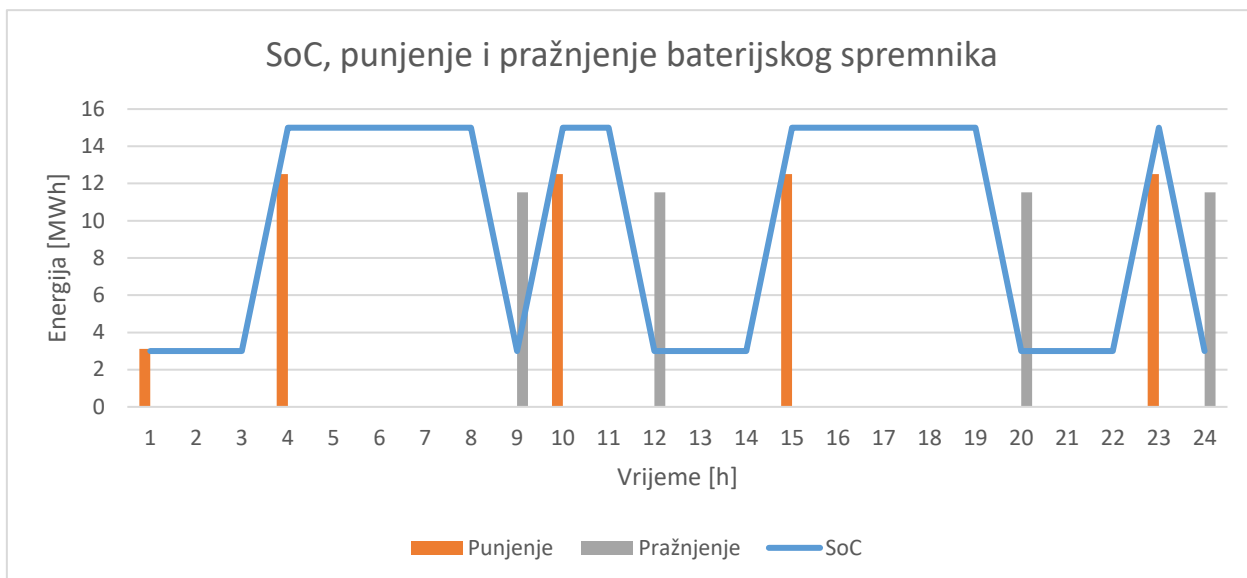


Slika 7.25 Cijena energije na tržištu za 20.03.2022. god. [4] [17]

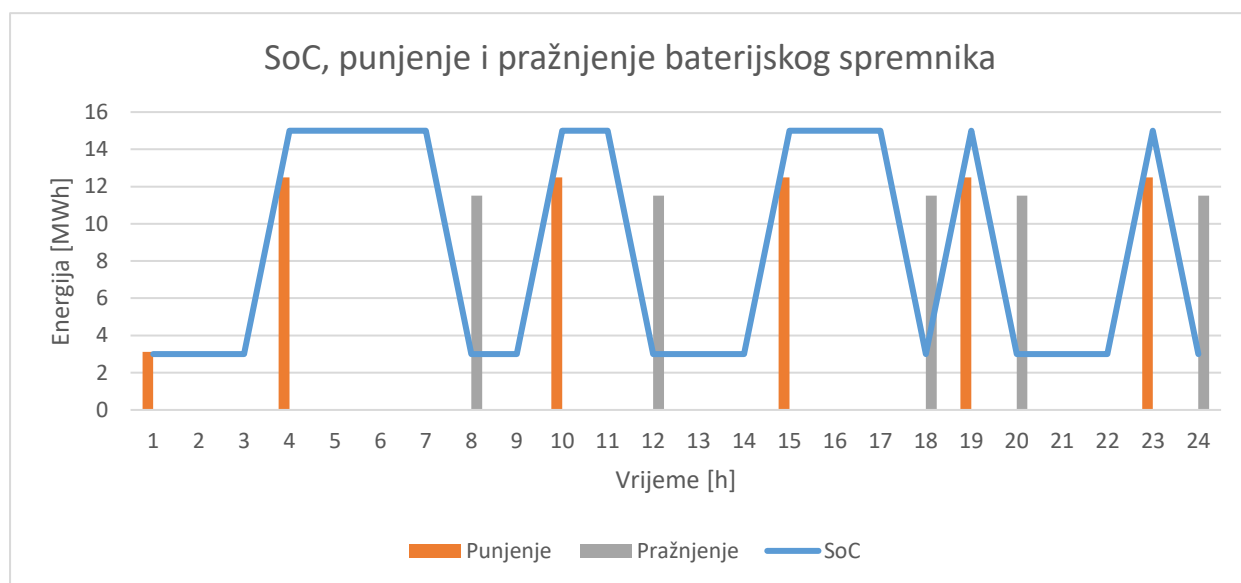
Tablica 7.6. Kupljena/prodana energija za dan 20.03.2022 god.

	Trgovanje samo na tržištu električne energije		Trgovanje na energetsom i tržištu pomoćnih usluga		
	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Prihod [HRK]	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Energija prodana na tržištu pomoćnih usluga [kWh]	Prihod [HRK]
t1	-3529,52	-2882,77	-3529,52		-2882,77
t2	-375,45	-313,55	-375,45		-313,55
t3	-370,50	-311,98	-370,50		-311,98
t4	-12823,53	-10098,66	-12823,53		-10098,66
t5	-310,13	-256,42	-310,13		-256,42
t6	-274,41	-226,99	-274,41		-226,99
t7	117,44	103,29		117,44	144,54
t8	605,91	884,19	12125,91		17694,98
t9	12313,41	17968,59	793,41		1157,80
t10	-11438,02	-10839,12	-11438,02		-10839,12
t11	1228,69	1792,99	1228,69		1792,99
t12	12853,41	19175,37	12853,41		19175,37
t13	1407,27	2053,59	1407,27		2053,59
t14	1074,67	1522,63	1074,67		1522,63
t15	-11889,64	-8130,61	-11889,64		-8130,61
t16	341,88	254,99	341,88		254,99
t17	-216,81	-201,38	-216,81		-201,38
t18	-430,79	-760,77		11089,21	26380,12
t19	-438,49	-880,42	-12938,49		-25978,17
t20	9898,44	21968,21	9898,44		21968,21
t21	-1221,14	-2451,82	-1221,14		-2451,82
t22	-607,99	-887,23	-607,99		-887,23
t23	-13083,54	-15344,11	-13083,54		-15344,11
t24	10474,40	14278,81	10474,40		14278,81
Σ		26416,82			28501,21

Analizom podataka dobivenih simulacijom modela vidljivo je da je za dan 20.03.2022 ostvaren profit pri oba načina trgovanja. Cijene na oba tržišta su u ovome slučaju pogodne te između njih ne postoji dovoljno velika razlika kako bi se značajno veći profit ostvario na tržištu pomoćnih usluga. Osim toga proizvodnja fotonaponske elektrane je pogodna za pokrivanje velikog djela potražnje električne energije kućanstava.

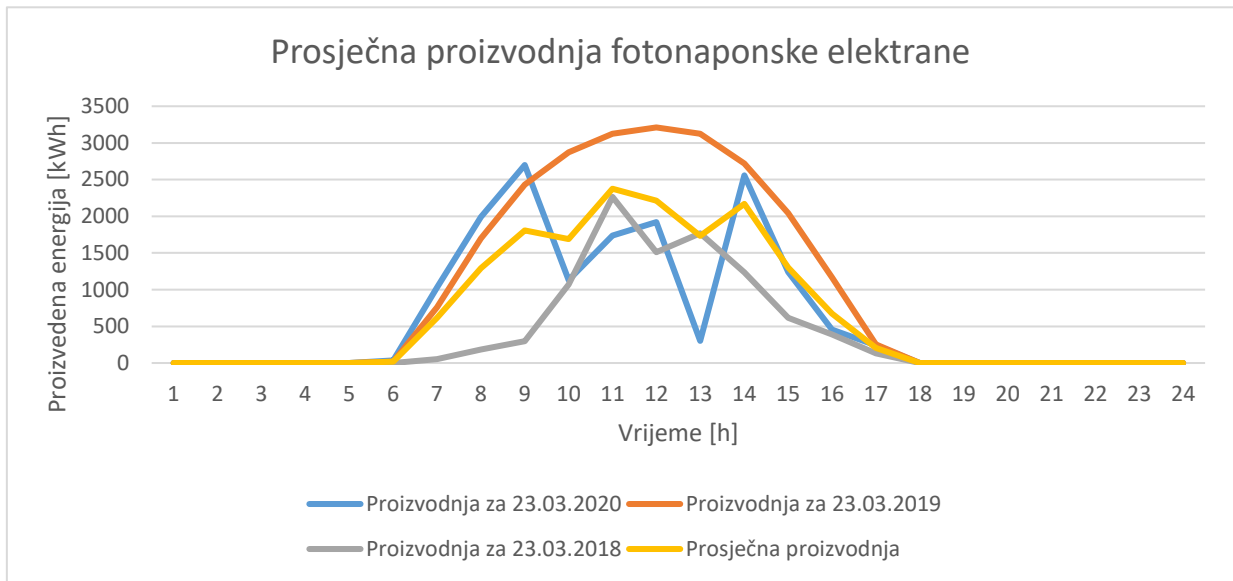


Slika 7.26. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja samo na tržištu električne energije

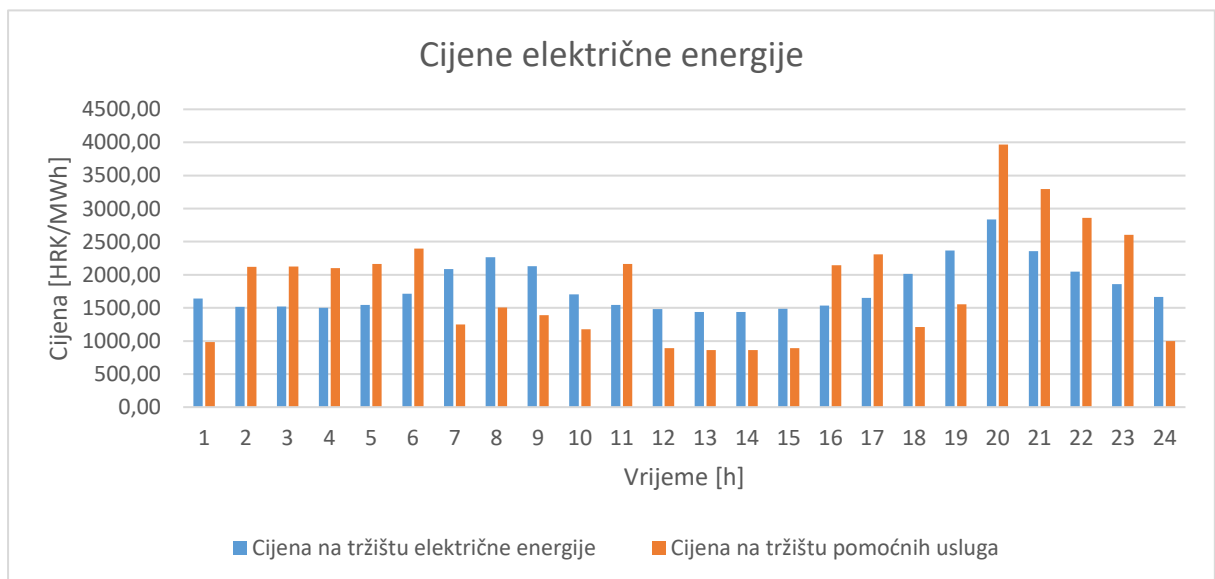


Slika 7.27. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja na tržištu električne energije i pomoćnih usluga

7.7. Rezultati simulacije za 23.03.2022. god. (radni dan)



Slika 7.28 Prosječna proizvodnja fotonaponske elektrane [16]

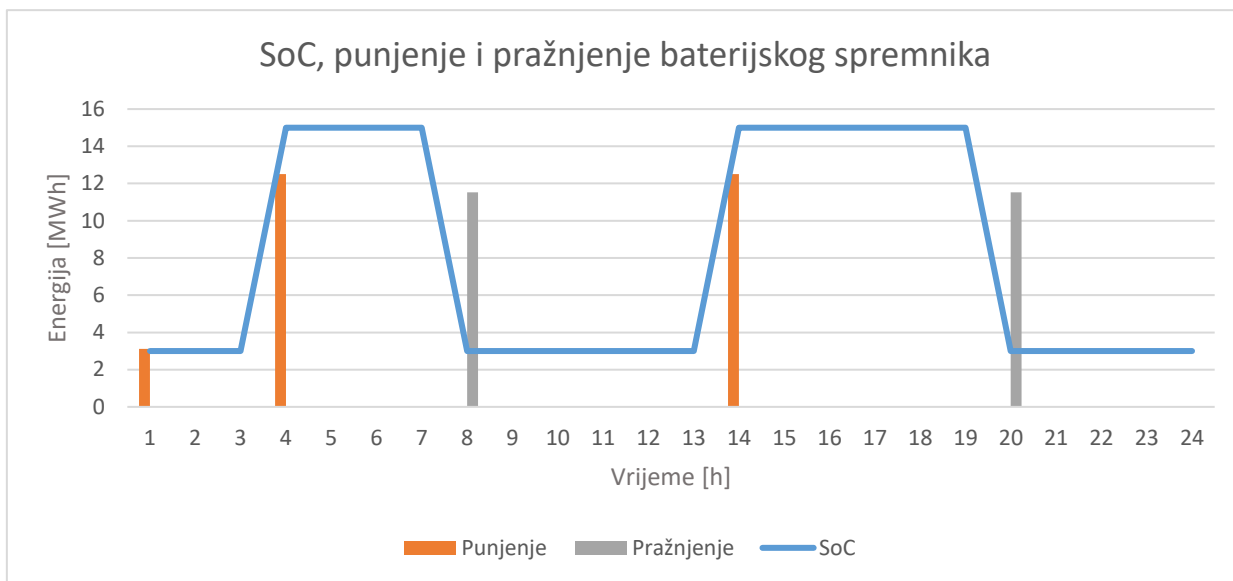


Slika 7.29 Cijena energije na tržištu za 23.03.2022. god. [4] [17]

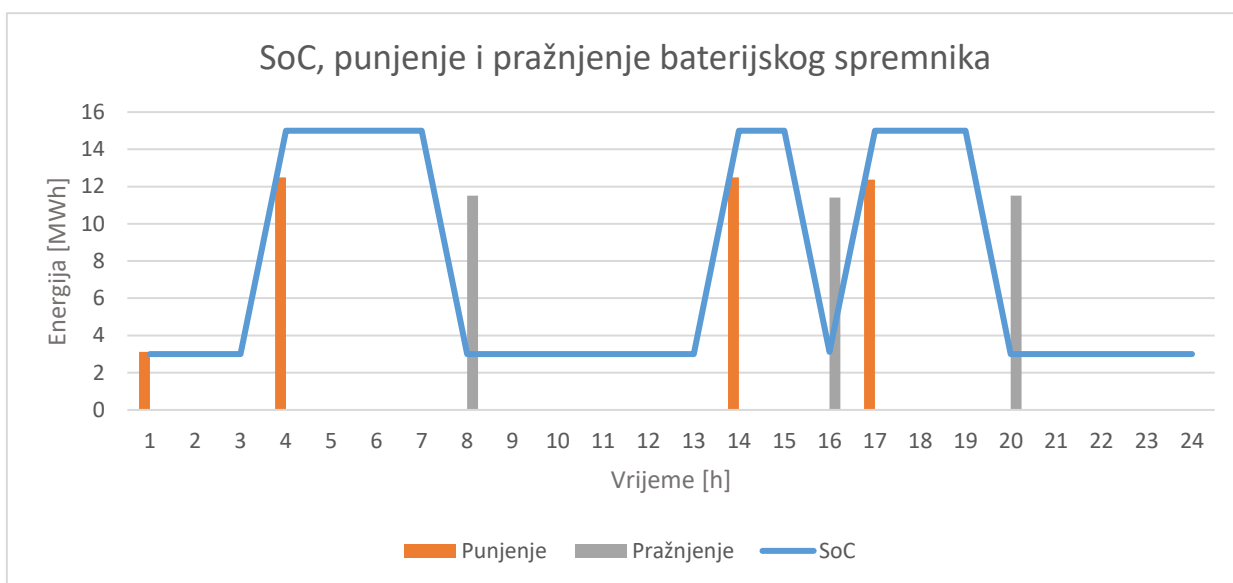
Tablica 7.7. Kupljena/prodana energija za dan 23.03.2022 god.

	Trgovanje samo na tržištu električne energije		Trgovanje na energetsom i tržištu pomoćnih usluga		
	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Prihod [HRK]	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Energija prodana na tržištu pomoćnih usluga [kWh]	Prihod [HRK]
t1	-6514,26	-10676,22	-6514,26		-10676,22
t2	-1211,44	-1836,21	-1211,44		-1836,21
t3	-388,91	-591,15	-388,91		-591,15
t4	-12892,00	-19348,44	-12892,00		-19348,44
t5	-309,42	-478,46	-309,42		-478,46
t6	-162,09	-277,74	-162,09		-277,74
t7	425,62	888,27	425,62		888,27
t8	12486,07	28309,79	12486,07		28309,79
t9	1461,03	3109,27	1461,03		3109,27
t10	1384,63	2361,33	1384,63		2361,33
t11	1215,31	1879,06	1215,31		1879,06
t12	-136,73	-202,80	-136,73		-202,80
t13	678,05	976,18	678,05		976,18
t14	-11219,30	-16151,98	-11219,30		-16151,98
t15	-506,74	-752,19	-506,74		-752,19
t16	-632,33	-969,70		10772,26	23113,28
t17	-1125,24	-1858,48	-13500,00		-22297,14
t18	-3484,78	-7024,49	-3484,78		-7024,49
t19	-2581,48	-6107,97	-2581,48		-6107,97
t20	10481,52	29712,39	10481,52		29712,39
t21	-885,23	-2086,15	-885,23		-2086,15
t22	-2854,69	-5839,84	-2854,69		-5839,84
t23	-960,62	-1786,68	-960,62		-1786,68
t24	-351,32	-585,87	-351,32		-585,87
Σ		-9338,10			-5693,77

Analizom podataka dobivenih simulacijom modela vidljivo je da za dan 23.03.2022 nije ostvaren profit pri oba slučaja nastupanja na tržištu, ali je nastupom na tržištu pomoćnih usluga smanjen trošak pri trgovanju.

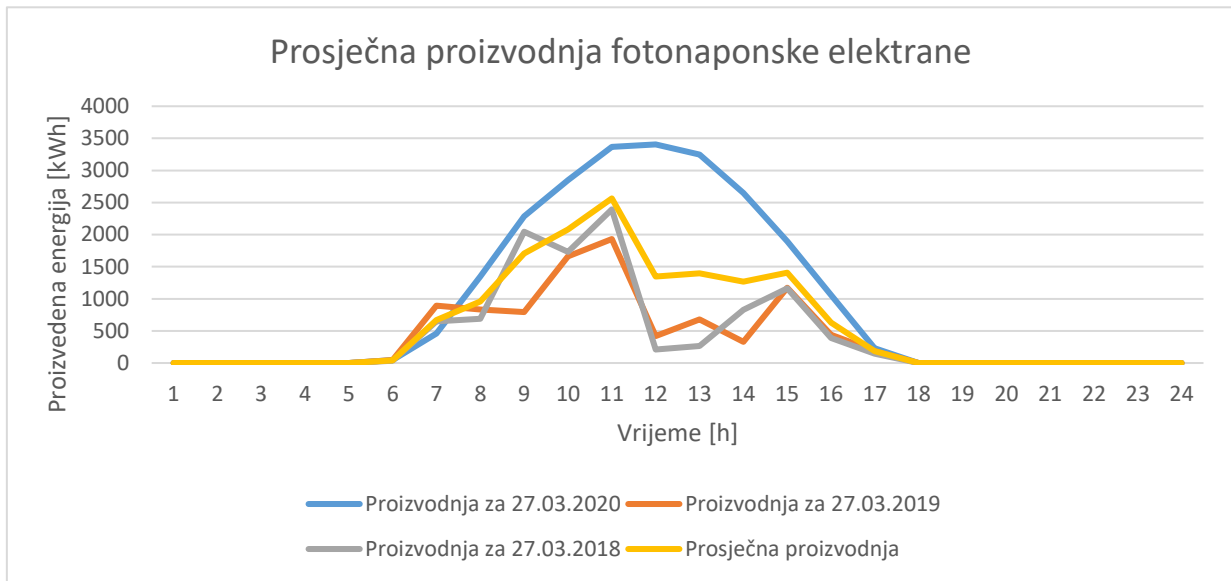


Slika 7.30. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja samo na tržištu električne energije

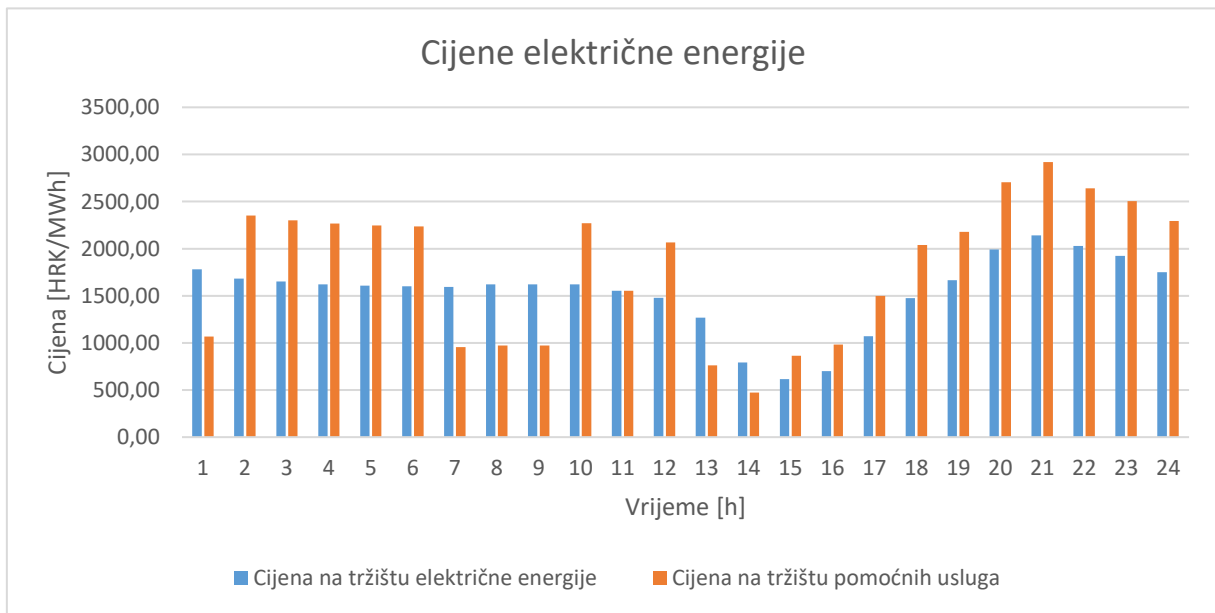


Slika 7.31. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja na tržištu električne energije i pomoćnih usluga

7.8. Rezultati simulacije za 27.03.2022. god. (neradni dan)



Slika 7.32 Prosječna proizvodnja fotonaponske elektrane [16]

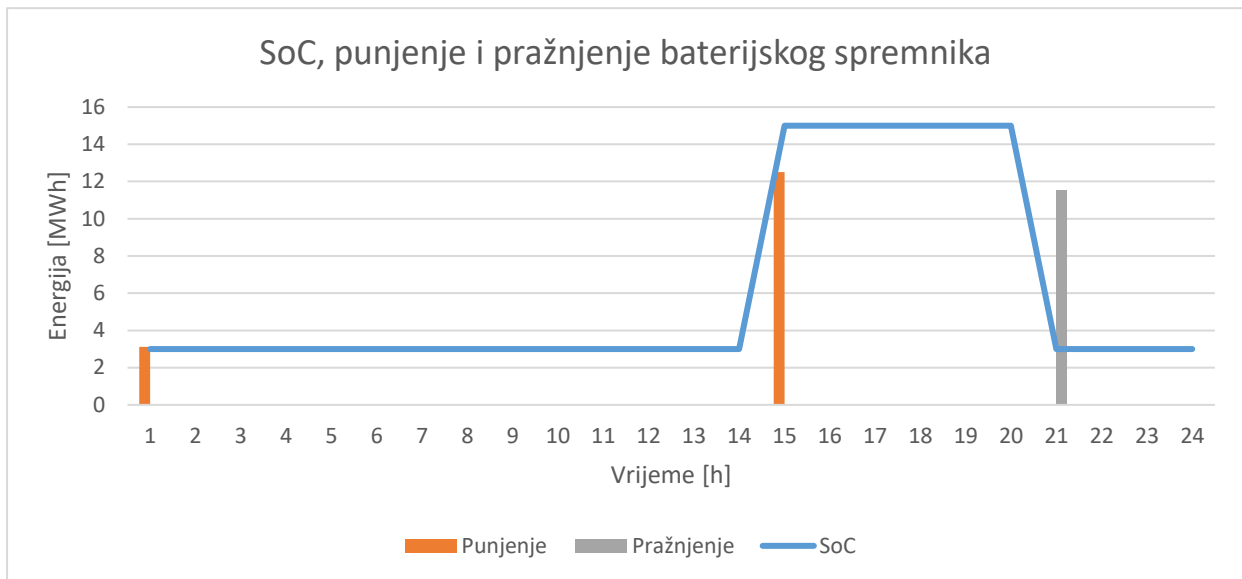


Slika 7.33 Cijena energije na tržištu za 27.03.2022. god. [4] [17]

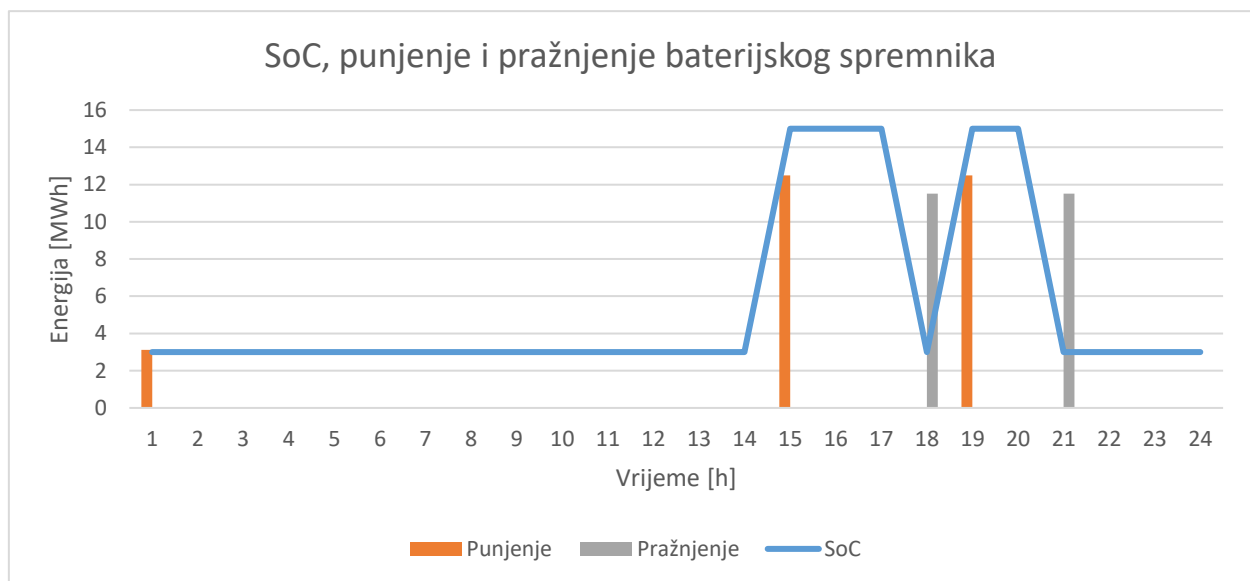
Tablica 7.8. Kupljena/prodana energija za dan 27.03.2022 god.

	Trgovanje samo na tržištu električne energije		Trgovanje na energetsom i tržištu pomoćnih usluga		
	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Prihod [HRK]	Energija kupljena(-) /prodana(+) na energetsom tržištu [kWh]	Energija prodana na tržištu pomoćnih usluga [kWh]	Prihod [HRK]
t1	-3529,52	-6284,38	-3529,52		-6284,38
t2	-375,45	-631,31	-375,45		-631,31
t3	-370,50	-612,24	-370,50		-612,24
t4	-323,53	-524,62	-323,53		-524,62
t5	-310,13	-498,16	-310,13		-498,16
t6	-234,14	-374,48	-234,14		-374,48
t7	391,03	623,09	391,03		623,09
t8	651,82	1057,02	651,82		1057,02
t9	1340,16	2173,77	1340,16		2173,77
t10	1662,45	2696,44	1662,45		2696,44
t11	2140,26	3324,62	2140,26		3324,62
t12	935,23	1381,96	935,23		1381,96
t13	1081,17	1372,42	1081,17		1372,42
t14	949,71	751,67	949,71		751,67
t15	-11390,64	-7025,06	-11390,64		-7025,06
t16	332,27	233,07		332,27	326,06
t17	-172,66	-185,23	-172,66		-185,23
t18	-430,79	-635,92		11089,21	22610,45
t19	-438,49	-730,91	-12938,49		-21566,79
t20	-1621,56	-3231,02	-1621,56		-3231,02
t21	10298,86	22036,89	10298,86		22036,89
t22	-607,99	-1233,28	-607,99		-1233,28
t23	-583,54	-1123,01	-583,54		-1123,01
t24	-1045,60	-1829,24	-1045,60		-1829,24
Σ		10732,09			13235,58

Analizom podataka dobivenih simulacijom modela vidljivo je da je za dan 27.03.2022. ostvaren profit pri oba načina trgovanja. Usporedbom cijena nastup na tržištu pomoćnih usluga je pogodan za ostvarivanje profita, ali ne u jutarnjim satima, te nije vidljiva značajnija razlika u profitu u odnosu na trgovanje samo na tržištu električne energije.



Slika 7.34. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja samo na tržištu električne energije



Slika 7.35. Stanje napunjenosti, punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika za vrijeme trgovanja na tržištu električne energije i pomoćnih usluga

8. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljen optimizacijski model nastupa agregatora umreženih baterijskih spremnika i fotonaponskog sustava na energetsom i tržištu pomoćnih usluga. Model se primjenjuje u slučaju trgovanja samo na energetsom tržištu i u slučaju nastupa na tržištu električne energije i pomoćnih usluga.

Pri nastupu isključivo na energetsom tržištu stvaraju se značajni troškovi zbog opskrbe aktivnih kupaca energijom. Vidljivo je da je radnim danima jako teško ostvariti profit pri trgovanju na tržištu, dok je vikendom značajno lakše nastupiti na tržište i ostvariti profit, a glavni razlog tome je značajan utjecaj potrošnje električne energije radnim danima te visoka cijena energije na tržištu tim danima. Moguće rješenje je instalacija fotonaponske elektrane veće snage, što znači veću proizvodnju električne energije, ali u nekim slučajevima to nije moguće zbog dodatnih zahtjeva za prostorom instalacije fotonaponskih panela i financijskih mogućnosti (veća cijena zbog broja instaliranih panela ili zbog instalacije panela većeg faktora iskorištenja pretvorbe energije). Ovim načinom nastupa na tržištu je jako teško opravdati i pokriti uložene resurse pri izgradnji umreženog sustava baterijskih spremnika i fotonaponskog sustava.

Pri nastupu na energetsom i tržištu pomoćnih usluga ostvaruje se veći prihod zbog pogodnije cijene električne energije na tržištu pomoćnih usluga u odnosu na tržište električne energije (razlika cijene u odnosu na energetska tržišta je oko 30%). Ta razlika u cijeni predstavlja bonus zbog vršenja pomoćne usluge. Analizom razlike između trgovanja radnim i neradnim danima moguće je zamijetiti da je i u ovome slučaju značajno lakše ostvariti profit neradnim danima (vikendom). Pri sudjelovanju na tržištu pomoćnih usluga potrebno je obratiti pažnju na brzinu aktivacije usluge te ostvarivanja odgovarajuće rezerve energije koju sustav mora imati kako bi u svakom trenutku mogao pružati pomoćnu uslugu jer postoji mogućnost kažnjavanja ako se za dogovoreno vrijeme vršenja pomoćne usluge ne aktivira dogovoreni iznos snage u određenom vremenu. Međutim, ovaj slučaj predstavlja profitabilan način nastupa na tržištu kako bi se povećala proizvodnja energije putem obnovljivih izvora i stvorila veća konkurentnost na tržištu energije.

9. SAŽETAK

U ovom radu dan opis tržišta električne energije i njegovih sudionika, objašnjen je pojam aktivnog kupca kao sudionika na tržištu, te agregatora. Objašnjena je mogućnost vršenja pomoćnih usluga u elektroenergetskom sustavu i način nastupa na tržištu pomoćnih usluga te temeljne karakteristike za mogućnost pružanja pomoćnih usluga. Izvršen je opis fotonaponskih sustava te utjecaj obnovljivih izvora na EES. Opisani su različiti tipovi baterijskih spremnika, te je zasebno opisan Li-ion tip baterijskih spremnika korišten za izradu modela. Opisan je matematički model agregatora umreženih baterijskih spremnika i fotonaponskog sustava za nastup na energetsko i tržište pomoćnih usluga te su prikazani rezultati dobiveni simulacijom modela.

10. ABSTRACT

This paper describes the power market and its participants, explains the concept of an prosumer as a market participant, and an aggregator. The possibility of performing ancillary services in the electric power system and the way of trading on the market of ancillary services, as well as the basic characteristics for the possibility of providing ancillary services, are explained. Photovoltaic systems are described and the influence of renewable sources on EES. Different types of batteries are described, and the Li-ion type of batteries used to make the model is described separately. The mathematical model of the aggregator of combined battery systems and photovoltaic systems for entry into the power and ancillary services market is described, and the results obtained from the model simulation are presented.

11. LITERATURA

- [1] S. Nikolovski, K. Fekete, G. Knežević i Z. Stanić, Uvod u tržište električne energije, Osijek: Grafika d.o.o., 2010.
- [2] »Zakon o tržištu električne energije, dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2021_10_111_1940.html«.
- [3] »Introduction to electricity markets, its balancing mechanism and the role of renewable sources, dostupno na: <https://jesuslago.com/introduction-to-the-electrical-markets/>,« Jesus Lago, 2017.
- [4] »Hrvatska burza električne energije d.o.o. (CROPEX), dostupno na: <https://www.cropex.hr/hr/>«.
- [5] »HOPS, Tržište električne energije, dostupno na: <https://www.hops.hr/trziste-el-energije>«.
- [6] I. H. T. I. I. M.Beus, »Modeli za sudjelovanje agregatora distribuiranih pružatelja usluga fleksibilnosti na tržištu električne energije u Republici Hrvatskoj, dostupno na: <https://www.ho-cired.hr/images/OPATIJA2018/Prezentacije/SO6/Prezentacija-SO6-03.pdf>«.
- [7] »HOPS, Verifikacijski postupak za pružanje pomoćnih usluga aFRR i mFRR, dostupno na: https://www.hops.hr/page-file/r6znzT4lUf0ZnYhr03y8XA/pretkvalifikacijski-postupak/Verifikacijski_postupak_za_pru%C2%BAanje_usluga_uravnok%C2%BAenja_aFRR_i_mFRR.pdf«.
- [8] »European Commission, 2030 climate & energy framework, dostupno na: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en«.
- [9] »International Renewable Energy Agency, Solar energy, dostupno na: <https://www.irena.org/solar>«.
- [10] M. A. V. M. ., M. M. M. B. Askari, »Types of Solar Cells and Application,« *American Journal of Optics and Photonics*, 2015.

- [11] »Solar batteries & storage, Naked solar, dostupno na: <https://naked solar.co.uk/storage/>«.
- [12] T. M. J. Š. I. Đurić, »Baterijski spremnici električne energije u distribucijskoj mreži, dostupno na: https://www.ho-cired.hr/images/OPATIJA2018/Referati_po_studijskim_odborima/SO5/SO5-17.pdf«.
- [13] International Electrotechnical Commission, »Electrical energy storage,« [Mrežno]. Available: https://storage-iecwebsite-prd-iec-ch.s3.eu-west-1.amazonaws.com/2019-09/content/media/files/iec_wp-electrical_energy_storage-en.pdf.
- [14] T. D. L. N. Tsiropoulos I., »European Commission, Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications, dostupno na: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e65c072a-f389-11e8-9982-01aa75ed71a1>«.
- [15] »Freedom Won LiTE Home 15/12 , dostupno na: <https://www.freedomwon.co.za/home-15-12/>«.
- [16] »Photovoltaic Geographical Information System, dostupno na: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/«.
- [17] »ENTSO-E Transparency Platform, dostupno na: <https://transparency.entsoe.eu/>«.
- [18] P. A. T. R. X. Wang, »Use of LiFePO₄ Batteries in Stand-Alone Solar System,« u *Energy Procedia*, 2012, pp. 135-140.
- [19] »European Commission, 2050 long-term strategy, dostupno na: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en«.

12. ŽIVOTOPIS

Ilija Jukić rođen je 21.08.1997. godine u Travniku. Završio je Osnovnu školu „Žepče“ u Žepču te upisuje Tehničko – obrtničku školu u Katoličkom školskom centru „Don Bosco“ u Žepču, smjer Mehatronika. Nakon srednje škole upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, te pohađa preddiplomski studij Elektrotehnike, smjer Elektroenergetika. Preddiplomski studij završava 2020. i stječe naziv univ. bacc. ing. te upisuje i diplomski studij elektroenergetike, modul elektroenergetski sustavi.

Kroz školovanje i samostalno obrazovanje je naučio raditi u mnogim računalnim programima važnim za njegovu struku. Neki od njih su: AutoCAD, MS Office, Easy Power, Matlab, PowerFactory.

Od stranih jezika poznaje engleski u govoru i pismu.

Ilija Jukić