

# Planiranje rada stacionarnog spremnika energije u sustavu s fotonaponskim elektranama

---

**Maligec, Monika**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:737208>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-08**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**PLANIRANJE RADA STACIONARNOG SPREMNIKA  
ENERGIJE U SUSTAVU S FOTONAPONSKIM  
ELEKTRANAMA**

**Diplomski rad**

**Monika Maligec**

**Osijek, 2020**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Osijek, 12.07.2020.

**Odboru za završne i diplomske ispite****Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Monika Maligec
<b>Studij, smjer:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	D-1185, 17.09.2019.
<b>OIB studenta:</b>	24204948367
<b>Mentor:</b>	Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	Izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	Izv. prof. dr. sc. Danijel Topić
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Planiranje rada stacionarnog spremnika energije u sustavu s fotonaponskim elektranama
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	U diplomskom radu potrebno je objasniti stacionarne spremnike energije te načine njihovog modeliranja za potrebe izrada optimizacijskih modela. Nadalje, potrebno je izraditi optimizacijski model sustava baterijskog spremnika energije i fotonaponske elektrane za planiranje optimalnog rada promatranog sustava s obzirom na tržišne uvjete trgovanja električnom energijom. (Tema rezervirana za: Monika Maligec)
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	12.07.2020.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 23.07.2020.

**Ime i prezime studenta:**

Monika Maligec

**Studij:**

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

D-1185, 17.09.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

9

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Planiranje rada stacionarnog spremnika energije u sustavu s fotonaponskim elektranama**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	2
1.1 ZADATAK DIPLOMSKOG RADA .....	3
<b>2. PREGLED LITERATURE U PODRUČJU ISTRAŽIVANJA STACIONARNOG SPREMNIKA ENERGIJE</b> .....	3
<b>3. SUSTAVI ZA POHRANU ENERGIJE</b> .....	4
3.1 SPREMNICI ENERGIJE .....	4
3.2 BATERIJA.....	5
3.2.1 PODJELA BATERIJA .....	5
3.2.2. PRAŽNENJE I PUNJENJE BATERIJE .....	6
3.3 SPREMNICI ENERGIJE U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU.....	11
3.3.1 OSNOVNI POJMOVI I KARAKTERISTIČNE VELIČINE SPREMNIKA .....	12
3.3.2 BATERIJSKI SPREMNICI .....	13
3.4 PRIMJENA BATERIJSKIH SPREMNIKA ELEKTRIČNE ENERGIJE .....	15
3.4.1 SVIJET I EUROPA .....	15
3.4.2 HRVATSKA.....	16
<b>4. MATEMATIČKI OPIS MODELA</b> .....	17
4.1 FUNKCIJA CILJA ZA MAKSIMIZACIJU DOBITI ZA TRŽIŠTE DAN UNAPRIJED .....	17
<b>5. REZULTATI SIMULACIJE</b> .....	20
5.1 Scenarij za dan 21.05.2020. s budućom cijenom 20 EUR/MWh .....	21
5.2 Scenarij za dan 21.05.2020. s budućom cijenom 20 EUR/MWh i smanjenom potrošnjom za 25% .....	34
5.3 Scenarij za dan 21.05 s budućom cijenom 35 EUR/MWh .....	36
5.4 Scenarij za dan 21.05.2020. s budućom cijenom 35 EUR/MWh i smanjenom potrošnjom za 25% .....	44
5.5 Scenarij za dan 10.05.2020. s budućom cijenom 30 EUR/MWh .....	47
5.6 Scenarij za dan 10.05.2020. s budućom cijenom 30 EUR/MWh i smanjenom potrošnjom za 25% .....	57
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	59
<b>7. SAŽETAK</b> .....	61
<b>8. ABSTRACT</b> .....	62
<b>9. LITERATURA</b> .....	63
<b>10. ŽIVOTOPIS</b> .....	64

# 1. UVOD

Svakodnevni porast ljudske populacije na Zemlji vodi globalnom povećanju potražnje električne energije. Globalno povećanje potrošnje električne energije ne mora nužno značiti povećanje zagađenja zraka korištenjem fosilnih goriva. Politika globalnih energetske aktera trebala bi ići ka smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima i okrenuti se obnovljivim izvorima energije. Cilj Europske unije je da do 2050. godine smanji emisiju CO<sub>2</sub> između 80 i 95%. Tim bi se smanjenjem postigla klimatsko neutralna Europa. Republika Hrvatska kao jedna od članica EU slijedi direktivu i donosi pravilnik u kojem nZEB (gotovo nula energije zgrada) prvi put se spominje 2015. godine, a od 2019. postaje obavezan za sve energetske učinkovite objekte. U pravilniku je navedeno da minimalno 20% korištene energije mora biti dobiveno iz obnovljivih izvora. Prethodno pasivni potrošači električne energije integriranjem obnovljivih izvora u privatnom vlasništvu postaju kupci sa svojom vlastitom proizvodnjom tj. postaju aktivni kupci (engl. prosumer). Kako bi se povećao profit, aktivni kupac može sudjelovati na tržištu električne energije. U ovom radu prikazan je model dobivanja optimalne tržišne ponude za tržište dan unaprijed za grupu aktivnih kupaca koje predstavlja jedan virtualni aktivni kupac. Pretpostavlja se da aktivni kupac na raspolaganju ima baterijski spremnik koji mu osigurava fleksibilnost u upravljanju energijom i omogućava dodatni prihod na tržištu električne energije. Matematički model daje opis optimalnog plana korištenja baterijskog spremnika kako bi se postigao maksimalni profit na tržištu dan unaprijed. Virtualni aktivni kupac zastupa naselje od 1000 kuća od kojih 700 kuća na svojim krovovima posjeduje fotonaponsku elektranu od 10 kW po svakom krovu. Pretpostavlja se da se sav višak električne energije proizveden od prosumera može prodati na tržištu električne energije i da se dovoljno može kupiti na istom tržištu. Cijene električne energije pretpostavljaju se na osnovu cijena prethodnih dana koje se nalaze na Hrvatskoj burzi električne energije (CROPEX). CROPEX je organiziran kao tržište dan unaprijed i unutardnevno tržište. Trgovanje na tržištu dan unaprijed odvija se putem središnje aukcije koja se održava svaki dan kako bi se sljedećeg dana isporučila električna energija. Za izračunavanje tržišne cijene koristi se uniformna aukcija.

Ovaj diplomski rad sastoji se od 6 poglavlja. Drugo poglavlje daje pregled literature korištene u području istraživanja stacionarnog spremnika energije. U trećem poglavlju dana je teorijska podloga baterijskog spremnika električne energije, dok je u četvrtom poglavlju predstavljen matematički model baterijskog spremnika. Peto poglavlje donosi prikazane rezultate simulacije koja je izvršena na dva različita dana u tjednu, te su u šestom poglavlju uspoređene i komentirane krajnje dobiti zastupnika baterijskog spremnika.

## 1.1 ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

U diplomskom radu potrebno je objasniti stacionarne spremnike energije te načine njihovog modeliranja za potrebe izrada optimizacijskih modela. Nadalje, potrebno je izraditi optimizacijski model sustava baterijskog spremnika energije i fotonaponske elektrane za planiranje optimalnog rada promatranog sustava s obzirom na tržišne uvjete trgovanja električnom energijom.

## **2. PREGLED LITERATURE U PODRUČJU ISTRAŽIVANJA STACIONARNOG SPREMNIKA ENERGIJE**

Autori Luburić, Pandžić, Bašić i Plavšić u literaturi [1] predstavili su sustav vođenja elektroenergetskog sustava (EES) uz pomoć spremnika energije. Dan je kratki osvrt na podjelu spremnika i individualno je opisana svaka vrsta spremnika. Budući da ovaj diplomski rad istražuje i opisuje baterije kao glavne spremnike energije, tako je detaljan opis, konstrukcija i ponašanje baterije opisan pomoću literature [2]. Materijali koji se koriste kako bi baterije imale što bolji učinak i bile ekonomski isplative opisane su literaturom [3]. Opisujući baterije vrlo je važno obratiti pozornost na proces njezinog punjenja i pražnjenja. Koliko je baterija napunjena te koliko puta se može puniti i prazniti predstavlja ključne elemente za životni vijek jedne baterije. Upravu su ti elementi opisani u literaturi [4]. Danas se u mrežu iz različitih razloga sve više ugrađuju baterije. Sve ono što baterija osigurava EES-u, koji su to njezini nazivni podaci te koji dijelovi čine baterijski sustav za pohranjivanje električne energije prikazano je u literaturi [5]. Prilikom priključivanja baterijskog spremnika na elektroenergetski sustav moraju se slijediti određena pravila. Koje uvjete mora zadovoljavati baterija kako bi priključak bio uspješan prikazuje literatura broj [6]. Literatura [7] prikazuje predviđanja korištenja, postavljanja i udjela baterijskih spremnika na tržištu za naredna desetljeća. U drugim europskim i svjetskim zemljama daleko je veći udio električne energije proizvedene solarnim elektranama. U kojim zemljama je najveća proizvodnja, kakva je njihova budućnost te kolika im je proizvodnja saznajemo iz literature [8] i [9]. Za provedenu analizu u programu Matlab korišteni su podaci tržišne cijene električne energije koji se mogu pronaći na web stranici CROPEX-a naznačenoj u literaturi pod brojem [10].

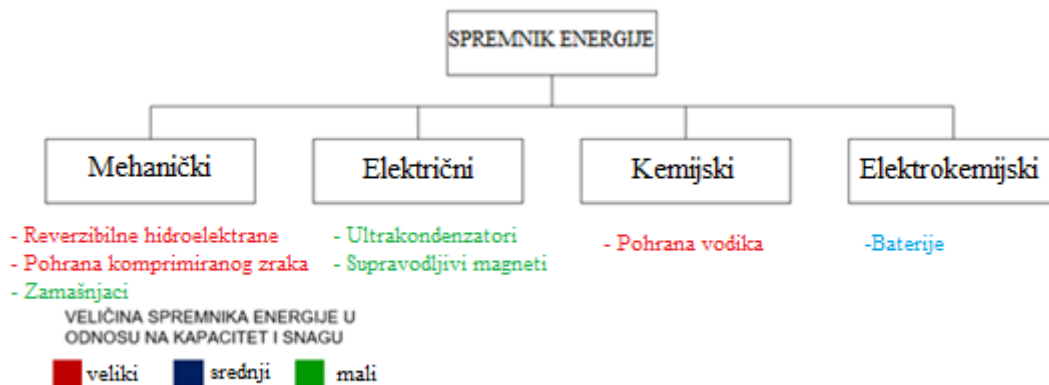


### 3. SUSTAVI ZA POHRANU ENERGIJE

#### 3.1 SPREMNICI ENERGIJE

Električna energija oblik je energije dobivene transformacijom iz nekog oblika primarne energije koji se nalazi u prirodi. Pohrana takve vrste energije nije moguća, već ju je potrebno pretvoriti u oblik energije koja ima sposobnost pohrane. Takva energija sprema se u tzv. spremnike energije (SE).

Postoje različiti oblici energija koje posjeduju mogućnost skladištenja. Takvi oblici su: mehanička, elektromagnetska, elektrokemijska i toplinska energija. Iako se svi ovi oblici energije mogu primijeniti u procesu transformacije i skladištenja samo se neki od oblika smatraju pogodnim za primjenu u elektroenergetskom sustavu (EES). [1]



Slika 1. Klasifikacija tehnologija spremnika energije

Osnovna podjela spremnika energije s obzirom na potrebe nekog EES-a odnosi se na kapacitet i snagu spremnika. Razlikujemo velike, srednje i male kapacitete te velike, srednje i male snage spremnika. Baterijski spremnici pripadaju skupini srednjeg kapaciteta i snaga i izvedeni su kao elektrokemijski spremnici energije. [1]

## 3.2 BATERIJA

Serijsko-paralelna izvedba elektrokemijskih članova danas poznatija kao baterija jedna je od najčešćih i najzastupljenijih spremnika energije. Otkrivena još 1800. godine kao kombinacija metala i elektrolita ima najdužu povijesnu primjenu. Prema [1], „Baterija je uređaj koji pretvara kemijsku energiju pohranjenu u aktivnim materijalima direktno u električnu energiju pomoću redox reakcije.“ Naziv baterija u današnje vrijeme najčešće je korišten, no pravilniji elektrokemijski naziv bila bi ćelija. Prema [2], „Baterija se sastoji od jedne ili više ćelija, spojenih serijski ili paralelno ovisno o željenom izlaznom naponu i kapacitetu.“

Prema [2] „elektrokemijski članak sastoji se od tri glavne komponente:

- Anoda (negativna elektroda) – oksidira tijekom kemijske reakcije, otpušta elektrone
- Katoda (pozitivna elektroda) – prihvaća elektrone
- Elektrolit – medij (najčešće tekućina ) koji osigurava prijenos iona između anode i katode/spremnika kemijske energije“

### 3.2.1 PODJELA BATERIJA

Osnovna podjela baterija bazirana je na njihovoj mogućnosti ili ne mogućnosti punjenja. Tako razlikujemo primarne i sekundarne baterije. Glavna razlika između primarnih i sekundarnih baterija je ta što kod primarnih baterija ne postoji mogućnost punjenja, dok su sekundarne baterije punjive [1].

Primarne baterije i ćelije nemaju mogućnost ponovnog punjenja te se nakon pražnjenja odbacuju. U većini primarnih ćelija elektrolit je sadržan unutar materijala ili separatora. Upravo zbog toga nema slobodnog ili tekućeg elektrolita te se te ćelije nazivaju „suhe ćelije“. Prednost primarnih baterija je dugo vrijeme skladištenja, niski zahtjevi za održavanjem i visoka gustoća energije pri umjereno niskim stopama pražnjenja. Primjenjuju se kao praktični, jeftini i lagani izvori električne energije za prijenosne električne i elektroničke uređaje, rasvjetu i sl. Većina primarnih baterija sastoji se od jedne ćelije i cilindričnog su oblika. [2]

Sekundarne baterije ili ćelije imaju mogućnost električnog punjenja na njihovo početno stanje. Punjenje se izvršava tako što se na njih narine struja suprotnog smjera od onog struje pražnjenja baterije. Sekundarne baterije poznate su pod nazivom akumulatori. Dvije su primjeren sekundarnih baterija:

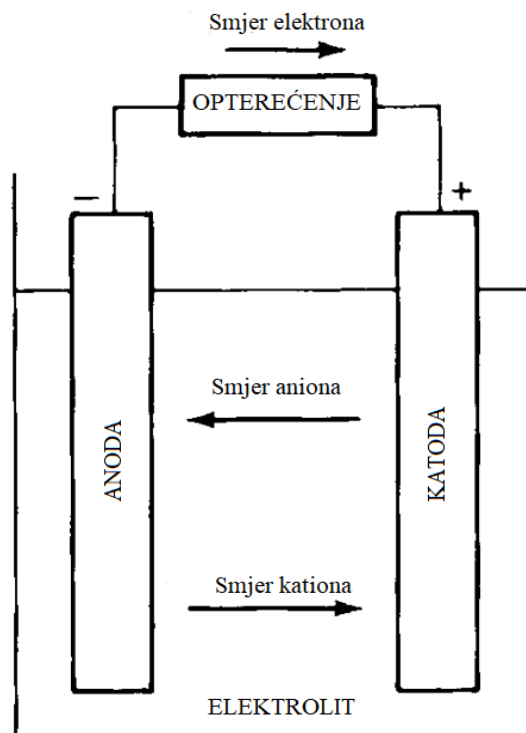
1. „Primjena u kojima sekundarne baterije služe kao spremnici energije koju su uglavnom spojeni i pune se putem glavnog izvora energije i predaju akumuliranu energiju po potrebi. Primjeri su: sustavi stacionarnog spremanja energije za održavanje konstantne razine električne energije, automobilska industrija, brzi sustavi napajanja, pričuvni sustavi energije, hibridna vozila itd.“ [2]

2. „Primjena u kojima su sekundarne baterije korištene kao primarni izvor energije i koriste se kao primarne baterije, ali se nakon korištenja ponovno pune. Primjer: električna vozila, gdje je ekonomičnije koristiti punjivu bateriju umjesto odbacivanja primarne i u primjenama gdje zahtjevi za energijom nadilaze one koje mogu predati primarne baterije.“ [2]

Najčešći oblici sekundarnih baterija su nickel-cadmium (NiCd), Nickel-metal hydride (NiMH), te Lithium-ion (LiOn). Upravo ovim redoslijedom kako su i navedene korištene su kroz povijest. NiCd izvedba imala je problem memorijskog efekta, odnosno svaki su se puta morale napuniti i isprazniti do kraja inače bi izgubile kapacitet. NiMH su imale nešto veći kapacitet i nisu imale problem memorijskog efekta, ali im je životni vijek bio kratak tako da ekonomski nisu bile isplative. Danas najpopularnije LiOn baterije pokazale su se kao najbolja varijanta. Nešto im je manji kapacitet, no tehnologija izrade jednostavnija je, manjih su dimenzija, lakše su, te imaju ciklus od 1000 punjenja i pražnjenja. [3]

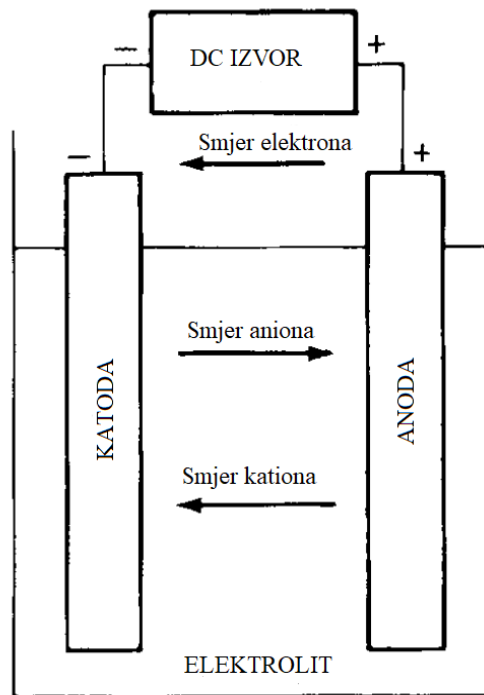
### 3.2.2. PRAŽNENJE I PUNJENJE BATERIJE

Pražnjenje započinje kada se ćelija spoji na vanjsko opterećenje. Na slici 2. Prikazano je pražnjenje ćelije. „Elektroni počinju teći od anode koja oksidira, kroz vanjsko trošilo do katode koja prihvaća elektrone i materijal katode se reducira. Strujni krug zatvoren je pomoću elektrolita u kojem anioni teku od katode do anode i kationi od anode do katode.“ [2]



Slika 2. Pražnjenje ćelije [2]

Nakon što se ćelija ispraznila, potrebno ju je ponovno napuniti. „Tijekom punjenja struja teče u suprotnom smjeru od smjera pražnjenja. Proces oksidacije javlja se na pozitivnoj elektrodi, a proces redukcije na negativnoj elektrodi. Redukcija je suprotna reakcija od oksidacije, kod koje dolazi do otpuštanja elektrona prilikom čega atomi postaju pozitivno nabijeni ioni tj. kationi.“ Na slici 3. prikazan je proces punjenja ćelije. [2]



Slika 3. Punjenje ćelije [2]

Baterijama koje su korištene u mreži za skladištenje energije ili za održavanje stabilnosti mreže vrlo je važno poznavati i mjeriti razinu napunjenosti ćelije (eng. State of charge- SOC). SOC se definira kao dostupnost kapaciteta izražena u Ampersatima (Ah) i izražava se postotno u odnosu na nazivni kapacitet. Uz SOC vrlo je važno definirati i životni vijek baterije (eng. State of health- SOH) koja predstavlja mjeru sposobnosti baterije za spremanje i isporuku električne energije. [4]

SOC procjena jedna je od glavnih zadataka kako bi se poboljšao sam sustav i njegova pouzdanost te ujedno i produžio vijek trajanja baterije. Takva procjena omogućava prevenciju kako baterija ne bi bila prepunjena ili premalo napunjena. Upravo takve situacije dovode do oštećenja strukture baterije. [4]

Za određivanje SOC-a potrebno je točno izmjeriti struju unutar i izvan ćelije, sve radne uvijete i individualne napone svih ćelija unutar oklopa. Dodatni podaci zahtijevani za izračun SOC-a uključuju temperaturu ćelije ovisno radi li se o punjenju ili pražnjenju, starost ćelije te ostale parametre dane od strane proizvođača. [4]

SOC i SOH procjena može se izvršiti na tri različita načina:

- Coulombova metoda brojanja
- Naponska metoda
- Kalmanova filter metoda

Coulombova metoda brojanja poznata pod nazivom Ah brojanje i strujna integracija najzastupljenija je tehnika računanja SOC-a. Ova metoda matematički koristi očitavanja struje baterije integrirana tijekom razdoblja upotrebe za izračun danih SOC vrijednosti.

$$\text{SOC} = \text{SOC } t_0 + \frac{1}{C_{\text{nazivno}}} \int_{t_0}^{t_0 + \tau} (I_b - I_{\text{gubitaka}}) dt \quad (1.1)$$

Gdje je:

- $\text{SOC } t_0$  početna vrijednost napunjenosti baterije
- $C_{\text{nazivno}}$  očitana vrijednost kapaciteta baterije
- $I_b$  struja baterije
- $I_{\text{gubitaka}}$  struja uzrokovana gubicima u reakciji

Metoda izračunava preostali kapacitet jednostavno akumuliranjem naboja pretočenog u bateriju ili izvan nje. Točnost ove metode pribjegava se prvenstveno preciznom mjerenju struje akumulatora i točnoj procjeni početnog stanja napunjenosti. Ukoliko nam je unaprijed poznat kapacitet koji bi mogao ostati zapamćen ili u početku procijenjen prema radnim uvjetima može se izračunati SOC baterije integrirajući punjenje i pražnjenje struja preko vremenskog razdoblja. Međutim, postoje gubici tijekom punjenja i pražnjenja. Ti gubici zajedno s gubicima samopražnjenja uzrokuju ogromne pogreške. Za preciznije određivanje SOC-a ti faktori trebali bi se uzimati u obzir. [4]

Osim Coulombove metode brojanja preostali kapacitet baterije može se odrediti pomoću ispitivanja pražnjenja u kontroliranim uvjetima. Naponska metoda pretvara vrijednost napona baterije u ekvivalentnu vrijednost kapaciteta koristeći poznatu krivulju pražnjenja. Krivulja predstavlja ovisnost napona u odnosu na preostali kapacitet baterije. Međutim, na napon značajnije utječe struja akumulatora zbog elektrokemijske reakcije i temperature baterije. Upravo zbog značajnih nedostataka naponska metoda zahtjevnija je za izvedbu. [4]

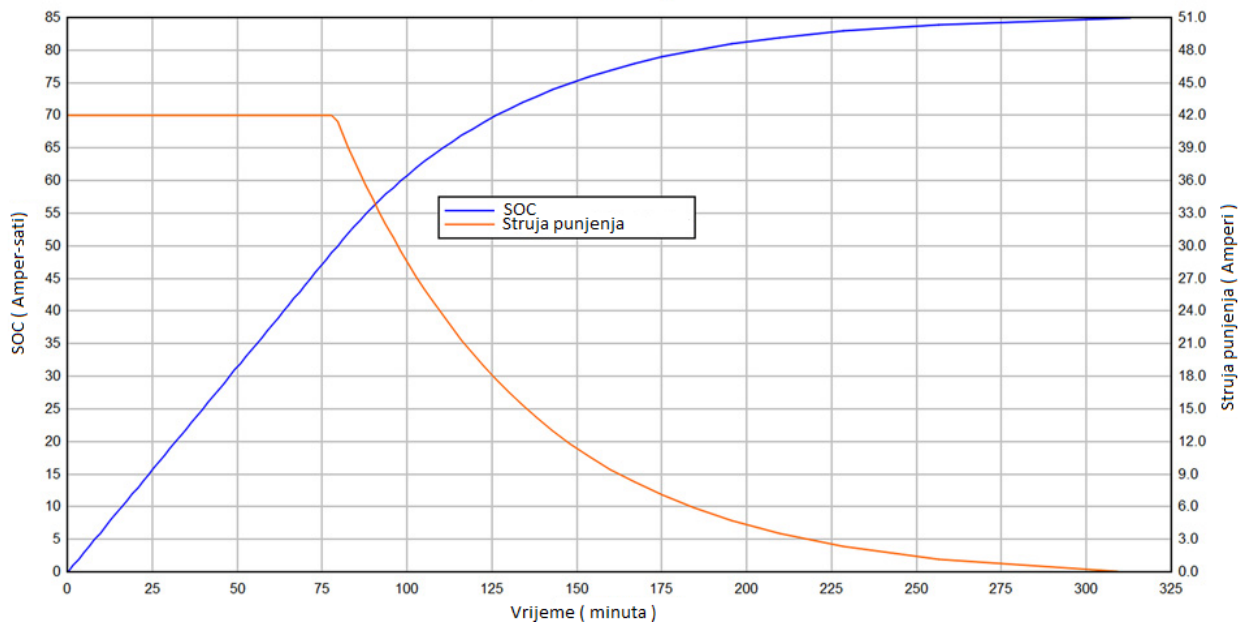
Kalmanova filter metoda predstavlja algoritam za procjenu unutarnjeg stanja bilo kojeg dinamičkog sustava, također može se koristiti i za procjenu preostalog kapaciteta baterije. U usporedbi s drugim pristupima procjene preostalog kapaciteta Kalmanova filter metoda automatski pruža dinamičke granice pogreške na vlastitim procjenama stanja. Modeliranjem baterijskog sustava kako bi uključio tražene nepoznate količine kao što je npr. SOC ova metoda u svom opisu procjenjuje njihove vrijednosti i daje granice pogreške na samim procjenama. Ovaj model utemeljen je na tehnikama procjene koji ispravlja pogreške kako bi očitao stvarnu vrijednost preostalog kapaciteta. [4]

Tehnički pristup izračunavanja preostalog kapaciteta (SOC) temelji se na omjeru oslobođenog kapaciteta ( $C_{oslobođeno}$ ) koji predstavlja kapacitet kada je baterija potpuno ispražnjena i nazivnog kapaciteta ( $C_{nazivno}$ ) dan od strane proizvođača.

$$SOC = \frac{C_{oslobođeno}}{C_{nazivno}} * 100\% \quad (1.2)$$

Potpuno napunjena baterija posjeduje svoj maksimalni kapacitet ( $C_{max}$ ) oslobađanja koji se može razlikovati od nazivnog kapaciteta. Općenito,  $C_{max}$  se u određenoj mjeri razlikuje od nazivnog kapaciteta za potpuno novu bateriju i odbijati će se vremenom korištenja baterije. Može se koristiti za određivanje SOH-a baterije.

$$SOH = \frac{C_{max}}{C_{nazivno}} * 100\% \quad (1.3)$$



Slika 4. Ovisnost SOC-a i struje punjenja o vremenu [4]

U procesu pražnjenja baterija, dubina pražnjenja (engl. Depth of discharge- DOD) izražava se kao postotak ispražnjenog kapaciteta u odnosu na nazivni kapacitet.

$$DOD = \frac{C_{oslobođeno}}{C_{nazivni}} * 100\% \quad (1.4)$$

Koeficijenti učinkovitosti punjenja i pražnjenja dobiveni su iz prosječne vrijednosti nekoliko testiranih baterija. Učinkovitost baterije može se procijeniti prema Coulombovoj učinkovitosti koja se definira kao omjer broja punjenja koja se mogu izvući iz baterije tijekom procesa pražnjenja, u odnosu na broj naboja koji ulaze u bateriju tijekom procesa punjenja.

Učinkovitost punjenja baterije dana je sljedećim izrazom:

$$\eta = \frac{C_{pražnjenja,nazivno\ min}}{C_{punjenja,nazivno\ max}} \quad (1.5)$$

Učinkovitost pražnjenja baterije definira se izrazom:

$$\eta = \frac{(I_1 * T_1) + (I_2 * T_2)}{C_{max}} \quad (1.6)$$

Gdje su:

- $I_1, I_2, T_1, T_2$  struje i periodi pražnjenja tijekom prve i druge faze.

Sekundarne baterije svoju primjenu nalaze upravo u EES-u zbog mogućnosti punjenja i pražnjenja, odnosno ovakve baterije mogu preuzeti ulogu tereta i izvora u sustavu. [1]

### 3.3 SPREMNICI ENERGIJE U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU

Kako ljudi i priroda, tako i elektroenergetski sustav osjeti posljedice klimatskih promjena. Dolaskom do velikih promjena kao što je smanjenje proizvodnje električne energije iz termoelektrana na ugljen i mazut, u EES ulaze sve više obnovljivi izvori energije. Najzastupljeniji oblik obnovljivih izvora energije dakako su vjetroelektrane te ih slijede solarne elektrane. Solarne elektrane svoju su uporabu u EES-u našle upravo zbog mogućnosti integracije velikih spremnika energije snage desetak i više MW. Prema [5] spremnici energije koriste se za velik broj zahtjeva mreže (pomoćnih usluga) kao što su:

- „Upravljanje zagušenjima – Zagušenje u mreži predstavlja stanje u kojem se pogon u prijenosnom sustavu odvija na granici jednog ili više ograničenja. Kada dođe do takvog stanja operator sustava provodi mjere fizičkog upravljanja zagušenjima. Za fizičko upravljanje zagušenja koristi elemente vlastite mreže koji su mu na raspolaganju ili daje naloge elektranama za promjenu proizvodnje, tzv. preraspodjela proizvodnje. Obje metode kao rezultat daju promjenu tokova snaga u mreži pri čemu dolazi do rasterećenja ugroženih dijelova.“
- „Dnevno uravnoteženje – Dnevno uravnoteženje EES-a predstavlja izravnavanje dnevnog dijagrama opterećenja. To znači da u vrijeme niskog opterećenja električna energija pohranjuje se u spremnicima energije, a kada u periodu vršnog opterećenja električna energija iz baterije predaje se u mrežu.“
- „Frekvencijska stabilnost (sekundarna i tercijarna rezerva) – Frekvencijskoj stabilnosti uvelike doprinose spremnici energije posebice ukoliko je velika neravnoteža između proizvodnje i potrošnje. Ukoliko u sustavima s velikim instaliranim kapacitetom obnovljivih izvora dođe do nagle promjene u njihovoj proizvodnji dolazi do pada ili rasta frekvencije sustava. Operator sustava tada daje zahtjev za aktiviranje tercijarne rezerve, a sekundarna rezerva automatski ispravlja nepravilnosti u sustavu. Istraživanja su pokazala kako baterijski spremnici energije kapaciteta 10 MW do 400 MW mogu biti korišteni 20 do 50 puta godišnje za pružanje usluge sekundarne rezerve.“
- Naponska stabilnost (prijenosna i distribucijska stabilizacija) – Naponska stabilnost stanje je sustava koje se u normalnom pogonu ili nakon djelovanja poremećaja održava u dopuštenim granicama. Propad napona posljedica je poremećaja zbog nemogućnosti isporuke jalove energije u EES. Baterijski spremnici energije EES-u mogu doprinijeti prilikom narušene naponske stabilnosti injektiranjem snage, jedini zahtjev je da spremnici moraju imati vrlo brzi odziv.
- Pomoć kod crnog starta i upravljanja potrošnjom – Jedinice zadužene za proizvodnju mogu pružiti pomoć prilikom crnog starta ukoliko za njihovo pokretanje nije potrebno vanjsko napajanje. Dodatne proizvodne jedinice pružaju pomoć ostalim kako bi podigle proizvodnju i uključile se u mrežu. Baterijski spremnici imaju mogućnost pružanja ove usluge jer u vrlo kratkom vremenskom periodu daju velik postotak svoje instalirane snage.



S obzirom na vlasništvo spremnika energije postoje dvije skupine: spremnici u vlasništvu operatora sustava i spremnici koji su u vlasništvu privatnih sektora. Planiranje rada i razvoja distribucijske mreže u Hrvatskoj postaje sve zahtjevnije zbog stalnog povećanja ulaganja u učinkovitost, nepovoljnih demografskih položaja, kratkotrajnih razdoblja visokog opterećenja, regulative koja ne dopušta operatoru sustava smještaj obnovljivih izvora blizu visokih opterećenja te drugih poslovnih aktivnosti. Kao moguće rješenje gore navedenih izazova razmatra se korištenje spremnika energije. Spremnici energije predstavljaju element mreže koji može smanjiti nepredvidljivost proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, te smanjiti nepovoljna djelovanja koje proizvodi energija dobivena upravo iz obnovljivih izvora (porast napona na dugim vodovima ili mrežama koje su slabije opterećene) [5]. Spremnike energije ne predstavljaju isključivo samo baterijski spremnici kako je i opisano u poglavlju 3.1, no u ovom radu opisana je baterija kao ključan element primjene baterijskih spremnika električne energije u mreži.

### 3.3.1 OSNOVNI POJMOVI I KARAKTERISTIČNE VELIČINE SPREMNIKA

Spremnik električne energije predstavlja element elektroenergetske mreže koji ima sposobnost ostvariti pomak u vremenu između proizvodnje i potrošnje električne energije, odnosno, pohranjenu električnu energiju po potrebi može vraćati u mrežu uz kontrolu pogonskih parametara [5].

Prema [5] „osnovne veličine koje opisuju spremnik energije su“:

- „Nazivna snaga – nazivna snaga predstavlja najvišu izlaznu snagu sustava za pohranu električne energije“
- „Gustoća energije – gustoća energije predstavlja energiju koja se može pohraniti u kilogramu ili kubnom metru spremnika energije. Bitna je za planove dimenzioniranja prostora za smještaj spremnika energije.“
- „Vrijeme pražnjenja – vrijeme pražnjenja označava vrijeme potrebno da se skladište energije isprazni.“
- „Vrijeme odziva – vrijeme odziva označava vrijeme od trenutka kada sustav dobije nalog za pražnjenje do uspostave nazivne snage pražnjenja.“
- „Samopražnjenje – samopražnjenje predstavlja gubitak energije koji nije vezan uz cikluse punjenja i pražnjenja spremnika.“
- „Učinkovitost – učinkovitost se izražava kao postotak koji predstavlja omjer energije predane sustavu za vrijeme pohrane i energije predane mreži za pražnjenje sustava.“

### 3.3.2 BATERIJSKI SPREMNICI

Baterijski sustav za pohranu električne energije danas se širom svijeta koristi u distribucijskoj i prijenosnoj mreži, samostalnim mikromrežama i kućanstvima. Kako bi proces pohrane električne energije bio uspješan baterijskom sustavu potrebni su sljedeći elementi :

- Baterija
- Ispravljač
- Izmjenjivač
- Sustav upravljanja
- Sustav nadzora
- Pomoćni sustav (po potrebi)

Na trenutnom su tržištu dostupne različite izvedbe akumulatorskih baterija. Osim što je vrlo bitno odabrati odgovarajuću tehnologiju izvedbe, pri odabiru spremnika potrebno je definirati funkciju samog spremnika u elektroenergetskoj mreži te sukladno funkciji uskladiti osnovne veličine navedene u poglavlju 3.3.1. [5]

Prije samog priključenja baterijskog spremnika na elektroenergetski sustav važno je poznavati određena pravila te ista slijediti prilikom procesa postavljanja spremnika. Ovisno o režimu rada baterije, ona za EES na mjestu priključenja može predstavljati ili proizvođača ili potrošača. Kako su zahtjevi za proizvođače i potrošače različiti tako postoji niz pravila i zahtjeva koje baterijski spremnik mora zadovoljiti. Spremnici električne energije kako je navedeno ranije u nekom od svojih režima rada troše električnu energiju pa se prema propisanim „Mrežnim pravilima za priključenje kupaca“ kaže da postrojenje kupca znači postrojenje koje troši električnu energiju i priključeno je na najmanje jedan priključak na prijenosni ili distribucijski sustav [6].

Postrojenje kupca priključeno na mrežu mora zadovoljavati sljedeće uvjete [6]:

- Zahtjeve frekvencije
- Zahtjeve napona
- Zahtjeve kratkog spoja
- Zahtjeve jalove snage
- Zahtjeve zaštite
- Zahtjeve regulacije
- Zahtjeve kvalitete električne energije

Tablica 1. u nastavku daje prikaz bitnih tehničkih veličina i raspona cijena za različite tehnologije izvedbe akumulatorskih baterija koje se koriste u velikim postrojenjima [5].

Tablica 1. Pregled tehničkih značajki i cijena različitih izvedbi baterija [5]

	Olovne	Nickel-cadmium	Lithium-ion	NaS	ZEBRA	VRB	ZnBr
<b>TEHNIČKE ZNAČAJKE</b>							
Dugotrajnost	≤ 20 god	20 + god	≤10 god	≤15 god	≤ 20 god	≤ 20 god	≤10 god
Broj ciklusa (DoD 80%)	200-1000	1000-3500	1000-2000	4000-5000	4000-5000	>12000	2000-3000
Gustoća energije (Wh/kg)	15-40	15-40	70 – 250	100-120	100-120	50	75-85
Nazivni napon članka (V)	2	1,2	2,4-3,7	2	2,5	1,2	1,8
Korisnost (%)	70-82	60-70	> 90	80-90	85-95	70-85	60-75
Vrijeme punjenja/praznjena	5 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1
Vrijeme odziva	<1 ms	<1 ms	<1 ms	5 ms	5 ms	5 ms	5 ms
Samopražnjenje (%/dan)	0,033-0,3	0,067-0,6	≤ 0,1	0	0	malo	malo
Radna temperatura (°C)	-10 - +40	-40 - +50	-20 - +60	+310 - +350	+310 - +350	+20 - +40	+20 - +50
Pogodne za snage (MW)	≤10	< 30	≤ 2	≤ 50	≤ 5	≤ 15	≤1
Vrijeme pražnjenja	do 5 h	< 1h	≤ 2 h	2-8 h	2-8 h	4-8+ h	2-4 h
<b>RASPON CIJENA</b>							
Cijena baterije (€/kW)	100-500	400-900	150 – 1.000	3000-4000	150-1.000	500-1.300	300-700
Cijena baterije (€/kWh)	100-200	450-1.100	700 - 1.300	400-600	550-750	100-400	450-550

### 3.4 PRIMJENA BATERIJSKIH SPREMNIKA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Prema [7] „ Sustav za pohranu električne energije iz obnovljivih izvora bit će među ključnim pokretačima potražnje za baterijama“

U narednim godinama očekuje se velik porast proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Predviđanja govore kako bi do 2030. godine približno 55% električne energije unutar Europske unije trebalo proizvoditi upravo iz obnovljivih izvora. Kako bi se što bolje upravljalo proizvedenom energijom, bit će potrebna upotreba različitih tehnologija za pohranu iste. Kako će se električna energija skladištiti ovisit će o lokaciji, potrebnom kapacitetu i uslugama koje će pružati. Baterije kao takva vrsta spremnika električne energije omogućavaju privremenu pohranu te u određenom intervalu s obzirom na zahtjeve vraćaju istu energiju u mrežu. Upravo su baterijski spremnici idealan oblik skladištenja solarne energije. Globalno širenje obnovljivih izvora omogućilo je individualnim potrošačima vlastitu proizvodnju električne energije (u većini slučajeva radi se o solarnim pločama na krovovima). Rastom vlastite proizvodnje proporcionalno raste i potreba za pohranom energije u baterijama. Očekivanja su takva da bi kroz godine stacionarne baterije zauzimale oko 10% tržišta. Do 2050. godine očekuje se kako bi baterijski spremnici mogli obuhvaćati i do 90% pohrane te uvelike premašiti ulogu reverzibilnih hidroelektrana koje su trenutno glavne za pohranu energije u EES-u [7].

#### 3.4.1 SVIJET I EUROPA

U svijetu ističu se dva najveća potrošača i proizvođača električne energije:

1. Kina
2. Sjedinjene Američke Države

Početakom 2018. Kina je posjedovala kapacitet baterijskih spremnika od 389 MW. Do kolovoza iste godine dodano je još 340 MW dodatnog kapaciteta. Zbog ovog je pothvata Kina 2018. godinu proglasila jednom od najznačajnijih godina za njihovu industriju. Prema [8] pretpostavlja se kako će do 2024. instalirani kapacitet spremnika narasti 25 puta.

Sjedinjene Američke Države nastavljaju poboljšavati svoju poziciju lidera u proizvodnji električne energije pomoću solarnih elektrana. Svoju su proizvodnju 2014. godine povećali za 30% ulaganjem 18 milijardi dolara. Velik dio povećanja pripisuje se stanovništvu kojima država daje značajne poticaje za vlastitu proizvodnju [9].

U Europi daleko najznačajnija država po pitanju solarne energije i baterijskih spremnika je Njemačka. Njemačka je u 2014. godine proizvela 38,2 GW od ukupno 177 GW proizvedenih u svijetu. U nekoliko navrata Njemačka je zadovoljila preko 50% dnevnih potreba zemlje upravo proizvodnjom iz solarnih elektrana. Preusmjerenje Njemačke na „zelenu energiju“ dovelo je da se njezino gospodarstvo oslanja sve više na obnovljive izvore energije. Do 2050. godine Njemačka za cilj ima osloniti se na solarne i druge obnovljive izvore za 100% [9].

Tablica br. 2 donosi nam usporedbu kapaciteta najvećih solarnih elektrana prethodno spomenutih Kine, SAD-a i Njemačke.

*Tablica 2. Usporedba kapaciteta najvećih solarnih elektrana u svijetu [9]*

Područje	Kapacitet (MW)
Kina	1,547
Sjedinjene Američke Države	579
Njemačka	166

### 3.4.2 HRVATSKA

Trenutno stanje elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske vrlo je nepovoljno, no istraživanja za naredne godine predviđaju značajan porast utjecaja obnovljivih izvora te je sukladno s tim potrebno detaljnije istražiti primjenu različitih tehnologija spremnika energije kako bi u budućnosti osigurali stabilnost i sigurnost elektroenergetskog sustava [1].

## 4. MATEMATIČKI OPIS MODELA

### 4.1 FUNKCIJA CILJA ZA MAKSIMIZACIJU DOBITI ZA TRŽIŠTE DAN UNAPRIJED

Razmatranje kako ostvariti najveću moguću dobit na tržištu u periodu „t“ koje je definirano kao  $t = 1-24$  h započeto je sljedećom relacijom:

$$\max \{ \sum_t^{n_t} \lambda_t * Pdu_t + \lambda_f * SOC_{n_t} \} \quad (1.7)$$

Gdje je:

- $\lambda_t$  očekivana vrijednost cijene sata na tržištu dan unaprijed
- $Pdu_t$  ponuđena količina električne energije na tržištu dan unaprijed u satu „t“
- $\lambda_f$  buduća cijena po kojoj se očekuje prodaja preostale električne energije u baterijskom spremniku
- $SOC_{n_t}$  stanje napunjenosti baterijskog spremnika u zadnjem satu
- $n_t$  period simulacije

Razdvojimo relaciju (1.7) na dva člana. Prvi član sastoji se od produkta  $\lambda_t * Pdu_t$  koji zajedno predstavljaju prihode koje ostvarimo prodajom energije na tržište ili trošak koji platimo prilikom kupnje dodatne električne energije. Ukoliko je produkt pozitivnog predznaka to označava da smo električnu energiju prodali na tržištu po prihvatljivoj cijeni, te time ostvarili dobit. Negativan predznak produkta označava kupnju dodatne količine električne energije za potrebe potrošača. Drugi član matematičke relacije predstavlja produkt  $\lambda_f * SOC_{n_t}$ . Ovaj produkt određuje nam po kojoj će se cijeni prodati preostala energija u bateriji s obzirom na stanje napunjenosti u zadnjem satu.

Kada govorimo o balansu energije pozivamo se na sljedeću relaciju:

$$Ppv_t + \sum_{j=1}^{n_j} Ppr_{j,t} - \sum_{k=1}^{n_k} Ppv_{k,t} - D_t = Pdu_t \quad (1.8)$$

Gdje je :

- $Ppv_t$  očekivana proizvodnja električne energije iz fotonaponske elektrane
- $Ppr_{j,t}$  količina električne energije dobivena iz baterijskog spremnika za segment „j“ u satu „t“
- $Ppv_{k,t}$  količina električne energije potrošena za punjenje „k“ u satu „t“

Prethodno navedena relacija svojim promjenjivim članovima  $Ppr_{j,t}$  i  $Ppv_{k,t}$  predstavlja baterijski spremnik energije fotonaponske elektrane. Kada govorimo o baterijskom spremniku najbitnije stavke koje je potrebno opisati jesu punjenje i pražnjenje samog spremnika. Punjenje baterijskog spremnika opisuje se sljedećom relacijom:

$$Qpu_t = \sum_k^{n_k} \eta pu_k * Ppu_{k,t} \quad (1.9)$$

Varijabla  $Ppu_{k,t}$  predstavlja energiju potrošenu za punjenje baterije, dok faktor  $\eta pu_k$  predstavlja korisnost punjenja. Pri računanju pomoću relacije 1.9 korisnost predstavlja konstantu, no znamo kako korisnost nije uvijek jednaka, pa tako se i konstanta razlikuje s obzirom na snagu. Kod manjih snaga koeficijent korisnosti je veći, dok je kod većih snaga koeficijent korisnosti manji. Razlog tome su gubici uzrokovani strujom protjecanja opisani relacijom  $P = R * I^2$ .  $Qpu_t$  je količina energije za koju se baterijski spremnik napuni u određenom vremenu  $t$ .

Pražnjenje baterijskog spremnika opisano je relacijom 1.10

$$Qpr_t = \sum_j^{n_j} \frac{1}{\eta pr_j} * Ppr_{j,t} \quad (1.10)$$

Prilikom pražnjenja baterijskog spremnika situacija je nešto drugačija. Sada već posjedujemo količinu energije kojom je napunjena baterija te  $Qpr_t$  množimo s koeficijentom korisnosti pražnjenja. Kada koeficijent korisnosti prebacimo s desne strane jednakosti jednadžbe tada dobijemo faktor  $\frac{1}{\eta pr_j}$ . Energija koju pražnjenjem baterijskog spremnika dobijemo u mrežu označava  $Ppr_{j,t}$ .

Ograničenje stanja napunjenosti baterijskog spremnika, ranije spomenuti SOC za prvi sat  $t=1$  definirano je pomoću sljedećeg izraza:

$$SOC_{t-1} = SOC_{start} \quad (1.11)$$

Za svaki sljedeći sat  $t>1$  stanje napunjenosti pozivamo se na relaciju 1.12

$$SOC_t = SOC_{t-1} - Qpr_t + Qpu_t \quad (1.12)$$

Gdje je:

- $SOC_t$  stanje napunjenosti baterijskog spremnika na kraju sata  $t$
- $Qpr_t$  ispražnjenja količina električne energije iz baterijskog spremnika u satu  $t$
- $Qpu_t$  količina električne energije s kojom je napunjen baterijski spremnik u satu  $t$

Ograničenje varijabli segmenta pražnjenja definiramo na sljedeći način:

$$0 \leq Ppr_{j,t} \leq Ppr_{maxj} \quad (1.13)$$

Ograničenje varijabli segmenta punjenja definiramo na sljedeći način:

$$0 \leq Ppu_{j,t} \leq Ppu_{maxj} \quad (1.14)$$

Ograničenje stanja napunjenosti baterijskog spremnika definiramo na sljedeći način:

$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max} \quad (1.15)$$



## 5. REZULTATI SIMULACIJE

Prilikom izvršavanja simulacije pretpostavljeno je da zastupnik predstavlja na tržištu 1000 kućanstava od kojih 700 kuća na svojim krovovima posjeduje fotonaponsku elektranu od 10 kW po svakom krovu. Ukupna maksimalna instalirana snaga iz fotonaponskih elektrana iznosi 7 MW. Zastupnik kućanstva raspolaže jednim baterijskim spremnikom maksimalne napunjenosti 70 MWh, minimalnog stanja napunjenosti 10 MWh, dok je stanje napunjenosti baterijskog spremnika prije početka same simulacije 20 MWh. Simulacija je izvršena u programu Matlab i za analizu odabrana su dva dana u tjednu. U prvom slučaju analize odabran je radni dan u tjednu (četvrtak), dok je u drugom slučaju odabran neradni dan (nedjelja). Analiza osjetljivosti za oba dana izvršena je s obzirom na promjenu buduće cijene električne energije, i s obzirom na smanjenje potrošnje električne energije.

Želeći dati ponudu na tržište za dan unaprijed za četvrtak 21.05.2020. izvršeni su određeni proračuni. U obzir su uzete cijene električne energije prethodna tri dana: ponedjeljak 18.05.2020., utorak 19.05.2020., te srijedu 20.05.2020., te cijene električne energije prethodna dva četvrtka: 07.05.2020. i 14.05.2020. kako bi se uzeo u obzir uzorak ponašanja. Svaki dan koji je uzet u proračun nosi određenu vrijednost. Dan najbliži danu za kojeg je dana ponuda na tržište sadrži vjerojatnost 0,45, dok vjerojatnost najudaljenijeg dana iznosi 0,05. Nakon što su podaci uneseni u tablicu izračunata je očekivana vrijednost cijene za svaki sat. Suma očekivanih vrijednosti svakog sata predstavlja očekivanu cijenu električne energije na tržištu za dan 21.05.2020. S obzirom na ranije poznate relacije objašnjene u poglavlju 4 za prvi dan odabrana su dva segmenta efikasnosti za punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika omjera 7:3. Efikasnost prvog segmenta iznosi 0,95, dok efikasnost drugog segmenta iznosi 0,9. Nakon izvršene simulacije napravljena je tablica s ukupnim troškom ili zaradom na tržištu sa i bez baterijskog spremnika. Zaradu ili trošak za slučaj s baterijskim spremnikom izračunata je kao umnožak ponude na tržište i cijene električne energije za svaki pojedini sat te na kraju sumirana, dok za slučaj bez baterijskog spremnika izračunato je kao razlika između proizvedene električne energije iz FN elektrane i potrošene električne energije te ukupna razlika puta cijena električne energije za svaki pojedini sat pa na kraju sumirana.

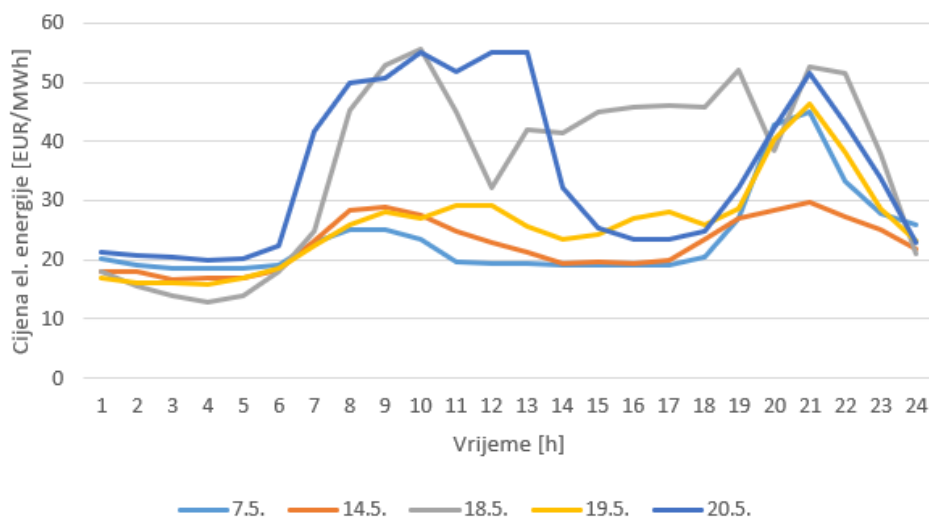
Isti proračun i vrijednosti parametara korišteni su i za dan nedjelja 10.05.2020.

## 5.1 Scenarij za dan 21.05.2020. s budućom cijenom 20 EUR/MWh

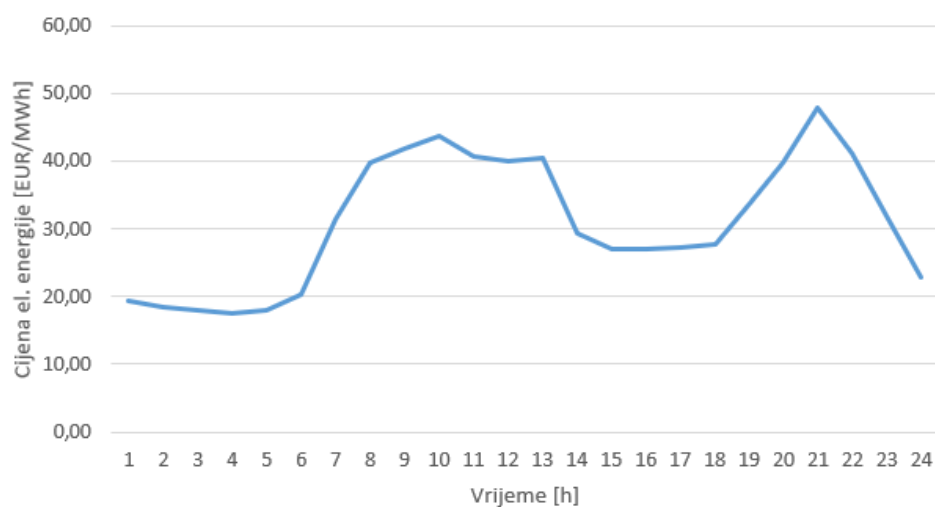
U scenariju 5.1 prikazani su rezultati dobiveni provedenom analizom za dan 21.05.2020. s budućom cijenom električne energije na tržištu u iznosu od 20 EUR/MWh.

Tablica 3. Tablica proračuna očekivane cijene električne energije za dan 21.05.2020. [10]

Vjerojatnosti scenarija	0,05	0,1	0,15	0,25	0,45	1						
Datum	7.5.	14.5.	18.5.	19.5.	20.5.							21.5.
1	20,08	18,15	18	17,05	21,24		1,004	1,815	2,7	4,2625	9,558	<b>19,34</b>
2	19,03	17,91	15,54	16,13	20,89		0,9515	1,791	2,331	4,0325	9,4005	<b>18,51</b>
3	18,57	16,75	14,01	16,16	20,47		0,9285	1,675	2,1015	4,04	9,2115	<b>17,96</b>
4	18,5	16,96	12,95	15,74	19,85		0,925	1,696	1,9425	3,935	8,9325	<b>17,43</b>
5	18,48	17,07	13,97	17,01	20,19		0,924	1,707	2,0955	4,2525	9,0855	<b>18,06</b>
6	19,07	18,17	17,98	18,53	22,48		0,9535	1,817	2,697	4,6325	10,116	<b>20,22</b>
7	23,01	23,33	24,96	22,26	41,67		1,1505	2,333	3,744	5,565	18,7515	<b>31,54</b>
8	25,03	28,4	45,15	26,04	49,87		1,2515	2,84	6,7725	6,51	22,4415	<b>39,82</b>
9	24,98	28,95	52,83	28,18	50,69		1,249	2,895	7,9245	7,045	22,8105	<b>41,92</b>
10	23,37	27,44	55,51	27	55,03		1,1685	2,744	8,3265	6,75	24,7635	<b>43,75</b>
11	19,7	24,95	44,94	29,1	51,7		0,985	2,495	6,741	7,275	23,265	<b>40,76</b>
12	19,4	23	32,12	29,1	55,06		0,97	2,3	4,818	7,275	24,777	<b>40,14</b>
13	19,4	21,32	41,98	25,7	55,02		0,97	2,132	6,297	6,425	24,759	<b>40,58</b>
14	19	19,5	41,32	23,38	32,2		0,95	1,95	6,198	5,845	14,49	<b>29,43</b>
15	19	19,62	45,06	24,31	25,26		0,95	1,962	6,759	6,0775	11,367	<b>27,12</b>
16	19	19,3	45,83	27	23,6		0,95	1,93	6,8745	6,75	10,62	<b>27,12</b>
17	19	19,84	46,12	28	23,4		0,95	1,984	6,918	7	10,53	<b>27,38</b>
18	20,39	23,42	45,9	25,8	24,73		1,0195	2,342	6,885	6,45	11,1285	<b>27,83</b>
19	26,91	26,9	52,12	28,67	32,27		1,3455	2,69	7,818	7,1675	14,5215	<b>33,54</b>
20	42,88	28,45	38,57	40,28	42,18		2,144	2,845	5,7855	10,07	18,981	<b>39,83</b>
21	44,88	29,79	52,66	46,32	51,55		2,244	2,979	7,899	11,58	23,1975	<b>47,90</b>
22	33,27	27,24	51,56	38,25	43,1		1,6635	2,724	7,734	9,5625	19,395	<b>41,08</b>
23	27,93	25,2	38,01	28,54	33,77		1,3965	2,52	5,7015	7,135	15,1965	<b>31,95</b>
24	25,8	21,89	21,04	23,18	22,94		1,29	2,189	3,156	5,795	10,323	<b>22,75</b>



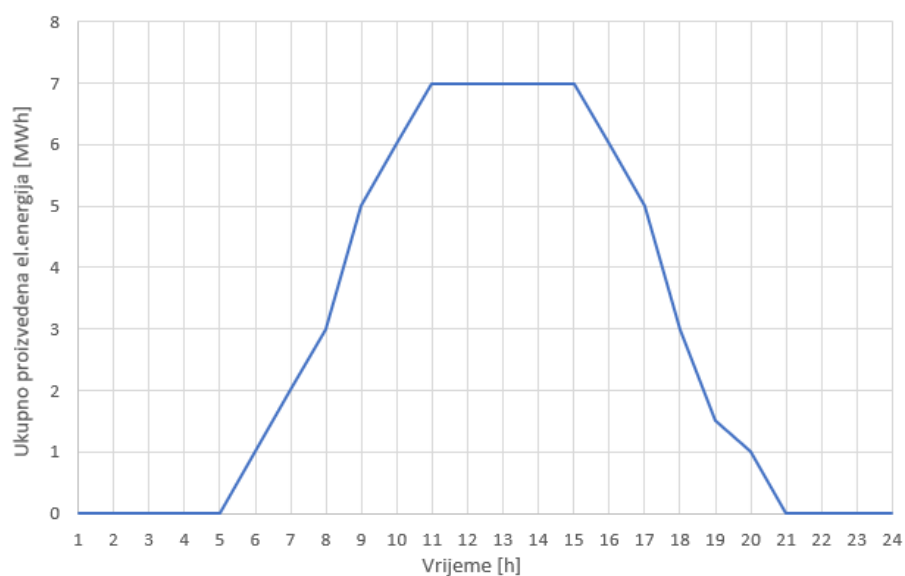
Slika 5. Grafički prikaz cijena električne energije na CROPEX tržištu



Slika 6. Grafički prikaz očekivane cijene električne energije na tržištu za dan 21.05.2020.

Tablica 4. Očekivana ukupna proizvodnja električne energije iz FN elektrana

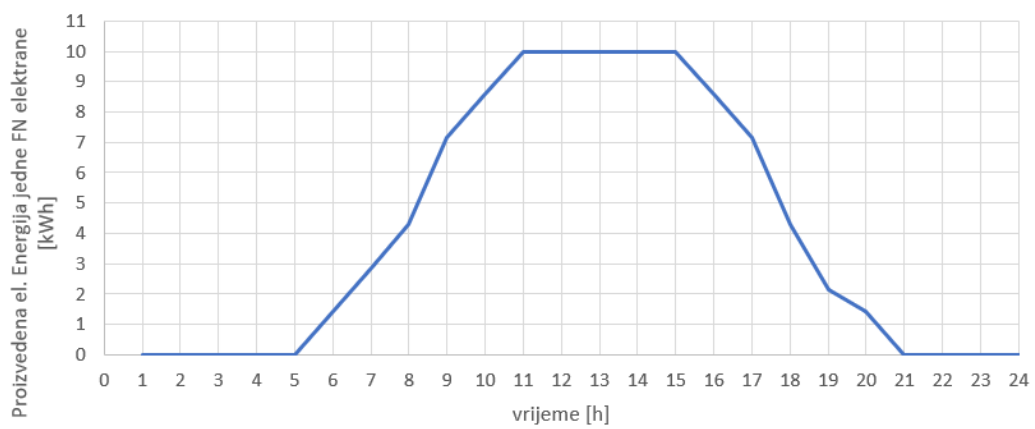
vrijeme [h]	1	2	3	4	5	6
ukupna proizvodnja [MWh]	0	0	0	0	0	1
vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12
ukupna proizvodnja [MWh]	2	3	5	6	7	7
vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18
ukupna proizvodnja [MWh]	7	7	7	6	5	3
vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24
ukupna proizvodnja [MWh]	1,5	1	0	0	0	0



Slika 7. Grafički prikaz očekivane ukupne proizvodnje električne energije iz FN elektrana

*Tablica 5. Očekivana proizvodnja električne energije jedne FN elektrane*

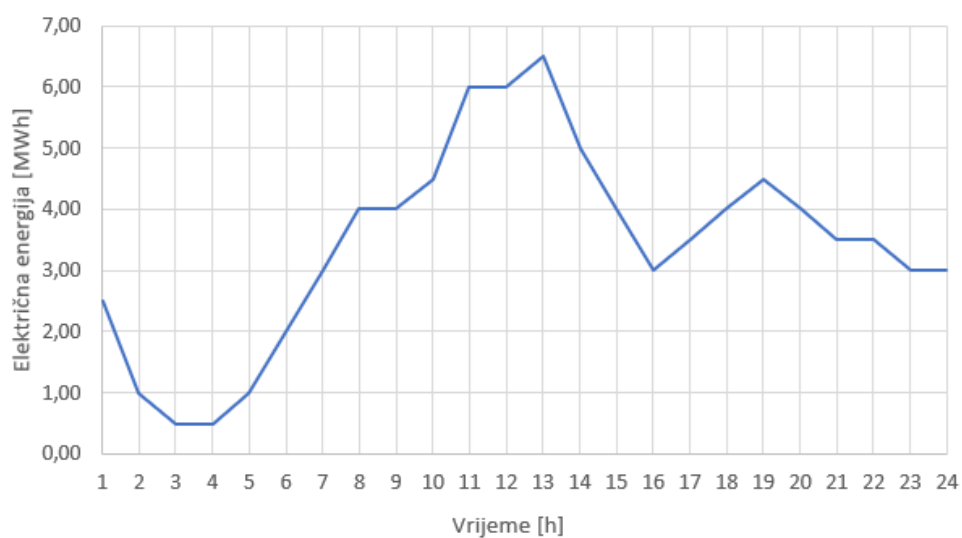
vrijeme [h]				1	2	3	4	5	6
proizvodnja jedne FN [kWh]				0	0	0	0	0	1,43
vrijeme [h]				7	8	9	10	11	12
proizvodnja jedne FN [kWh]				2,86	4,29	7,14	8,57	10	10
vrijeme [h]				13	14	15	16	17	18
proizvodnja jedne FN [kWh]				10	10	10	8,57	7,14	4,29
vrijeme [h]				19	20	21	22	23	24
proizvodnja jedne FN [kWh]				2,14	1,43	0	0	0	0



*Slika 8. Grafički prikaz očekivane proizvodnje el. energije jedne FN elektrane*

Tablica 6. Očekivana potrošnja 1000 kuća

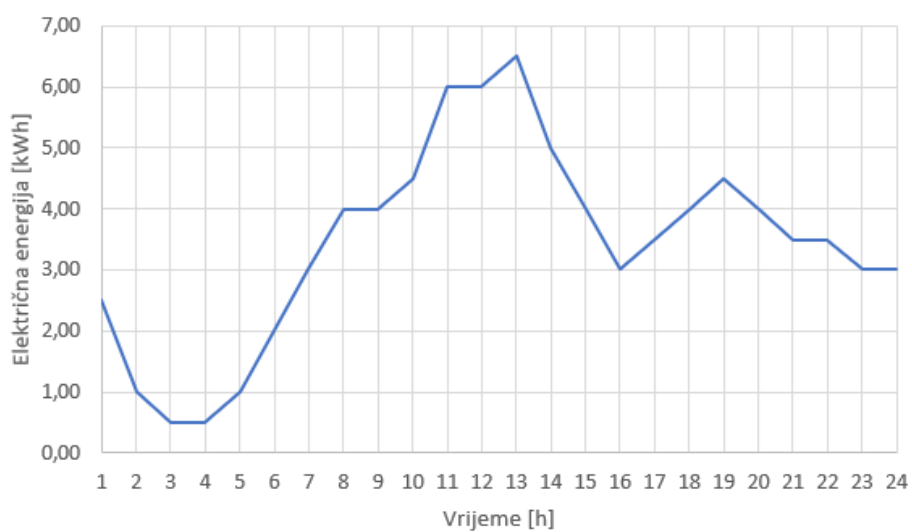
vrijeme [h]				1	2	3	4	5	6
ukupna potrošnja 1000 kuća [MWh]				2,5	1	0,5	0,5	1	2
vrijeme [h]				7	8	9	10	11	12
ukupna potrošnja 1000 kuća [MWh]				3	4	4	4,5	6	6
vrijeme [h]				13	14	15	16	17	18
ukupna potrošnja 1000 kuća [MWh]				6,5	5	4	3	3,5	4
vrijeme [h]				19	20	21	22	23	24
ukupna potrošnja 1000 kuća [MWh]				4,5	4	3,5	3,5	3	3



Slika 9. Grafički prikaz očekivane potrošnje 1000 kuća

Tablica 7. Očekivana potrošnja jedne kuće

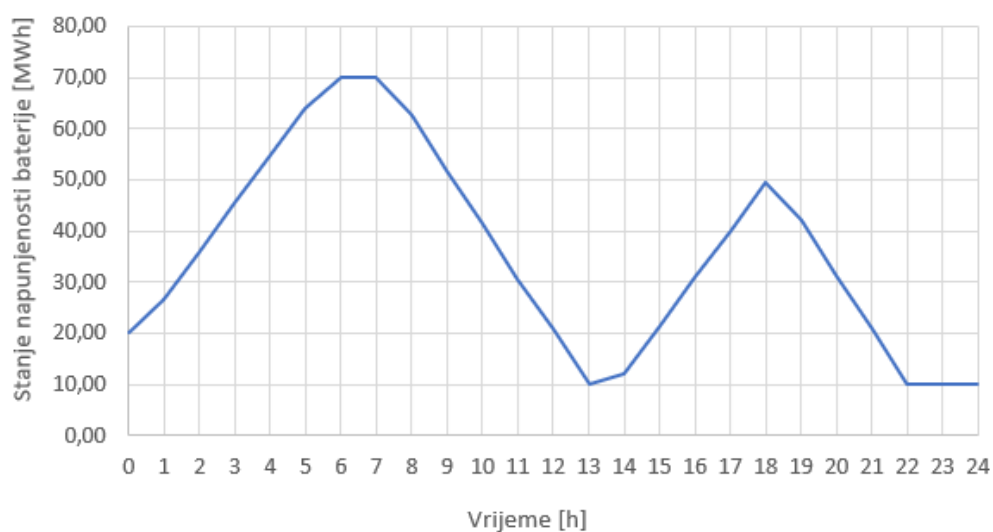
vrijeme [h]				1	2	3	4	5	6
ukupna potrošnja jedne kuće [kWh]				2,5	1	0,5	0,5	1	2
vrijeme [h]				7	8	9	10	11	12
ukupna potrošnja jedne kuće [kWh]				3	4	4	4,5	6	6
vrijeme [h]				13	14	15	16	17	18
ukupna potrošnja jedne kuće [kWh]				6,5	5	4	3	3,5	4
vrijeme [h]				19	20	21	22	23	24
ukupna potrošnja jedne kuće [kWh]				4,5	4	3,5	3,5	3	3



Slika 10. Grafički prikaz očekivane potrošnje jedne kuće

Tablica 8. Stanje napunjenosti (SOC) baterijskog spremnika

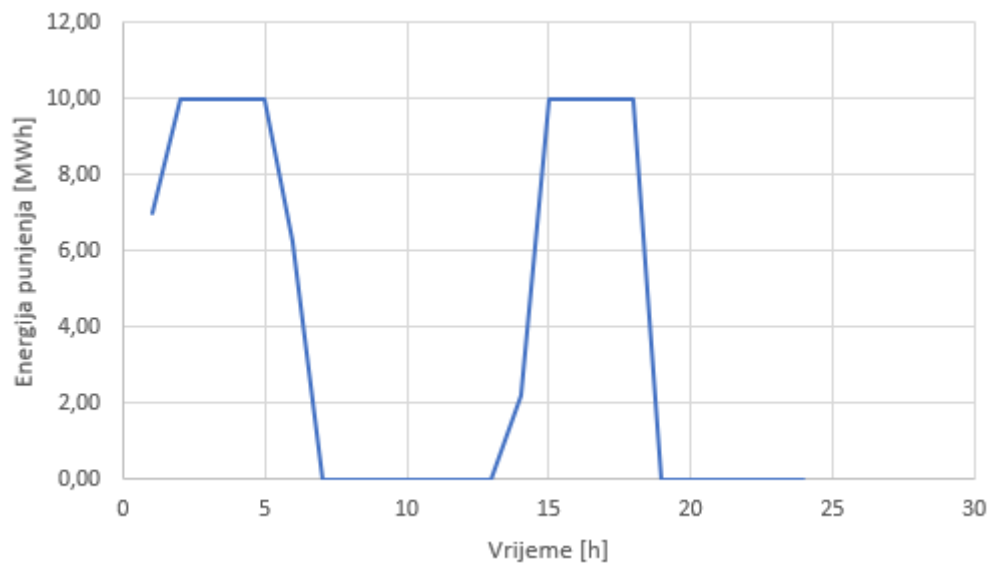
vrijeme [h]	0	1	2	3	4	5	6
stanje napunjenosti baterije [MWh]	20	26,65	36,00	45,35	54,70	64,05	70,00
vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12	
stanje napunjenosti baterije [MWh]	70,00	62,63	51,93	41,23	30,53	20,70	
vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18	
stanje napunjenosti baterije [MWh]	10,00	12,07	21,42	30,77	40,12	49,47	
vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24	
stanje napunjenosti baterije [MWh]	42,11	31,40	20,70	10,00	10,00	10,00	



Slika 11. Grafički prikaz stanja napunjenosti baterijskog spremnika

*Tablica 9. Energija punjenja baterijskog spremnika*

vrijeme [h]		1	2	3	4	5	6
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]		7,00	10,00	10,00	10,00	10,00	6,26
vrijeme [h]		7	8	9	10	11	12
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vrijeme [h]		13	14	15	16	17	18
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]		0,00	2,18	10,00	10,00	10,00	10,00
vrijeme [h]		19	20	21	22	23	24
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

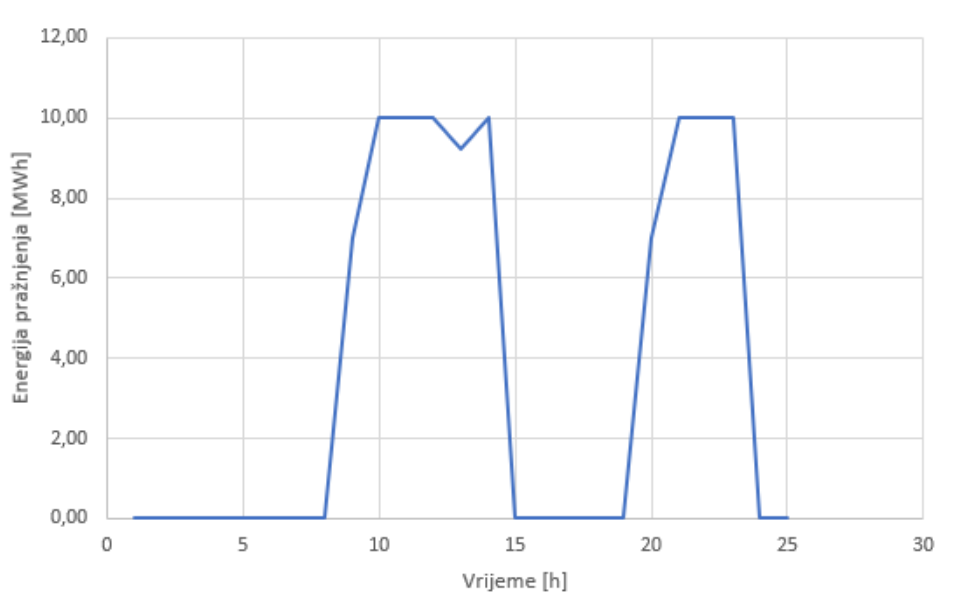


*Slika 12. Grafički prikaz punjenja baterijskog spremnika*



Tablica 10. Energija pražnjena baterijskog spremnika

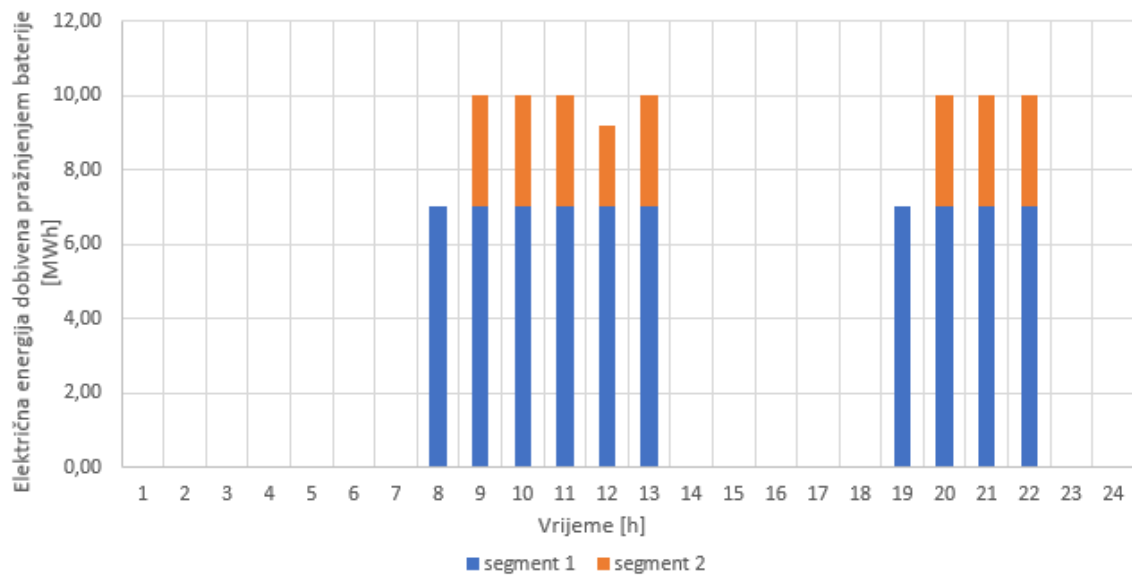
vrijeme [h]	1	2	3	4	5	6
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]	0,00	7,00	10,00	10,00	10,00	9,21
vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]	7,00	10,00	10,00	10,00	0,00	0,00



Slika 13. Grafički prikaz pražnjenja baterijskog spremnika

Tablica 11. Električna energija dobivena pražnjenjem baterijskog spremnika

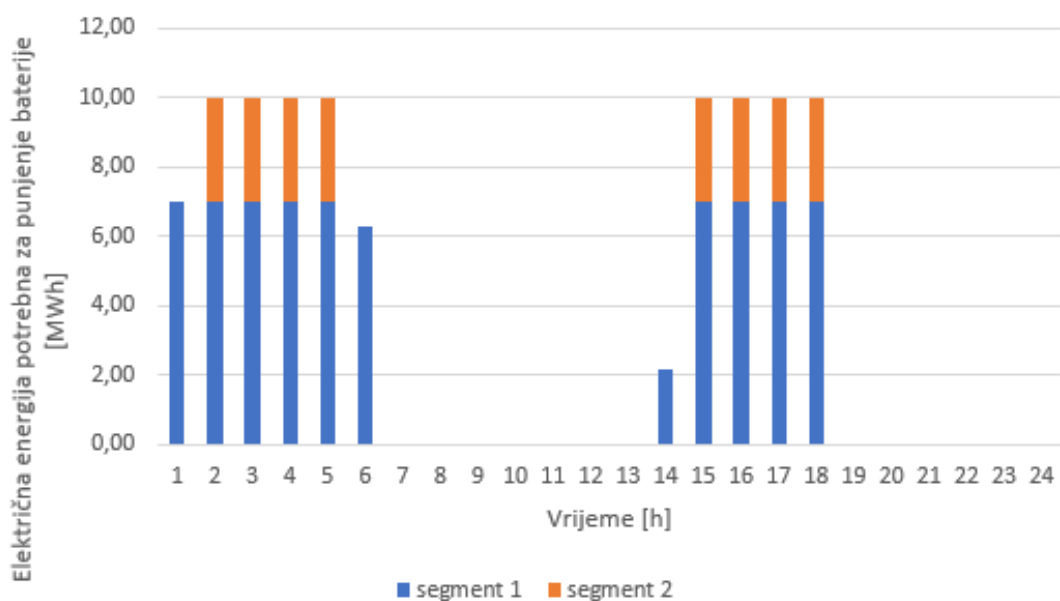
	vrijeme [h]			1	2	3	4	5	6
segment 1				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
segment 2				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vrijeme [h]			7	8	9	10	11	12
segment 1				0,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
segment 2				0,00	0,00	3,00	3,00	3,00	2,21
	vrijeme [h]			13	14	15	16	17	18
segment 1				7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
segment 2				3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vrijeme [h]			19	20	21	22	23	24
segment 1				7,00	7,00	7,00	7,00	0,00	0,00
segment 2				0,00	3,00	3,00	3,00	0,00	0,00



Slika 14. Grafički prikaz dobivene električne energije pražnjenjem baterijskog spremnika

Tablica 12. Električna energija potrebna za punjenje baterijskog spremnika

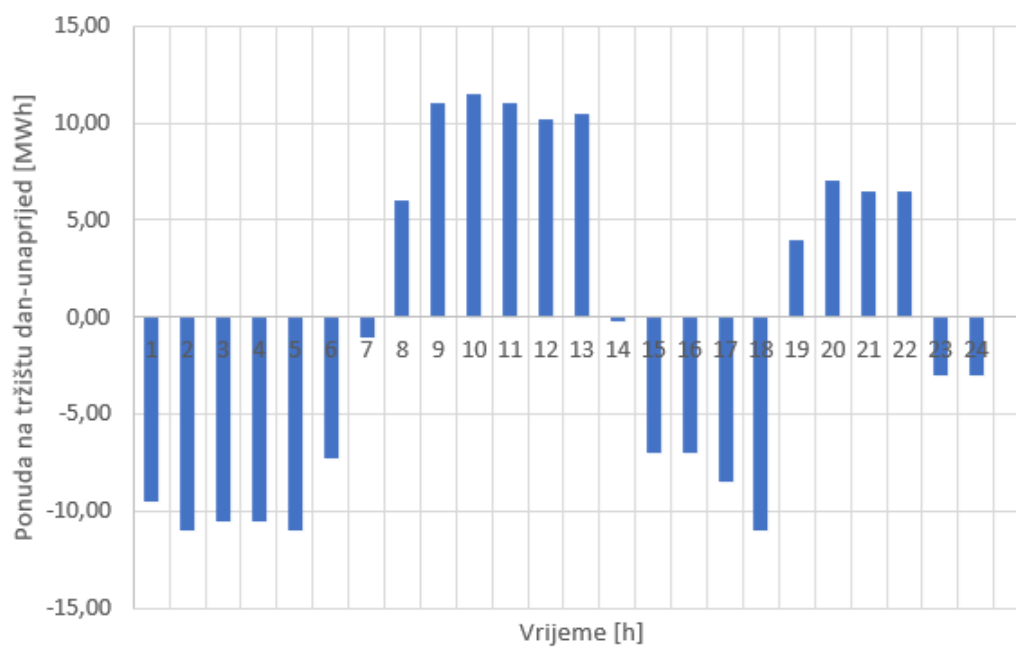
	vrijeme [h]				1	2	3	4	5	6
segment 1					7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,26
segment 2					0,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00
	vrijeme [h]				7	8	9	10	11	12
segment 1					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
segment 2					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vrijeme [h]				13	14	15	16	17	18
segment 1					0,00	2,18	7,00	7,00	7,00	7,00
segment 2					0,00	0,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	vrijeme [h]				19	20	21	22	23	24
segment 1					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
segment 2					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Slika 15. Grafički prikaz električne energije potrebne za punjenje baterijskog spremnika

Tablica 13. Ponuda na tržištu dan unaprijed

vrijeme [h]	1	2	3	4	5	6
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]	-9,50	-11,00	-10,50	-10,50	-11,00	-7,26
vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]	-1,00	6,00	11,00	11,50	11,00	10,21
vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]	10,50	-0,18	-7,00	-7,00	-8,50	-11,00
vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]	4,00	7,00	6,50	6,50	-3,00	-3,00



Slika 16. Grafički prikaz ponude na tržištu dan unaprijed

Tablica 14. Ukupna zarada (ili trošak) na tržištu sa i bez baterijskog spremnika

vrijeme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
cijena	19,34	18,51	17,96	17,43	18,06	20,22	31,54	39,82	41,92	43,75	40,76	40,14
potrŕnja	2,5	1	0,5	0,5	1	2	3	4	4	4,5	6	6
proizvodnja	0	0	0	0	0	1	2	3	5	6	7	7
bez baterije	-48,35	-18,51	-8,98	-8,72	-18,06	-20,22	31,54	-39,82	41,92	65,63	40,76	40,14
s baterijom	-183,73	-203,61	-188,58	-183,015	-198,66	-146,79	-31,54	238,92	461,12	503,13	448,36	409,83
vrijeme	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
cijena	40,58	29,43	27,12	27,12	27,38	27,83	33,54	39,3	47,9	41,08	31,95	22,75
potrŕnja	6,5	5	4	3	3,5	4	4,5	4	3,5	3,5	3	3
proizvodnja	7	7	7	6	5	3	1,5	1	0	0	0	0
bez baterije	20,29	58,86	81,36	81,36	41,07	-27,83	-100,62	-117,9	-167,65	-143,78	-95,85	-68,25
s baterijom	426,09	-5,3	-189,84	-189,84	-232,73	-306,13	134,16	275,1	311,35	267,02	-95,85	-68,25

ukupna zarada/trošak [EUR]												
bez baterije												-381,61
s baterijom												1251,215

Na osnovu dobivenih rezultata simulacije za scenarij 5.1 zaključeno je sljedeće:

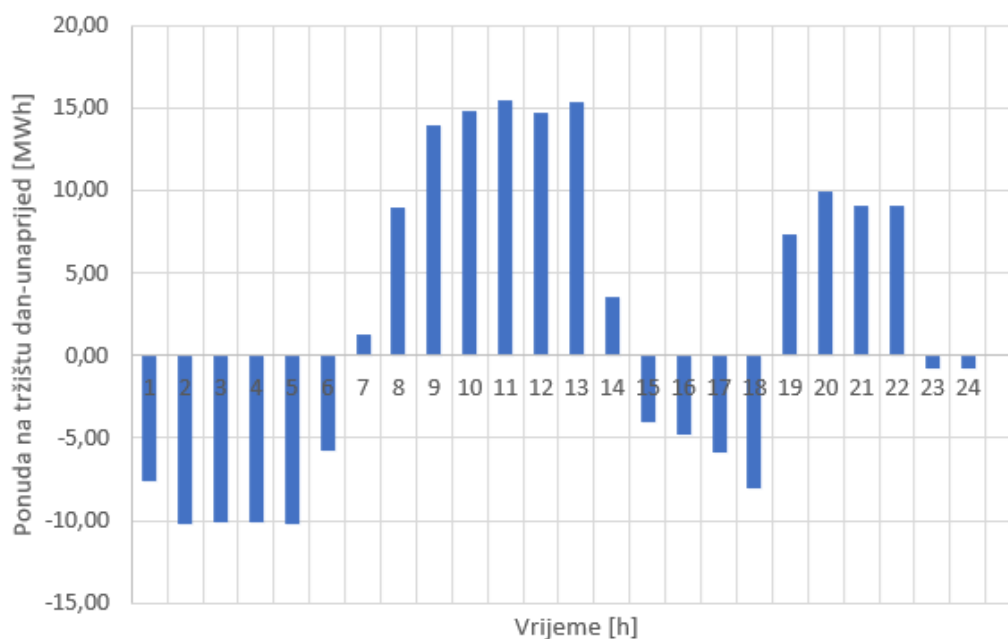
Punjenje baterijskog spremnika odvija se između prvog i šestog sata. Razlog toga je prihvatljiva (niska) cijena električne energije pojedinog sata, koju zastupnik kupuje iz mreže kako bi ekonomično napunio spremnik, te tu energiju kasnije prodavao po višoj cijeni te time ostvario dobit. Upravo takav slučaj je između sedmog i trinaestog sata u kada je u tijeku pražnjenje baterijskog spremnika. Velika potražnja za električnom energijom utječe na cijenu (povećava ju), pa pražnjenjem baterijskog spremnika i prodavanjem električne energije zastupnik ostvaruje dobit. Između petnaestog i osamnaestog sata ponovno će se puniti baterijski spremnik te električnu energiju pohranjivati sve do devetnaestog sata kada između devetnaestog i dvadeset drugog sata ponovno ide val velike potražnje i visoke cijene električne energije. Stanje napunjenosti baterijskog spremnika u šestom i sedmom satu iznosi maksimalnih 70 MWh jer se spremnik u prethodnom vremenu punio. U trenutku kada počinje pražnjenje baterijskog spremnika i kada je cijena električne energije visoka, kako bi se ostvarila velika dobit baterijski se spremnik isprazni do svoje minimalne vrijednosti od 10 MWh. Između petnaestog i osamnaestog sata stanje napunjenosti spremnika ponovno raste jer se u to vrijeme odvija punjenje baterijskog spremnika. Sukladno tome u dvadesetom i dvadeset prvom satu, stanje napunjenosti pada, baterijski se spremnik prazni. Na samom kraju dana između dvadeset drugog i dvadeset četvrtog sata stanje napunjenosti bit će ponovno na minimalnoj vrijednosti, što je i za očekivati jer u prethodnom periodu pražnjenja dao svu električnu energiju, a s obzirom na cijenu koja je veća od buduće cijene koja iznosi 20 EUR/MWh, baterijski spremnik neće se ponovno puniti već će na minimalnoj vrijednosti biti sve do sljedećeg dana. S obzirom na zadanu potrošnju u simulaciji te obavljenju analizu, dana je ponuda na tržište dan unaprijed. Koliko je baterijski spremnik isplativ i ekonomičan dokazuje to da je trošak bez baterijskog spremnika 381,61 EUR, dok je s baterijskim spremnikom ostvarena dobit od 1251,215 EUR. U ovom slučaju zastupnik je ostvario zaradu od 1632,83 EUR. Ukoliko se uspoređi početna i krajnja vrijednost stanja napunjenosti spremnika, primjećuje se da je stanje napunjenosti manje na kraju u odnosu na početak za 10 MWh. Ukoliko se pretpostavi da je tih 10 MWh zastupnik mogao prodati po budućoj cijeni, ukupno umanjeње vrijednosti sačuvane energije u spremniku za promatrani dan iznosi 200 EUR. Uzevši u obzir gubitak vrijednosti sačuvane energije za promatrani dan, ukupna zarada zbog korištenja spremnika iznosi 1432,83 EUR.

## 5.2 Scenarij za dan 21.05.2020. s budućom cijenom 20 EUR/MWh i smanjenom potrošnjom za 25%

U scenariju 5.2 prikazani su rezultati dobiveni analizom dana 21.05.2020. s budućom cijenom električne energije na tržištu u iznosu 20 EUR/MWh te 25% manjom potrošnjom.

Tablica 15. Ponuda na tržištu dan unaprijed

vrijeme [h]	1	2	3	4	5	6
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]	-7,63	-10,25	-10,12	-10,12	-10,25	-5,76
vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]	1,25	9,00	14,00	14,87	15,50	14,71
vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]	15,37	3,57	-4,00	-4,75	-5,87	-8,00
vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]	7,37	10,00	9,12	9,12	-0,75	-0,75



Slika 17. Grafički prikaz ponude na tržištu dan unaprijed

Tablica 16. Ukupna zarada (ili trošak) na tržištu sa i bez baterijskog spremnika u slučaju smanjene potrošnje za 25%

vrijeme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
cijena	19,34	18,51	17,96	17,43	18,06	20,22	31,54	39,82	41,92	43,75	40,76	40,14
potrošnja	0,625	0,25	0,125	0,125	0,25	0,5	0,75	1	1	1,125	1,5	1,5
proizvodnja	0	0	0	0	0	1	2	3	5	6	7	7
bez baterije	-12,09	-4,63	-2,245	-2,189	-4,515	10,11	39,43	79,64	167,68	213,28	224,18	220,77
s baterijom	-147,56	-189,73	-181,76	-176,39	-185,12	-116,47	39,43	358,38	586,88	650,56	631,78	590,46
vrijeme	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
cijena	40,58	29,43	27,12	27,12	27,38	27,83	33,54	39,3	47,9	41,08	31,95	22,75
potrošnja	1,625	1,25	1	0,75	0,875	1	1,125	1	0,875	0,875	0,75	0,75
proizvodnja	7	7	7	6	5	3	1,5	1	0	0	0	0
bez baterije	218,12	169,22	162,72	142,38	112,94	55,66	12,58	0	-41,91	-35,95	-23,96	-17,06
s baterijom	623,71	105,07	-108,48	-128,82	-160,72	-222,64	247,19	393	436,85	374,65	-23,96	-12,06

ukupna zarada/trošak [EUR]	
bez baterije	1684,16
s baterijom	3384,25

U scenariju 5.2 potrošnja zadana u simulaciji smanjena je za 25%. Kada se potrošnja smanjila za 25%, promijenila se samo ponuda na tržište dan unaprijed dok se baterijski spremnik ponašao sukladno slučaju i kada je potrošnja na svojoj standardnoj vrijednosti. Smanjenjem potrošnje automatski se smanjila i količina električne energije koja je potrebna za korisnike, te se samim time promijenila se i ponuda. U slučaju kada je potrošnja smanjena za 25% dobit bez baterijskog spremnika iznosi 1684,16 EUR, dok dobit s baterijskim spremnikom iznosi 3384,25 EUR. Usporedbom dobiti, zastupnik je u ovom slučaju korištenjem baterijskog spremnika zaradio 1700,25 EUR. I u ovom slučaju stanje napunjenosti na kraju dana iznosi 10 MWh, odnosno stanje napunjenosti za promatrani dan umanjeno je za 10 MWh budući da je početno stanje iznosilo 20 MWh. Ukupno umanjenoje vrijednosti sačuvane energije u spremniku za promatrani dan iznosi 200 EUR. Konačna zarada zbog upotrebe spremnika tada iznosi 1500,25 EUR.

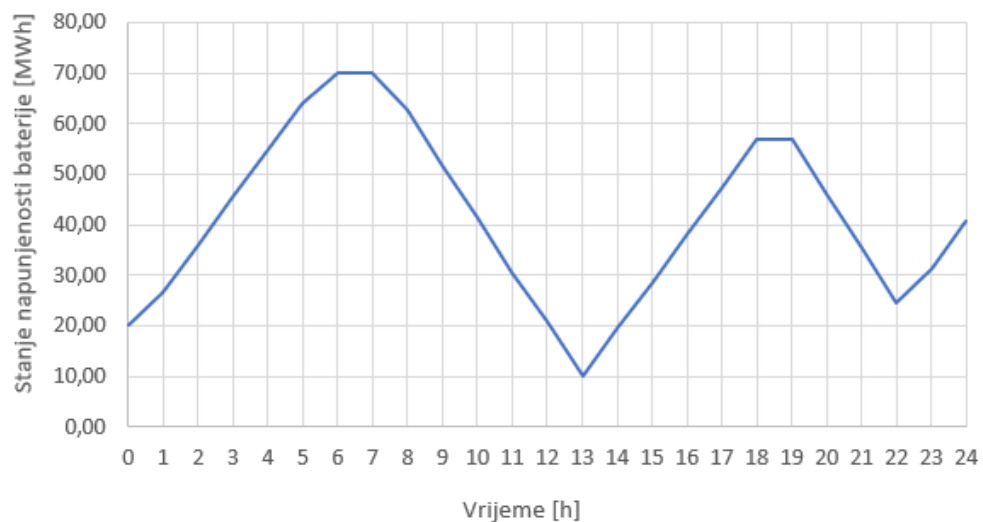


### 5.3 Scenarij za dan 21.05 s budućom cijenom 35 EUR/MWh

U scenariju 5.3 prikazani su rezultati dobiveni analizom dana 21.05.2020. s budućom cijenom električne energije na tržištu u iznosu od 35 EUR/MWh.

Tablica 17. Stanje napunjenosti (SOC) baterijskog spremnika

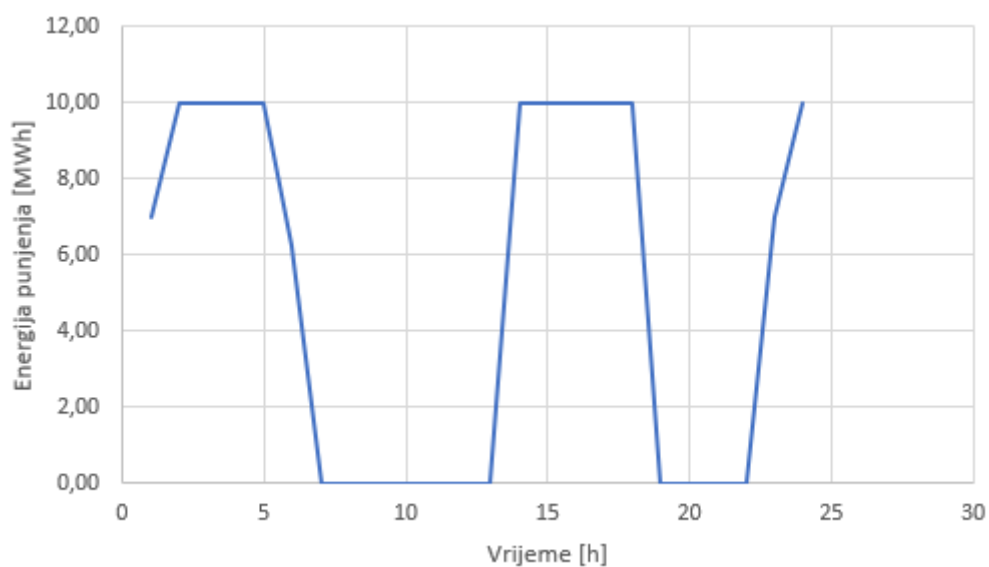
vrijeme [h]	0	1	2	3	4	5	6
stanje napunjenosti baterije [MWh]	20	26,65	36,00	45,35	54,70	64,05	70,00
vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12	
stanje napunjenosti baterije [MWh]	70,00	62,63	51,93	41,23	30,53	20,70	
vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18	
stanje napunjenosti baterije [MWh]	10,00	19,35	28,70	38,05	47,40	56,75	
vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24	
stanje napunjenosti baterije [MWh]	56,75	46,05	35,35	24,64	31,29	40,64	



Slika 18. Grafički prikaz stanja napunjenosti baterijskog spremnika

Tablica 18. Energija punjenja baterijskog spremnika

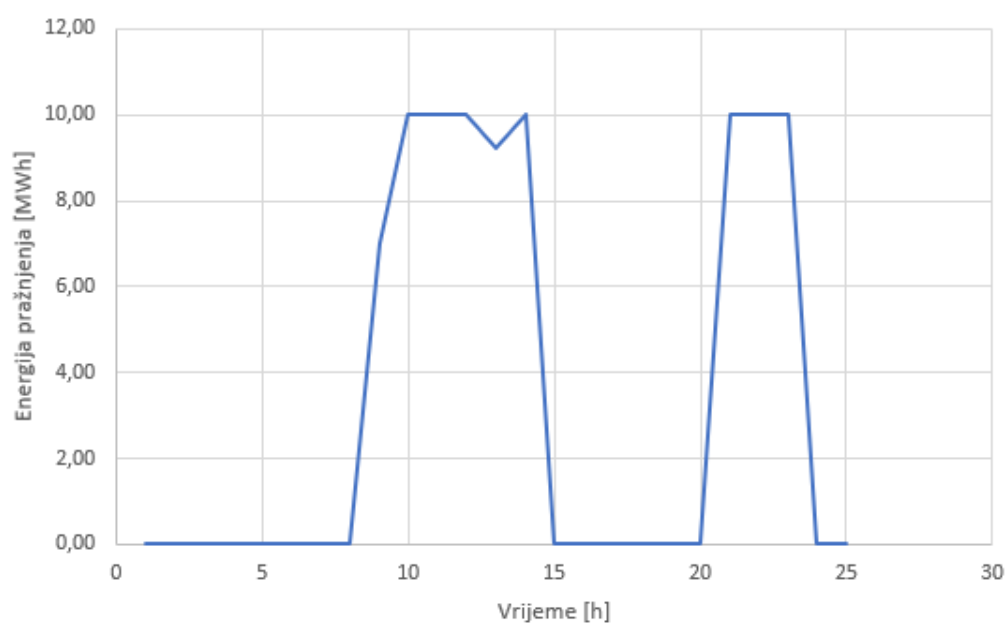
vrijeme [h]	1	2	3	4	5	6
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]	7,00	10,00	10,00	10,00	10,00	6,26
vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	10,00



Slika 19. Grafički prikaz energije punjenja baterijskog spremnika

Tablica 19. Energija pražnjenja baterijskog spremnika

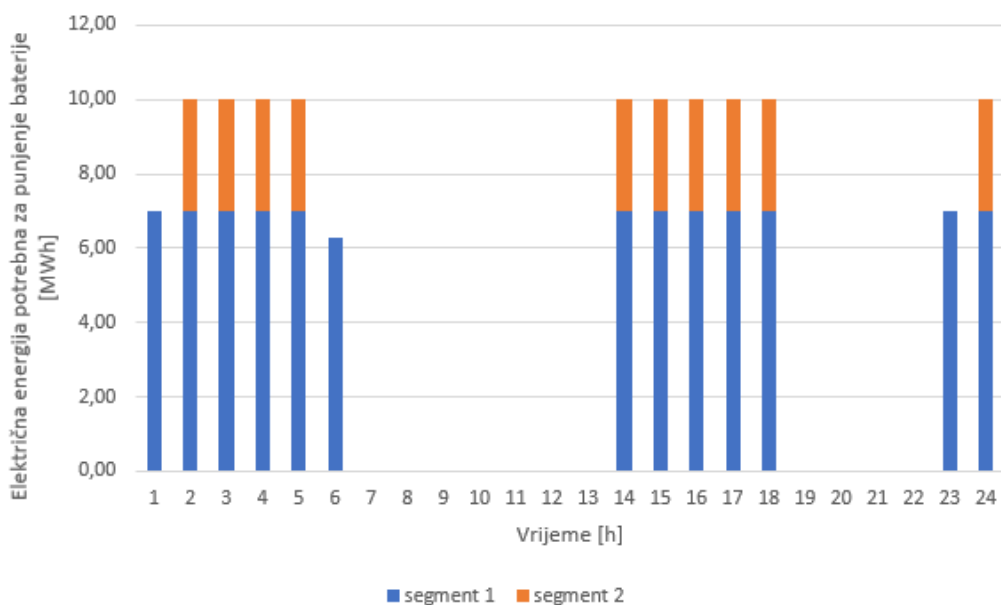
vrijeme [h]	1	2	3	4	5	6
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]	0,00	7,00	10,00	10,00	10,00	9,21
vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]	0,00	10,00	10,00	10,00	0,00	0,00



Slika 20. Grafički prikaz energije pražnjenja baterijskog spremnika

Tablica 20. Električna energija potrebna za punjenje baterijskog spremnika

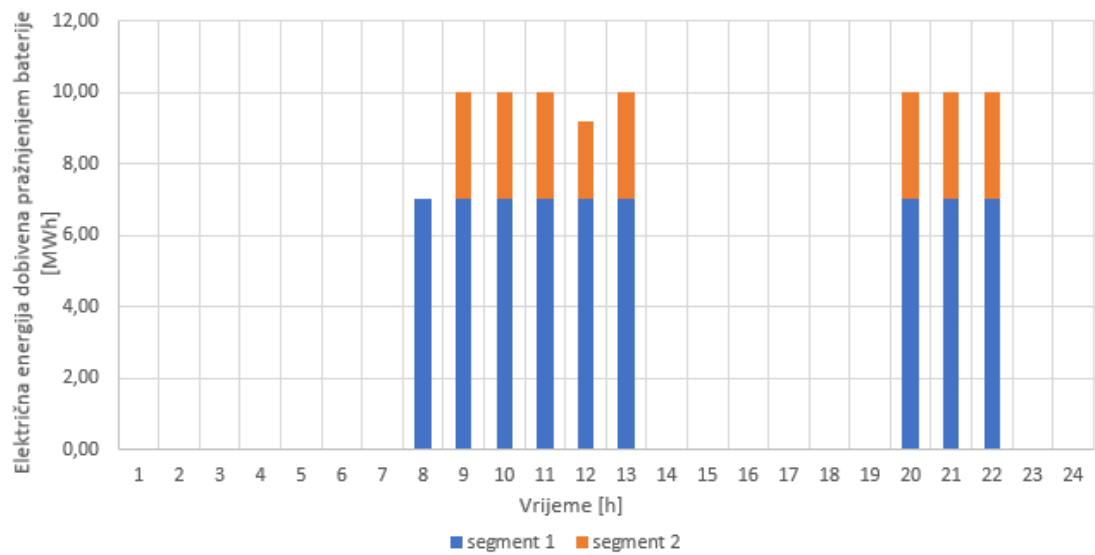
	vrijeme [h]				1	2	3	4	5	6
segment 1					7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,26
segment 2					0,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00
	vrijeme [h]				7	8	9	10	11	12
segment 1					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
segment 2					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vrijeme [h]				13	14	15	16	17	18
segment 1					0,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
segment 2					0,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	vrijeme [h]				19	20	21	22	23	24
segment 1					0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	7,00
segment 2					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00



Slika 21. Grafički prikaz električne energije potrebne za punjenje baterijskog spremnika

Tablica 21. Električna energija potrebna za pražnjenje baterijskog spremnika

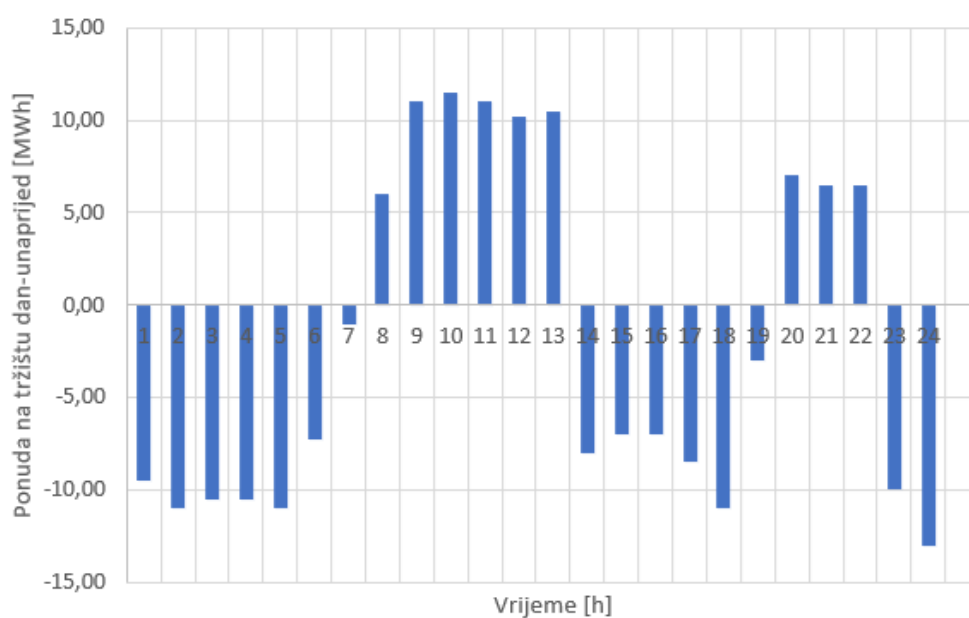
	vrijeme [h]				1	2	3	4	5	6
segment 1					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
segment 2					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vrijeme [h]				7	8	9	10	11	12
segment 1					0,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
segment 2					0,00	0,00	3,00	3,00	3,00	2,21
	vrijeme [h]				13	14	15	16	17	18
segment 1					7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
segment 2					3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vrijeme [h]				19	20	21	22	23	24
segment 1					0,00	7,00	7,00	7,00	0,00	0,00
segment 2					0,00	3,00	3,00	3,00	0,00	0,00



Slika 22. Grafički prikaz električne energije potrebne za pražnjenje baterijskog spremnika

Tablica 22. Ponuda na tržište dan unaprijed

vrijeme [h]				1	2	3	4	5	6
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]				-9,50	-11,00	-10,50	-10,50	-11,00	-7,26
vrijeme [h]				7	8	9	10	11	12
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]				-1,00	6,00	11,00	11,50	11,00	10,21
vrijeme [h]				13	14	15	16	17	18
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]				10,50	-8,00	-7,00	-7,00	-8,50	-11,00
vrijeme [h]				19	20	21	22	23	24
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]				-3,00	7,00	6,50	6,50	-10,00	-13,00



Slika 23. Grafički prikaz ponude na tržište dan unaprijed

Tablica 23. Ukupna zarada (ili trošak) na tržištu sa i bez baterijskog spremnika

vrijeme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
cijena	19,34	18,51	17,96	17,43	18,06	20,22	31,54	39,82	41,92	43,75	40,76	40,14
potršnja	2,5	1	0,5	0,5	1	2	3	4	4	4,5	6	6
proizvodnja	0	0	0	0	0	1	2	3	5	6	7	7
bez baterije	-48,35	-18,51	-8,98	-8,72	-18,06	-20,22	31,54	-39,82	41,92	65,63	40,76	40,14
s baterijom	-183,73	-203,61	-188,58	-183,02	-198,66	-146,79	-31,54	238,92	461,12	503,13	448,36	409,83
vrijeme	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
cijena	40,58	29,43	27,12	27,12	27,38	27,83	33,54	39,3	47,9	41,08	31,95	22,75
potršnja	6,5	5	4	3	3,5	4	4,5	4	3,5	3,5	3	3
proizvodnja	7	7	7	6	5	3	1,5	1	0	0	0	0
bez baterije	20,29	58,86	81,36	81,36	41,07	-27,83	-100,62	-117,9	-167,65	-143,78	-95,85	-68,25
s baterijom	426,09	-235,44	-189,84	-147,84	-232,73	-306,13	-100,62	275,1	311,35	267,02	-319,5	-295,75

ukupna zarada/trošak [EUR]												
bez baterije												-381,61
s baterijom												377,14

Na osnovu dobivenih rezultata simulacije za scenarij 5.3 zaključeno je sljedeće:

Punjenje baterijskog spremnika odvija se između prvog i šestog sata, dok pražnjenje baterijskog spremnika traje između osmog i trinaestog sata. Između četrnaestog i osamnaestog sata ponovno će se puniti baterijski spremnik, te električnu energiju pohranjivati sve do dvadesetog sata kada između dvadeset i dvadeset dva sata ponovno slijedi pražnjenje baterijskog spremnika. Baterijski spremnik neće prazniti velike količine električne energije, već će prazniti minimalnu vrijednost. Razlog tome je visoka buduća cijena električne energije, pa se energija pohranjuje i čuva kako bi se u sljedećem danu prodala po većoj cijeni na tržištu. Stanje napunjenosti baterijskog spremnika u šestom i sedmom satu iznosi maksimalnih 70 MWh, jer se spremnik u prethodnom vremenu punio. Nakon procesa pražnjenja spremnika u trinaestom satu baterijski spremnik bit će na minimalnoj vrijednosti od 10 MWh. Između petnaestog i osamnaestog sata stanje napunjenosti spremnika ponovno raste, jer se u to vrijeme ponovno odvija punjenje baterijskog spremnika. Sukladno tome u dvadesetom satu ponovno započinje pražnjenje i traje do dvadeset drugog sata. Na samom kraju dana u dvadeset četvrtom satu stanje napunjenosti bit će između minimalne i maksimalne vrijednosti. Razlog veće napunjenosti u posljednjem satima od prethodnog scenarija s budućom cijenom 20 EUR/MWh, je upravo veća buduća cijena, te činjenica da će se više energije ostaviti u spremniku kako bi se u sljedećem danu ostvarila veća dobit. Upravo se taj odnos vidi iz dijagrama prikazanog na slici 25. Ekonomičnost baterijskog spremnika prikazana je kroz izračunatu zaradu odnosno trošak za ovaj scenarij. U slučaju prvobitno zadane potrošnje trošak bez baterijskog spremnika iznosi 381,61 EUR, dok zarada u slučaju postojanja baterijskog spremnika iznosi 377,14 EUR. U ovom slučaju ukupna zarada zastupnika iznosi 758,75 EUR. Stanje napunjenosti baterijskog spremnika na kraju dana iznosi 41 MWh, dok je početno stanje fiksno zadano i iznosi 20 MWh. Baterijski spremnik tijekom dana napunio se za 21 MWh. Pretpostavkom da će zastupnik po budućoj cijeni prodati svih 21 MWh, produktom buduće cijene od 35 EUR/MWh i stanja napunjenosti 21 MWh dobivamo iznos od 735 EUR, koje će zastupnik ostvariti sljedećeg dana. Konačna zarada zastupnika zbog upotrebe spremnika uvećana za 735 EUR iznosi 1493,75 EUR.

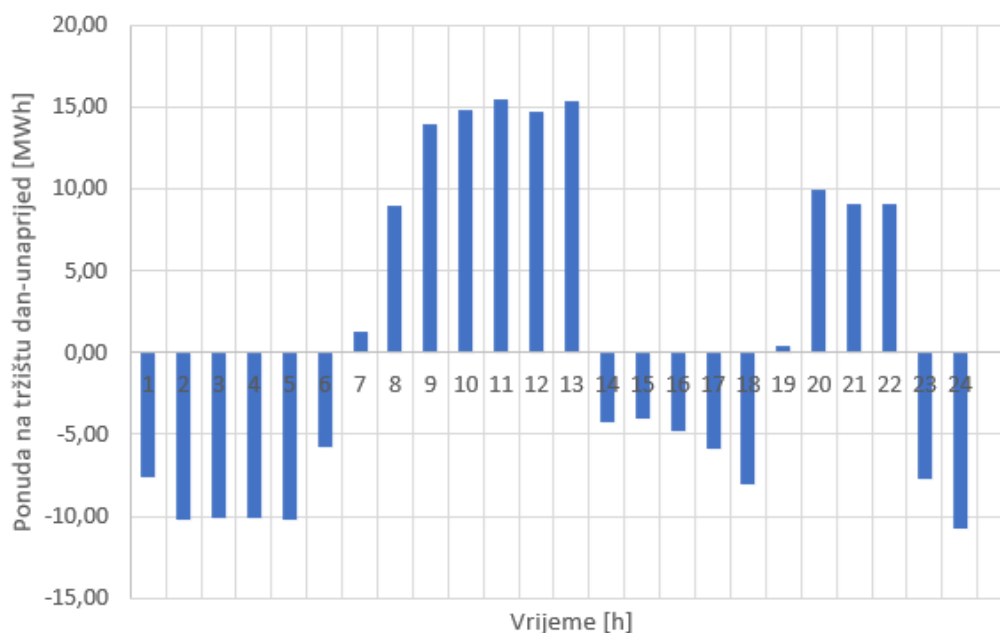


#### 5.4 Scenarij za dan 21.05.2020. s budućom cijenom 35 EUR/MWh i smanjenom potrošnjom za 25%

U scenariju 5.4 prikazani su rezultati dobiveni analizom dana 21.05.2020. s budućom cijenom električne energije na tržištu u iznosu 35 EUR/MWh te 25% manjom potrošnjom.

Tablica 24. Ponuda na tržište dan unaprijed

vrijeme [h]		1	2	3	4	5	6
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]		-7,63	-10,25	-10,12	-10,12	-10,25	-5,76
vrijeme [h]		7	8	9	10	11	12
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]		1,25	9,00	14,00	14,87	15,50	14,71
vrijeme [h]		13	14	15	16	17	18
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]		15,37	-4,25	-4,00	-4,75	-5,87	-8,00
vrijeme [h]		19	20	21	22	23	24
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]		0,37	10,00	9,12	9,12	-7,75	-10,75



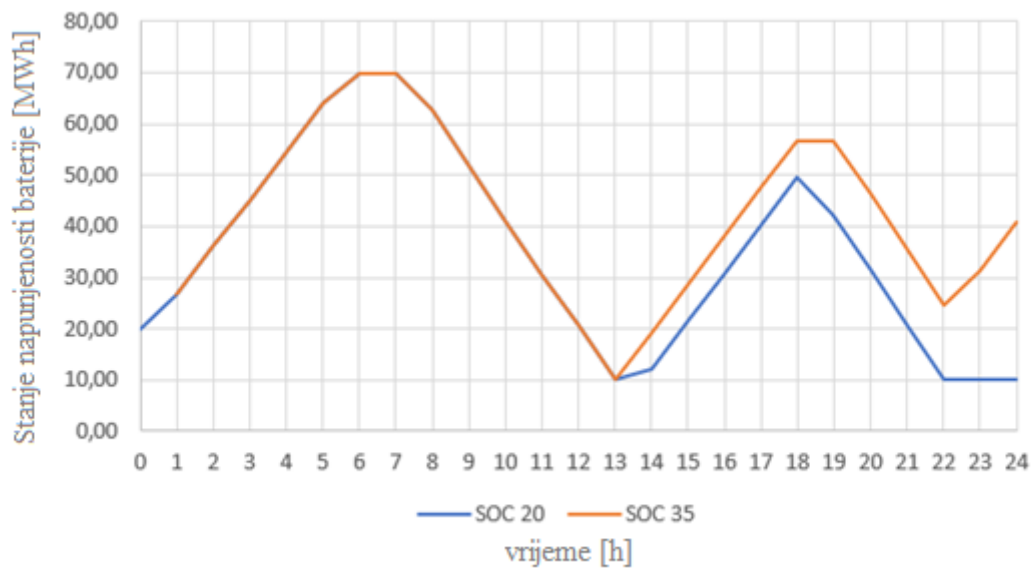
Slika 24. Grafički prikaz ponude na tržište dan unaprijed

Tablica 25. Ukupna zarada (ili trošak) na tržištu sa i bez baterijskog spremnika u slučaju smanjene potrošnje za 25%

vrijeme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
cijena	19,34	18,51	17,96	17,43	18,06	20,22	31,54	39,82	41,92	43,75	40,76	40,14
potrošnja	0,625	0,25	0,125	0,125	0,25	0,5	0,75	1	1	1,125	1,5	1,5
proizvodnja	0	0	0	0	0	1	2	3	5	6	7	7
bez baterije	-12,09	-4,63	-2,245	-2,189	-4,515	10,11	39,43	79,64	167,68	213,28	224,18	220,77
s baterijom	-147,56	-189,73	-181,76	-176,39	-185,12	-116,47	39,43	358,38	586,88	650,56	631,78	590,46
vrijeme	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
cijena	40,58	29,43	27,12	27,12	27,38	27,83	33,54	39,3	47,9	41,08	31,95	22,75
potrošnja	1,625	1,25	1	0,75	0,875	1	1,125	1	0,875	0,875	0,75	0,75
proizvodnja	7	7	7	6	5	3	1,5	1	0	0	0	0
bez baterije	218,12	169,22	162,72	142,38	112,94	55,66	12,58	0	-41,91	-35,95	-23,96	-17,06
s baterijom	623,71	-125,08	-108,48	-128,82	-160,72	-222,64	12,41	393	436,85	374,65	-247,61	-244,56

ukupna zarada/trošak [EUR]	
bez baterije	1684,16
s baterijom	2463,17

U scenariju 5.4 zadana potrošnja ponovno je smanjena za 25%. U ovom slučaju s budućom cijenom 35 EUR/MWh zarada bez baterijskog spremnika iznosi 1684,16 EUR, dok zarada u slučaju postojanja baterijskog spremnika iznosi 2463,17 EUR. U ovom slučaju zastupnik je korištenjem baterijskog spremnika ostvario zaradu od 779,01 EUR. Ponovno vodeći se pretpostavkom da će zastupnik prodati svih 21 MWh po budućoj cijeni 35 EUR/MWh, produktom tih dviju vrijednosti ostvaruje zaradu od 735 EUR, te ukupno ostvaruje dobit zbog upotrebe spremnika u iznosu od 1514,01 EUR.



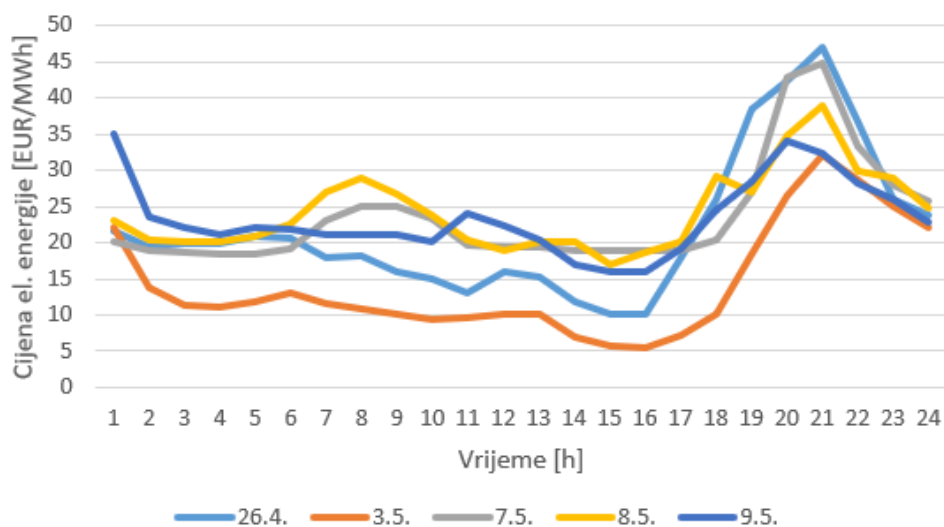
Slika 25. Usporedba SOC-a s obzirom na buduću cijenu električne energije

## 5.5 Scenarij za dan 10.05.2020. s budućom cijenom 30 EUR/MWh

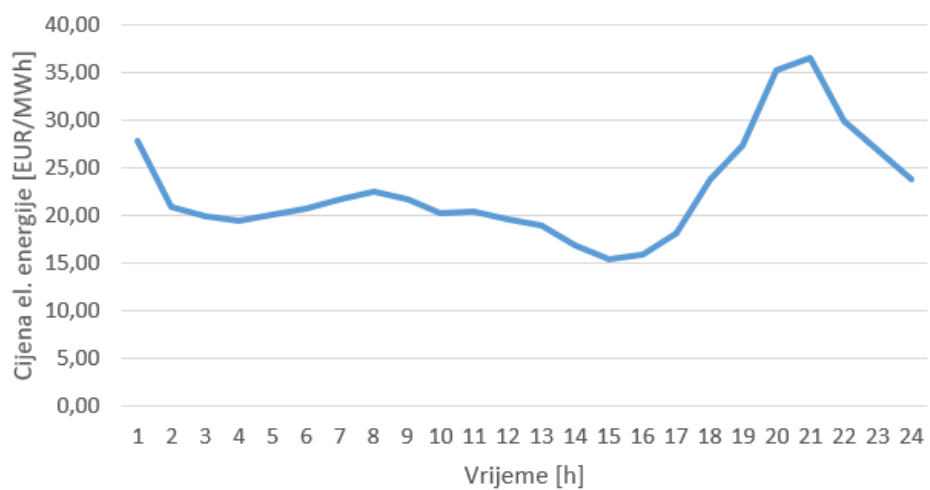
U scenariju 5.5 prikazani su rezultati dobiveni analizom dana 10.05.2020. s budućom cijenom električne energije na tržištu u iznosu od 30 EUR/MWh.

Tablica 26. Tablica proračuna očekivane cijene električne energije za dan 10.05.2020.[10]

Vjerojatnosti scenarija	0,05	0,1	0,15	0,25	0,45	1						
Datum	26.4.	3.5.	7.5.	8.5.	9.5.							10.5.
1	21,55	22,18	20,08	23,18	34,99		1,0775	2,218	3,012	5,795	15,7455	27,85
2	19,3	13,76	19,03	20,44	23,53		0,965	1,376	2,8545	5,11	10,5885	20,89
3	20	11,44	18,57	20,04	22		1	1,144	2,7855	5,01	9,9	19,84
4	20	11,15	18,5	20,09	21,01		1	1,115	2,775	5,0225	9,4545	19,37
5	20,93	11,82	18,48	20,83	22		1,0465	1,182	2,772	5,2075	9,9	20,11
6	20,71	13,07	19,07	22,61	21,73		1,0355	1,307	2,8605	5,6525	9,7785	20,63
7	18	11,56	23,01	26,95	21,11		0,9	1,156	3,4515	6,7375	9,4995	21,74
8	18,09	10,94	25,03	28,98	21,11		0,9045	1,094	3,7545	7,245	9,4995	22,50
9	16,06	10	24,98	26,8	21,06		0,803	1	3,747	6,7	9,477	21,73
10	15,01	9,4	23,37	23,86	20,24		0,7505	0,94	3,5055	5,965	9,108	20,27
11	13	9,7	19,7	20,35	23,95		0,65	0,97	2,955	5,0875	10,7775	20,44
12	16	10	19,4	19,03	22,43		0,8	1	2,91	4,7575	10,0935	19,56
13	15,35	10	19,4	20,1	20,5		0,7675	1	2,91	5,025	9,225	18,93
14	11,9	7,06	19	20,1	16,93		0,595	0,706	2,85	5,025	7,6185	16,79
15	10	5,84	19	17	16,02		0,5	0,584	2,85	4,25	7,209	15,39
16	10	5,57	19	18,78	16		0,5	0,557	2,85	4,695	7,2	15,80
17	18,06	7,14	19	20,1	19,11		0,903	0,714	2,85	5,025	8,5995	18,09
18	26,09	10,21	20,39	29,1	24,54		1,3045	1,021	3,0585	7,275	11,043	23,70
19	38,48	18,39	26,91	26,96	28,38		1,924	1,839	4,0365	6,74	12,771	27,31
20	42,42	26,41	42,88	34,8	34		2,121	2,641	6,432	8,7	15,3	35,19
21	46,91	32	44,88	38,96	32,38		2,3455	3,2	6,732	9,74	14,571	36,59
22	36,85	28,79	33,27	29,92	28,28		1,8425	2,879	4,9905	7,48	12,726	29,92
23	25,92	24,98	27,93	28,86	25,91		1,296	2,498	4,1895	7,215	11,6595	26,86
24	23,76	22,06	25,8	24,9	22,93		1,188	2,206	3,87	6,225	10,3185	23,81



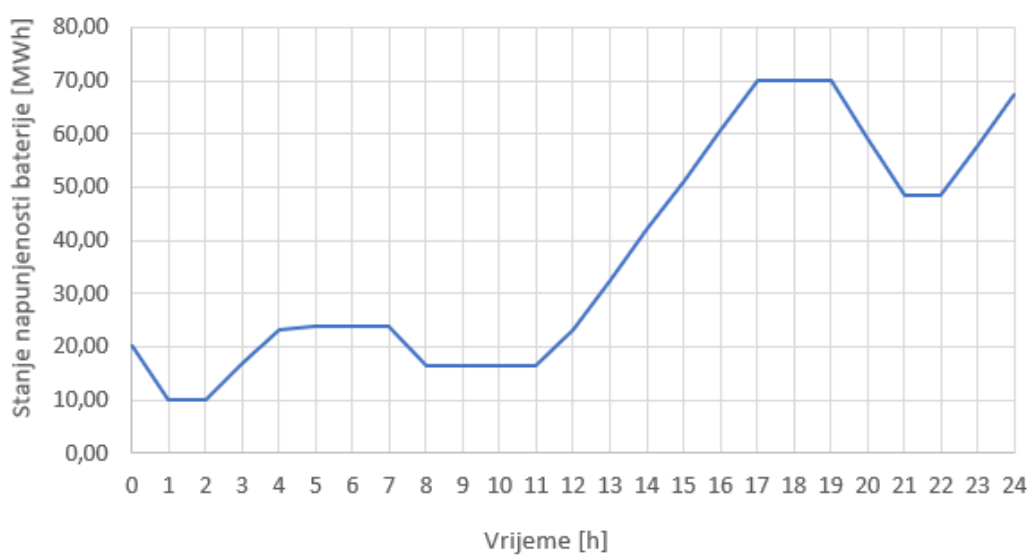
Slika 26. Grafički prikaz cijena električne energije na CROPEX tržištu



Slika 27. Grafički prikaz očekivane cijene električne energije na tržištu za dan 10.05.2020.

Tablica 27. Stanje napunjenosti (SOC) baterijskog spremnika

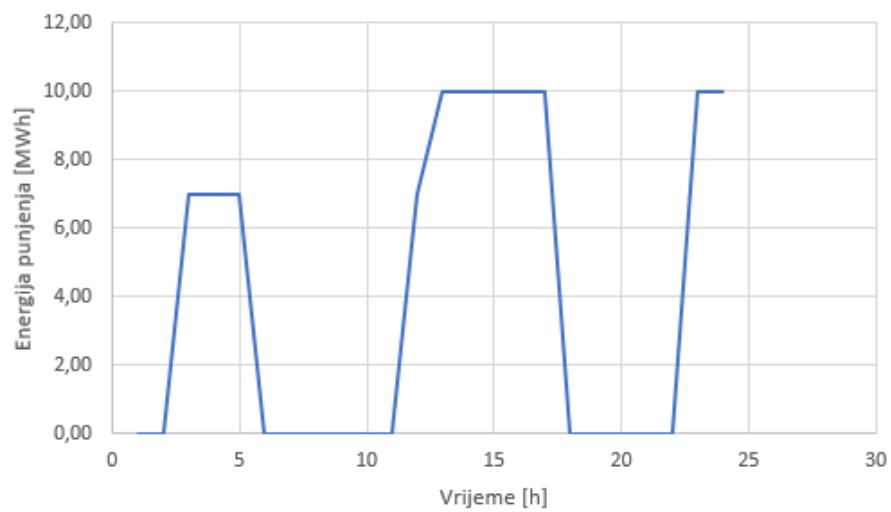
vrijeme [h]	0	1	2	3	4	5	6
stanje napunjenosti baterije [MWh]	20	10,00	10,00	16,65	23,30	23,97	23,97
vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12	
stanje napunjenosti baterije [MWh]	23,97	16,60	16,60	16,60	16,60	23,25	
vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18	
stanje napunjenosti baterije [MWh]	32,60	41,95	51,30	60,65	70,00	70,00	
vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24	
stanje napunjenosti baterije [MWh]	70,00	59,30	48,60	48,60	57,95	67,30	



Sika 28. Grafički prikaz stanja napunjenosti baterijskog spremnika

Tablica 28. Energija punjenja baterijskog spremnika

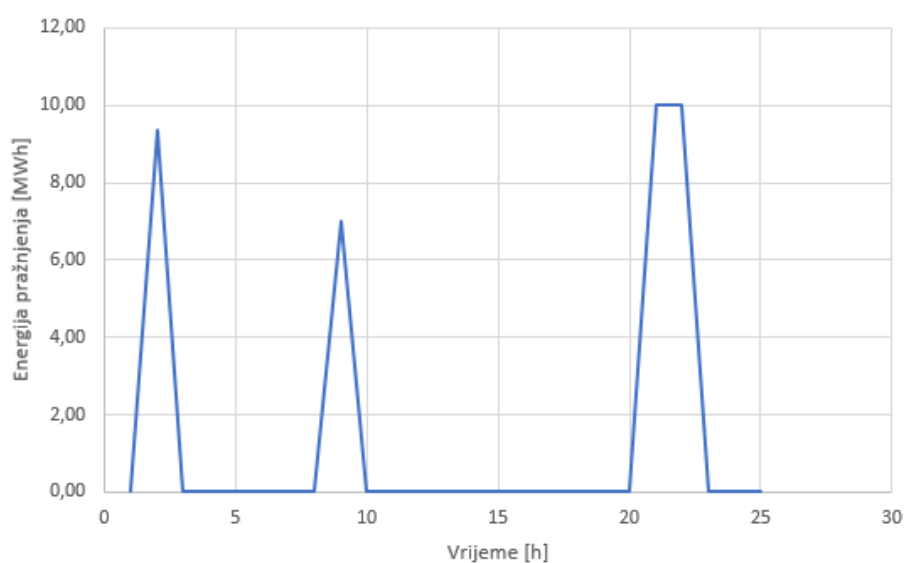
vrijeme [h]			1	2	3	4	5	6
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]			0,00	0,00	7,00	7,00	7,00	0,00
vrijeme [h]			7	8	9	10	11	12
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00
vrijeme [h]			13	14	15	16	17	18
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]			10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00
vrijeme [h]			19	20	21	22	23	24
energija punjenja baterijskog spremnika [MWh]			0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	10,00



Slika 29. Grafički prikaz energije punjenja baterijskog spremnika

Tablica 29. Energija pražnjenja baterijskog spremnika

vrijeme [h]				1	2	3	4	5	6
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]				9,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vrijeme [h]				7	8	9	10	11	12
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]				0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vrijeme [h]				13	14	15	16	17	18
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vrijeme [h]				19	20	21	22	23	24
energija pražnjenja baterijskog spremnika [MWh]				0,00	10,00	10,00	0,00	0,00	0,00

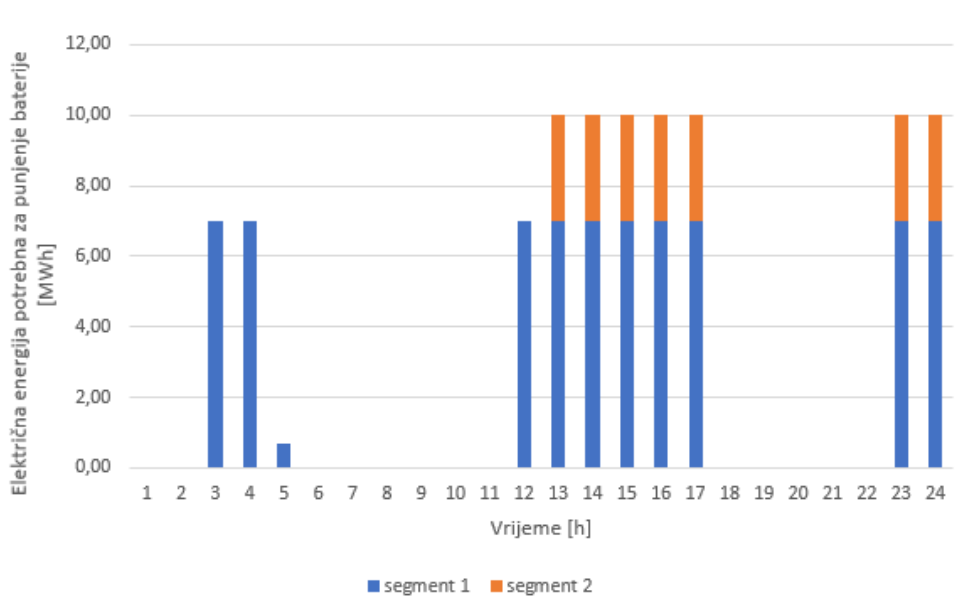


Slika 30. Grafički prikaz energije pražnjenja baterijskog spremnika



Tablica 30. Električna energija potrebna za punjenje baterijskog spremnika

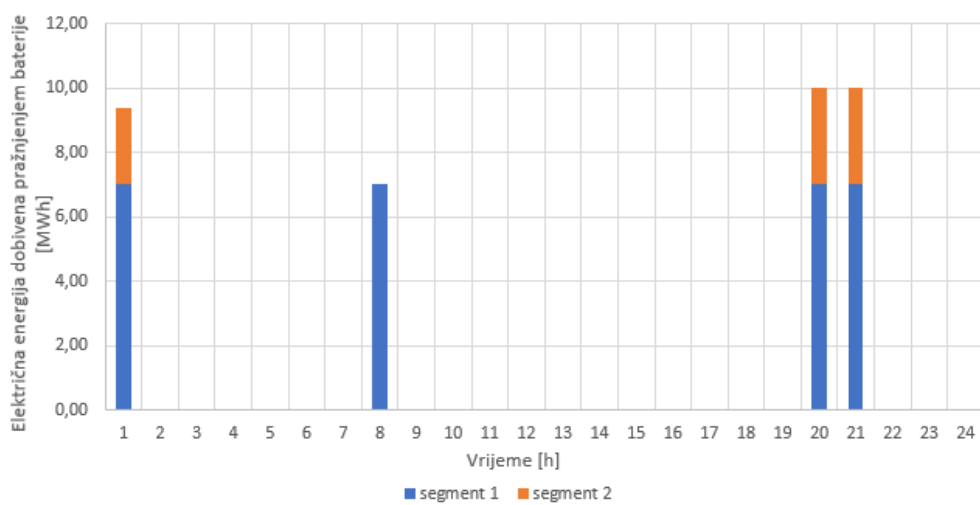
	vrijeme [h]	1	2	3	4	5	6
segment 1		0,00	0,00	7,00	7,00	0,70	0,00
segment 2		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12
segment 1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00
segment 2		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18
segment 1		7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	0,00
segment 2		3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00
	vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24
segment 1		0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	7,00
segment 2		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00



Slika 31. Grafički prikaz energije potrebne za punjenje baterijskog spremnika

Tablica 31. Električna energija dobivena pražnjenjem baterijskog spremnika

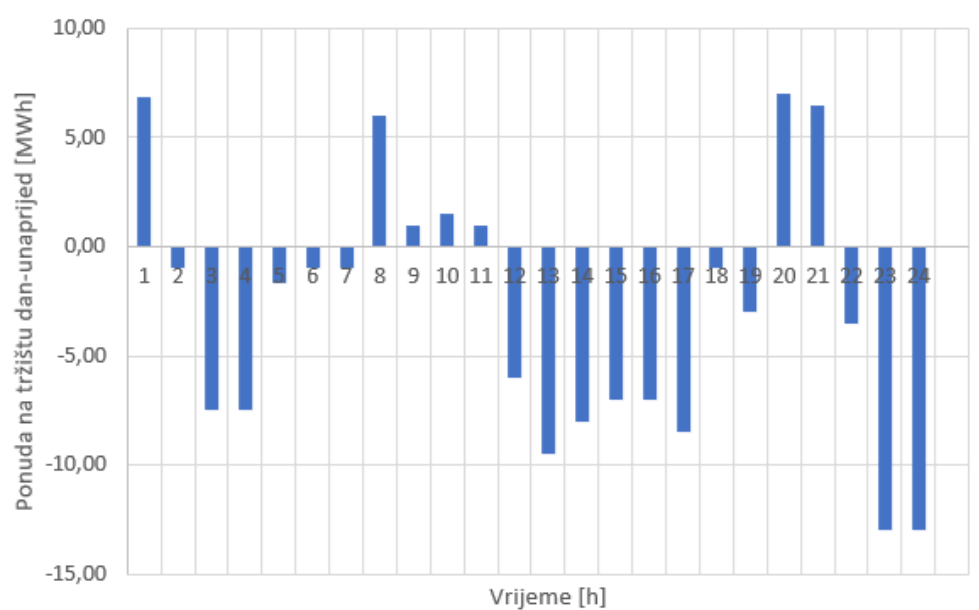
	vrijeme [h]	1	2	3	4	5	6
segment 1		7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
segment 2		2,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12
segment 1		0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00
segment 2		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18
segment 1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
segment 2		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24
segment 1		0,00	7,00	7,00	0,00	0,00	0,00
segment 2		0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00



Slika 32. Grafički prikaz električne energije dobivene pražnjenjem baterijskog spremnika

Tablica 32. Ponuda na tržištu dan unaprijed

vrijeme [h]		1	2	3	4	5	6
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]		6,87	-1,00	-7,50	-7,50	-1,70	-1,00
vrijeme [h]		7	8	9	10	11	12
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]		-1,00	6,00	1,00	1,50	1,00	-6,00
vrijeme [h]		13	14	15	16	17	18
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]		-9,50	-8,00	-7,00	-7,00	-8,50	-1,00
vrijeme [h]		19	20	21	22	23	24
ponuda na tržištu dan unaprijed [MWh]		-3,00	7,00	6,50	-3,50	-13,00	-13,00



Slika 33. Grafički prikaz ponude na tržištu dan unaprijed

Tablica 33. Ukupna zarada (ili trošak) na tržištu sa i bez baterijskog spremnika

vrijeme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
cijena	27,85	20,89	19,84	19,37	20,11	20,63	21,74	22,5	21,73	20,27	20,44	19,56
potrinja	2,5	1	0,5	0,5	1	2	3	4	4	4,5	6	6
proizvodnja	0	0	0	0	0	1	2	3	5	6	7	7
bez baterije	-69,63	-20,89	-9,92	-9,69	-20,11	-20,63	-21,74	-22,5	21,73	30,41	20,44	19,56
s baterijom	191,33	-20,89	-148,8	-145,28	-34,19	-20,63	-21,74	135	21,73	30,41	20,44	-117,36
vrijeme	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
cijena	18,93	16,79	15,39	15,8	18,09	23,7	27,31	35,19	36,59	29,92	26,86	23,81
potrinja	6,5	5	4	3	3,5	4	4,5	4	3,5	3,5	3	3
proizvodnja	7	7	7	6	5	3	1,5	1	0	0	0	0
bez baterije	9,47	33,58	46,17	47,4	27,14	-23,7	-81,93	-105,57	-128,07	-104,72	-80,58	-71,43
s baterijom	-179,84	-134,32	-107,73	-110,6	-153,77	-23,7	-81,93	246,33	237,84	-104,72	-359,2	-309,53

ukupna zarada/trošak [EUR]												
bez baterije											-535,21	
s baterijom											-1191,15	

Na osnovu dobivenih rezultata simulacije za scenarij 5.5 zaključeno je sljedeće:

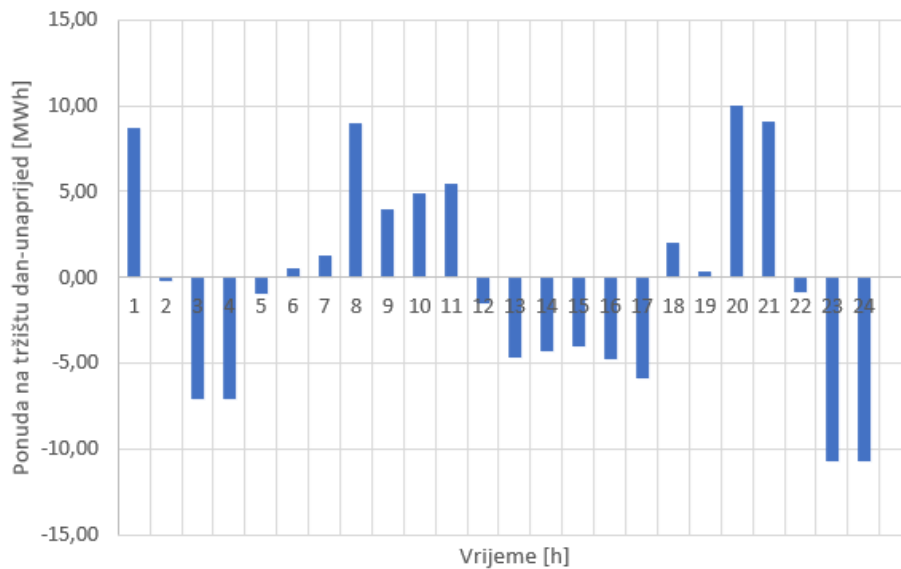
Punjenje baterijskog spremnika odvija se između trećeg i petog sata, između dvanaestog i sedamnaestog sata, te na kraju dana u dvadeset trećem i dvadeset četvrtom satu. Pražnjenje spremnika prema provedenoj analizi odvija se u prvom i osmom satu, te između desetog i dvadeset prvog sata. Stanje napunjenosti spremnika u prvom i drugom satu bit će na minimalnoj vrijednosti od 10 MWh, dok je između sedamnaestog i devetnaestog sata stanje napunjenosti na maksimalnoj vrijednosti od 70 MWh. S obzirom na to da se u trećem slučaju radi o analizi dana 10.05.2020 koji je nedjelja, troškovi i zarada drastično su drugačiji nego u prethodnoj analizi radnog dana u tjednu. U slučaju bez baterijskog spremnika troškovi su 535,21 EUR, dok su troškovi s baterijskim spremnikom 1191,15 EUR. Zastupnik u ovom slučaju na tržištu ostvaruje trošak od 655,94 EUR. Krajnje stanje napunjenosti baterijskog spremnika iznosi 68 MWh, dok je početno stanje iznosilo 20 MWh. Baterijski spremnik kroz cijeli dan napunio se za 48 MWh. Pretpostavkom da će zastupnik prodati po budućoj cijeni svih 48 MWh, produktom buduće cijene električne energije koja iznosi 30 EUR/MWh i napunjenosti iznosa 48 MWh, dobiven je iznos od 1440 EUR koje će zastupnik ostvariti u sljedećem danu. Nadoknađujući trošak od 655,94 EUR, zastupnik ostaje s konačnom zaradom zbog upotrebe spremnika u iznosu 784,06 EUR.

### 5.6 Scenarij za dan 10.05.2020. s budućom cijenom 30 EUR/MWh i smanjenom potrošnjom za 25%

U scenariju 5.6 prikazani su rezultati dobiveni analizom dana 10.05.2020. s budućom cijenom električne energije na tržištu u iznosu 30 EUR/MWh te 25% manjom potrošnjom.

Tablica 34. Ponuda na tržištu dan unaprijed

vrijeme [h]	1	2	3	4	5	6
ponuda na tržište dan unaprijed [MWh]	8,74	-0,25	-7,13	-7,13	-0,95	0,50
vrijeme [h]	7	8	9	10	11	12
ponuda na tržište dan unaprijed [MWh]	1,25	9,00	4,00	4,87	5,50	-1,50
vrijeme [h]	13	14	15	16	17	18
ponuda na tržište dan unaprijed [MWh]	-4,62	-4,25	-4,00	-4,75	-5,88	2,00
vrijeme [h]	19	20	21	22	23	24
ponuda na tržište dan unaprijed [MWh]	0,38	10,00	9,13	-0,88	-10,75	-10,75



Slika 34. Grafički prikaz ponude na tržištu dan unaprijed

Tablica 35. Ukupna zarada (ili trošak) na tržištu sa i bez baterijskog spremnika u slučaju smanjene potrošnje za 25%

vrijeme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
cijena	27,85	20,89	19,84	19,37	20,11	20,63	21,74	22,5	21,73	20,27	20,44	19,56
potrošnja	0,625	0,25	0,125	0,125	0,25	0,5	0,75	1	1	1,125	1,5	1,5
produkcija	0	0	0	0	0	1	2	3	5	6	7	7
bez baterije	-17,41	-5,22	-2,48	-2,42	-5,03	10,315	27,18	45	86,92	98,82	112,42	107,58
s baterijom	243,41	-5,22	-141,46	-138,12	-19,1	10,32	27,18	202,5	86,92	98,71	112,42	-29,34
vrijeme	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
cijena	18,93	16,79	15,39	15,8	18,09	23,7	27,31	35,19	36,59	29,92	26,86	23,81
potrošnja	1,625	1,25	1	0,75	0,875	1	1,125	1	0,875	0,875	0,75	0,75
produkcija	7	7	7	6	5	3	1,5	1	0	0	0	0
bez baterije	101,75	96,54	92,34	82,95	74,62	47,4	10,24	0	-32,02	-26,18	-20,15	-17,86
s baterijom	-87,46	-71,36	-61,56	-75,05	-106,37	47,4	10,38	351,9	334,07	-26,33	-288,75	-255,96

ukupna zarada/trošak [EUR]	
bez baterije	865,31
s baterijom	219,13

U scenariju 5.6 potrošnja je smanjena za 25%. Ostvarena dobit bez baterijskog spremnika iznosi 865,31 EUR, dok s baterijskim spremnikom iznosi 219,13 EUR. Dakle korištenjem baterijskog spremnika u ovom slučaju zastupnik je u gubitku 646,18 EUR. Pretpostavkom da će zastupnik prodati svih napunjenih 48 MWh po budućoj cijeni od 30 EUR/MWh, produktom tih vrijednosti ostvaruje se zarada od 1440 EUR. Nadoknađujući trošak od 646,18 EUR, zastupnik je upotrebom spremnika u konačnici ostvario zaradu od 793,82 EUR.

## 6. ZAKLJUČAK

Nakon izvršene simulacije u programu Matlab te dobivenih rezultata definirano je kako se ponaša baterijski spremnik s obzirom na cijenu električne energije na tržištu dan unaprijed, buduću cijenu električne energije na tržištu dan unaprijed, proizvodnju električne energije iz FN elektrane te potrošnju električne energije. Prilikom provođenja analize cijena električne energije za određeni dan (u ovom slučaju 21.05.2020. i 10.05.2020.) bazirana je na cijenama energije prethodnih dana. Analizom je utvrđeno ponašanje baterijskog spremnika (punjenje i pražnjenje), stanje napunjenosti te ponuda na tržište dan unaprijed. Usporedba promatranih slučajeva dana je u tablicama 36 i 37.

Ovako provedenom analizom zaključeno je da će baterijski spremnik ukoliko je buduća cijena električne energije veća od cijene energije u posljednjim satima promatranog dana, energiju pohranjivati te ju sačuvati kako bi se ta energija prodala sljedećeg dana po većoj cijeni, dok će za trenutne potrebe korisnika energiju kupovati na tržištu. Suprotno, ukoliko je buduća cijena električne energije manja od cijene energije posljednjih sati promatranog dana tada će se energija spremnika po najvišim cijenama prodavati na tržište, a po niskim cijenama kupovati. Tako gledano zastupnik u jednom danu može završiti s velikom novčanim troškom zbog toga što je energiju kupovao s tržišta, no taj će trošak nadoknaditi sljedećeg dana kada energiju iz spremnika bude prodavao na tržište po većoj cijeni. Smanjenjem potrošnje za 25% smanjena je potrebu za količinom električne energije koju iskorištavaju korisnici te je sukladno tome dana ponuda na tržište dan unaprijed.

Tablica 36. Usporedba scenarija za dan 21.05.2020.

<b>21.05.2020.</b>	Zadana potrošnja, buduća cijena 20EUR/MWh	25% manja potrošnja, buduća cijena 20EUR/MWh	Zadana potrošnja, buduća cijena 35 EUR/MWh	25% manja potrošnja, buduća cijena 35EUR/MWh
Zarada/ trošak bez spremnika (EUR)	-381,61	1684,16	-381,61	1684,16
Zarada/trošak sa spremnikom (EUR)	1251,215	3384,25	377,14	2463,17
Razlika zarade/troška sa i bez upotrebe spremnika (EUR)	1632,81	1700,25	758,75	779,01
Promjena vrijednosti sačuvane energije u spremniku (EUR)	-200	-200	735	735
Ukupna zarada zbog korištenja spremnika (EUR)	1432,83	1500,25	1493,75	1514,01



Analizom dana 21.05.2020. godine dokazana je dobrobit baterijskog spremnika koja se očituje u obliku zarade zastupnika zbog korištenja spremnika. S manjom budućom cijenom električne energije zastupnik će tog dana ostvariti veći profit nego u slučaju kada je buduća cijena električne energije veća, no u sljedećem danu prodavajući preostalu energiju zastupnik će ostvariti manji profit u slučaju manje buduće cijene, nego kada je buduća cijena električne energije veća. Upravo ovi rezultati potkrjepljuju prethodno dani zaključak da kada je manja buduća cijena, energija se tog dana više prodaje na tržište, a kada je buduća cijena veća, energija se pohranjuje u spremniku kako bi se sljedećeg dana prodala na tržište i kako bi se ostvarila veća dobit.

*Tablica 37. Usporedba scenarija za 10.05.2020.*

<b>10.05.2020.</b>	Zadana potrošnja, buduća cijena 30 EUR/MWh	25% manja potrošnja, buduća cijena 30 EUR/MWh
Zarada/ trošak bez spremnika (EUR)	-535,21	865
Zarada/trošak sa spremnikom (EUR)	-1191,15	219
Razlika zarade/troška sa i bez upotrebe baterijskog spremnika (EUR)	-655,94	-646,18
Promjena vrijednosti sačuvane energije u spremniku (EUR)	1440	1440
Ukupna zarada zbog korištenja spremnika (EUR)	784,06	793,82

Dan 10.05.2020. zapravo je pravi pokazatelj kako zastupnik kroz sljedeći dan prodajom energije pohranjene u spremniku po visokoj budućoj cijeni nadoknađuje prethodno prouzročen trošak. Baterijski spremnik kroz dan napunio se za 48 MWh, što pretpostavkom da sve prodamo po cijeni od 30 EUR/MWh znači zaradu od 1440 EUR. Nadoknađujući trošak od 655,94 EUR zastupnik zapravo ostvaruje dobit od 784,06 EUR. Isti izračun vrijedi i za 25% manju potrošnju.

Baterijski spremnik ekonomičan je i efektivan dio sustava koji omogućuje provođenje različitih analiza i praćenja dobiti. Iako u nekim danima kao što je prethodno navedena nedjelja, na kraju dana zastupnik završava u minusu, baterijski spremnik taktički je odradio svoj posao gdje je zastupnik u sljedećem danu ostvario dvostruko veću dobit od prethodnog troška. Dugoročno korištenje baterijskog spremnika zastupnicima omogućava vrlo veliku novčanu korist.

## 7. SAŽETAK

U uvodnom dijelu rada ukratko je opisan zadatak diplomskog rada. U drugom poglavlju dan je pregled literature u području istraživanja stacionarnog spremnika električne energije koja je bila potrebna za ovaj diplomski rad. Osnovna teorijska razmatranja i opis baterijskog spremnika električne energije i njegov utjecaj na elektroenergetski sustav dani su u trećem poglavlju. U četvrtom poglavlju matematičkim je modelom opisan baterijski spremnik, međusobna ovisnost parametara te je matematički detaljno razrađena ovisnost plana pražnjenja i punjenja baterijskog spremnika i cijena na tržištu električne energije. Nakon provedene analize u petom poglavlju prikazani su rezultati simulacija, izračunati troškovi i dobiti, te dani komentari na svaki scenarij. Nakon provedene analize u šestom poglavlju zaključeno je s obzirom na provedenu analizu kakav je utjecaj na trošak ili dobit tog dana imao baterijski spremnik.

Ključne riječi: električna energija, spremnik energije, baterijski spremnik, tržište dan unaprijed

## **8. ABSTRACT**

The goal of this thesis was shortly described in the introduction – the goals of simulation and analysis. In the second chapter, a literature list in the field of stationary electrical energy storage was given. Theoretical basis and a description of battery storage, as well as its influence on the electromagnetic system are described in the third chapter. In the fourth chapter, battery storage unit was presented using a mathematical model, as well as parameter dependency. Relation between battery storage and electrical energy market was described in detail. After analysis, results of simulations, calculations of cost and profit were presented, and each given scenario was commented. Considering the given analysis, a conclusion was given regarding the influence on the monetary loss or gain during the day for the battery storage.

Keywords: electrical energy, energy storage, battery storage, market day ahead

## 9. LITERATURA

- [1] T. P. Zora Luburić, Hrvoje Bašić, Hrvoje Pandžić, “12. simpozij o sustavu vođenja EES-a The role of Energy Storage in Smart Grids,” no. Studeni, Split, pp. 1–10, 2016.
- [2] D. Linden *et al.*, “HANDBOOK OF BATTERIES,” 2002.
- [3] “Baterije – vrste, tehnologija izrade i način rada | PC CHIP.” [Online]. Available: <https://pcchip.hr/ostalo/tech/baterije-vrste-tehnologija-izrade-i-nacin-rada/>. [Accessed: 12-Mar-2020].
- [4] M. Murnane and A. Ghazel, “A Closer Look at State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) Estimation Techniques for Batteries.”
- [5] I. Đurić, T. Marijanić, and J. Škare, “BATERIJSKI SPREMNICI ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI HRVATSKI OGRANAK MEĐUNARODNE ELEKTRODISTRIBUCIJSKE KONFERENCIJE-HO CIRED,” 2018.
- [6] H. P. Zlatko Ofak, Alan Župan, Tomislav Pavšić, Zora Luburić, “Pravilnik o priključenju spremnika energije na elektroenergetski sustav.”
- [7] “IZVJEŠĆE KOMISIJE EUROPSKOM PARLAMENTU, VIJEĆU, EUROPSKOM GOSPODARSKOM I SOCIJALNOM ODBORU, EUROPSKOM ODBORU REGIJA I EUROPSKOJ INVESTICIJSKOJ BANCI o provedbi strateškog akcijskog plana za baterije: razvoj strateškog vrijednosnog lanca baterija u Europi .”
- [8] “China added as much battery-storage capacity in 2018 as all previous years combined — Quartz.” [Online]. Available: <https://qz.com/1371099/china-added-as-much-battery-storage-capacity-in-2018-as-all-previous-years-combined/>. [Accessed: 14-Apr-2020].
- [9] “The 5 Countries That Produce the Most Solar Energy.” [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/articles/investing/092815/5-countries-produce-most-solar-energy.asp>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [10] “REZULTATI DAN UNAPRIJED TRŽIŠTA.” [Online]. Available: <https://www.cropex.hr/hr/trgovanja/dan-unaprijed-trziste/rezultati-dan-unaprijed-trzista.html>. [Accessed: 21-May-2020].

## 10. ŽIVOTOPIS

Monika Maligec rođena je u Osijeku 02.11.1996 godine. Nakon završene Osnovne škole Josipovac u Josipovcu upisuje srednju Elektrotehničku i prometnu školu u Osijeku gdje nakon četiri godine srednjoškolskog obrazovanja stječe zvanje Elektrotehničarka. Završavanjem četverogodišnjeg školovanja svoje obrazovanje 2015. nastavlja na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku (današnjem Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija) na kojem upisuje sveučilišni Preddiplomski studij elektrotehnike te se opredjeljuje za smjer Elektroenergetika. 2018. godine stječe naziv univ.bacc.ing te upisuje Diplomski studij elektrotehnike, smjer Elektroenergetika, izborni blok Elektroenergetski sustavi.