

# Tehnologija i izvedbe baterijskih spremnika energije

---

**Landeka, Leon**

**Undergraduate thesis / Završni 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:200:930789>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-19**

*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**

**TEHNOLOGIJA I IZVEDBE BATERIJSKIH  
SPREMNIKA ENERGIJE**

**Završni rad**

**Leon Landeka**

**Osijek, 2020.**

# Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| <b>1. UVOD</b> .....   | 1  |
| 1.1. Zadatak završnoga rada .....  | 1  |
| <b>2. TEORIJSKI PREGLED LITERATURE</b> .....   | 2  |
| <b>3. OPĆENITO O BATERIJAMA</b> .....  | 3  |
| 3.1. Povijest baterija .....   | 3  |
| 3.2. Elektrokemijski članak .....  | 4  |
| <b>4. PODJELA I NAČIN RADA BATERIJA</b> .....  | 7  |
| 4.1. Parametri baterija.....   | 7  |
| 4.2. Primarne baterije .....   | 7  |
| 4.3. Sekundarne baterije.....  | 9  |
| 4.4. AGM i GEL baterije .....  | 12 |
| <b>5. BATERIJSKI SPREMNICI ENERGIJE</b> .....  | 15 |
| 5.1. Uloga BESS-a u distribucijskom sustavu .....  | 15 |
| 5.2. Komponente baterijskog spremnika.....   | 16 |
| 5.3. Karakteristike baterijskog spremnika energije: .....  | 17 |
| <b>6. SIMULACIJA I ANALIZA BATERIJSKOG SPREMNIKA I FOTONAPONSKOG SUSTAVA<br/>U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI</b> ..... | 19 |
| <b>ZAKLJUČAK</b> .....   | 46 |
| <b>SAŽETAK</b> .....   | 47 |
| <b>SUMMARY</b> .....   | 47 |
| <b>LITERATURA:</b> .....   | 48 |



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 30.09.2020.

Ime i prezime studenta:

Leon Landeka

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4134b, 04.10.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

6

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Tehnologija i izvedbe baterijskih spremnika energije**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Predrag Marić

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:

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

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 26.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

|   |   |
|---|---|
| <b>Ime i prezime studenta:</b>  | Leon Landeka  |
| <b>Studij, smjer:</b>   | Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija   |
| <b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>   | 4134b, 04.10.2019.  |
| <b>OIB studenta:</b>  | 04482244739   |
| <b>Mentor:</b>  | Izv. prof. dr. sc. Predrag Marić  |
| <b>Sumentor:</b>  |   |
| <b>Sumentor iz tvrtke:</b>  |   |
| <b>Naslov završnog rada:</b>  | Tehnologija i izvedbe baterijskih spremnika energije  |
| <b>Znanstvena grana rada:</b>   | <b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>   |
| <b>Predložena ocjena završnog rada:</b>   | Izvrstan (5)  |
| <b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b> | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda<br>Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda<br>Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda<br>Razina samostalnosti: 2 razina |
| <b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>   | 26.09.2020.   |
| <b>Datum potvrde ocjene Odbora:</b>   | 30.09.2020.   |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:         | Potpis:   |
|   | Datum:  |

## 1. UVOD

U ovom će završnome radu biti predstavljen i opisan problem na temu *Tehnološka izvedba baterijskih spremnika energije*. Također, dat će se pregled rezultata u rješavanju tog problema. U drugom poglavlju dat će se kratak pregled i opis korištene literature. Trećim poglavljem bit će dani osnovni podaci o baterijama. Sve veći problem današnjice jest taj što potrošnja električne energije s vremenom kontinuirano raste, povećava se broj ljudi koji žive u urbanim sredinama, a tako i opterećenje u distribucijskoj mreži. Većina korisnika mreže iščekuje da se održi visok standard kvalitete opskrbe električnom energijom. Pogon distribucijske mreže tako postaje pun novih sudionika, pogonskih događaja, informacija i podataka. Kao realizirajuće rješenje prethodno nabrojanih problema razmatra se uporaba spremnika električne energije velikog kapaciteta kao što su baterije o kojima će se nešto više reći dalje u rada.

O podjeli i načinu rada baterija reći će se nešto više u četvrtom poglavlju. Peto poglavlje sastojat će se od karakteristika i načina rada baterijskih spremnika energije. Baterije su karakteristične po tome što pretvaraju kemijsku energiju u električnu o čemu će se detaljnije pisati u ovom dijelu rada.

Šestim poglavljem prikazat će se simulacija. Na kraju završnoga rada donosi se usustavljen pregled rada i rezultata simulacija.

### 1.1. Zadatak završnoga rada

Zadatak je predstaviti tehnologiju, glavne funkcionalnosti, ulogu i tehnološku izvedbu baterijskih spremnika energije sa svim potrebnim komponentama, koji bi se mogli primijeniti kao element u elektroenergetskoj mreže.

## 2. TEORIJSKI PREGLED LITERATURE

Autor u literaturi [1] opisuje bateriju kao i njene dijelove. Također, navodi podjelu baterija na primarne i sekundarne baterije, te iskazuje njihove pojedine prednosti i nedostatke. Pored toga, autor govori o procesu punjenja i pražnjenja baterije.

U literaturi [2] autorica objašnjava elektrokemijske procese koji se događaju unutar baterije. Uz to navodi i određene formule kemijskih reakcija koje se događaju na elektrodama tijekom pretvorbe elektrokemijske energije u električnu energiju.

Autori u literaturi [5] opisuju građu i različite izvedbe primarnih i sekundarnih baterija. Uz to autori navode njihove parametre i karakteristike koje su bitne za razlikovanje određenih tehnologija baterija.

U literaturi [18] autor objašnjava razliku između AGM i GEL baterija i navodi njihove osnovne karakteristike. Također, autor opisuje proces punjenja i pražnjenja olovne baterije što prikazuje slikom.

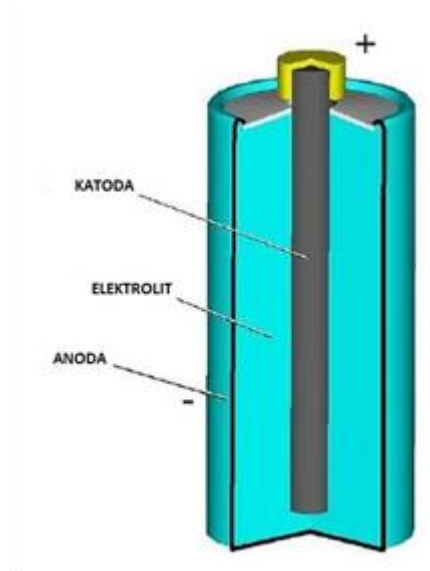
Autori u literaturi [20] detaljno opisuju baterijski spremnik energije. Objašnjavaju njegovu primjenu i funkciju u distribucijskoj mreži. Nadalje, autori navode prednosti koje nudi baterijski spremnik kako za mrežu tako i za krajnje korisnike, što ujedno znači da ima značajnu ulogu u mreži.

U literaturi [21] autor navodi komponente baterijskog spremnika i objašnjava njihovu funkciju. Također, opisuje ideju primjene baterijskog spremnika zajedno sa solarnim panelima preko kojih se puni.

Autori u literaturi [23] objašnjavaju polaznu ideju mikromreža, te uz to predstavljen je i model mikromreže. Pored toga, navode određene mjere koje bi se trebale provoditi za siguran rad baterijskog spremnika u mreži.

### 3. OPĆENITO O BATERIJAMA

Električna (u nastavku rada el.) baterija je el. naprava u kojoj se pohranjuje kemijska energija i zatim je pretvara u električnu pomoću elektrokemijskih redoks reakcija. Sadrži jedan ili više članak koji mogu biti spojeni serijski ili paralelno. Elektrokemijsku jedinicu koja izravno pretvara kemijsku energiju u električnu nazivamo člankom te ujedno djeluje kao izvor električne energije, a sastoji se od dva dijela: elektroda i elektrolita. Anoda predstavlja negativnu elektrodu koja vanjskome krugu daje elektrone te tijekom elektrokemijske reakcije oksidira. Katoda predstavlja pozitivnu elektrodu koja iz vanjskog kruga prima elektrone i tijekom elektrokemijske reakcije se reducira, dok je elektrolit medij kojim se u vidu iona između katode i anode prenosi naboj. Uglavnom je to tekućina koja sadrži kiseline, alkale ili otopljene soli za poboljšanje vodljivosti. [1]



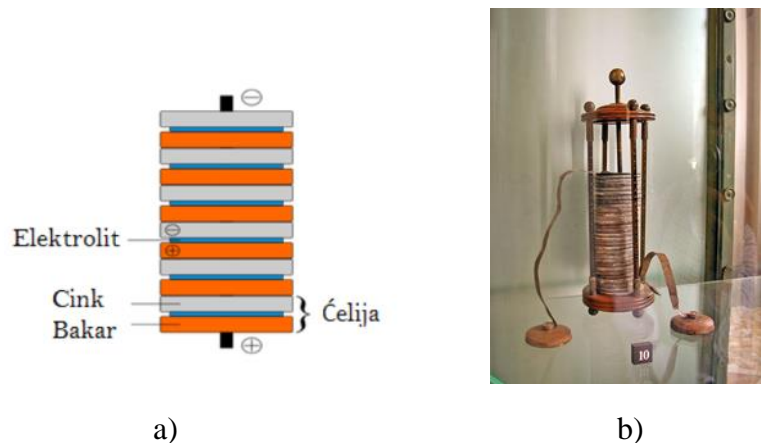
Slika 2.1. Građa baterije, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Baterija>; preuzeto 7. 8. 2020.

#### 3.1. Povijest baterija

Prvi rezultati koji pripadaju elektrokemiji potječu od sredine 18. stoljeća. Tada su mnogi istraživači proučavali kemijske promjene koje su nastale zbog protjecanja električne struje. [2] Može se reći da je stvarni razvoj elektrokemije i njezin izrast u posebnu znanstvenu disciplinu započeo potkraj 18. stoljeća, pokusima L. Galvanija (1791.) i A. Volte (1792.). Galvanijevo otkriće temeljilo se na tome da se žablji kraci trzaju kada dođu u kontakt s dva različita metala, koji su na drugom kraju međusobno spojeni. [2] Galvani je tu pojavu pridodao određenim živčanim osobinama tkiva, te je takvu pojavu nazvao „životinjski elektricitet“. Iduće godine fizičar A. Volta



objasnio je Galvanijevo otkriće kao efekt za koji je potreban kontakt dvaju različitih metala. Autor prema literaturi [2] navodi „Galvani je takvim načinom slučajno napravio prvi galvanski članak, dok je Volta (1798.) napravio prvi galvanski članak koji je predstavljao stabilan izvor električnog napona. Voltin se stup sastojao od naizmjenično poslaganih pločica načinjenih od bakra i cinka između kojih se nalazila tkanina natopljena kiselinom“. [2]



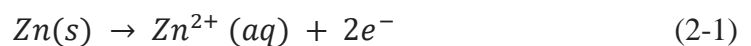
**Slika 2.2.** a) Shematski prikaz „Voltinog elektrostatičkog stupa“ b) Stvarni prikaz „Voltinog elektrostatičkog stupa“, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Voltin\\_elektostati%C4%8Dki\\_stup](https://hr.wikipedia.org/wiki/Voltin_elektostati%C4%8Dki_stup): preuzeto 7. 8. 2020.

### 3.2. Elektrokemijski članak

Ovim potpoglavljem поближе će se objasniti značenje elektrokemijskog članka te njegov način rada.

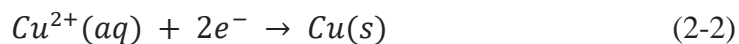
Elektrokemijski je članak uređaj kojim se proizvodi električna struja iz energije koja se otpušta spontanim redoks reakcijama. To su reakcije u kojima između molekula reaktanata dolazi do izmjene elektrona. Pri takvim reakcijama reaktant koji daje elektron oksidira te ga nazivamo reducens, a onaj koji ga prima reducira se pod nazivom oksidans.

Jedna vrsta elektrokemijskog članka jest Galvanski članak koji je izrađen od dvije elektrode. Jedna elektroda naziva se anoda koja je izrađena od metala cinka (Zn) i uronjena je u otopinu cinkova sulfata (ZnSO<sub>4</sub>), dok je druga katoda koja je izrađena od metala bakra (Cu) i uronjena u otopinu bakrova (II) sulfata (CuSO<sub>4</sub>). Metal s anode otpušta elektrone, tj. oksidira se, u otopini se povećava koncentracija cinkovih iona, a samim time masa cinkove elektrode se smanjuje. [4]



Gdje je:  $Zn(s)$ - neutralni atom u metalu cinka,  $Zn^{2+}(aq)$  – pozitivno nabijeni ioni koji su nastali zbog otpuštanja elektrona u otopini,  $2e^-$  - otpušteni elektroni iz metala cinka

Na katodi se u otopini nalaze ioni metala koji iste te elektrone primaju te se reduciraju u oksidacijsko stanje, tj. elementarni bakar, tako se masa bakrene elektrode povećala. [3], [4]



Gdje je:  $Cu^{2+}(aq)$  – pozitivno nabijeni ioni koji primaju elektrone,  $2e^-$  - elektroni koji su pristigli,  $Cu(s)$  – neutralni atom u metalu bakra

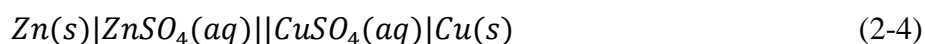
Proces dobivanja metala u čvrstom stanju, naziva se elektrodpozicija. Elektrode moraju biti međusobno povezane kako bi protok elektrona s jedne na drugu elektrodu (s anode na katodu) bio ostvaren. Takav protok elektrona predstavlja električnu struju koja se tada može koristiti za rad, a razlog njenog protjecanja je razlika potencijala između elektroda. [3] Tu razliku mjerimo voltmetrom i nazivamo je elektrodni potencijal, a određuje se prema formuli:

$$E_{\text{članka}} = E_{\text{katode}} - E_{\text{anode}} \quad (2-3)$$

Gdje je:  $E_{\text{katode}}$  – potencijal katode,  $E_{\text{anode}}$  – potencijal anode

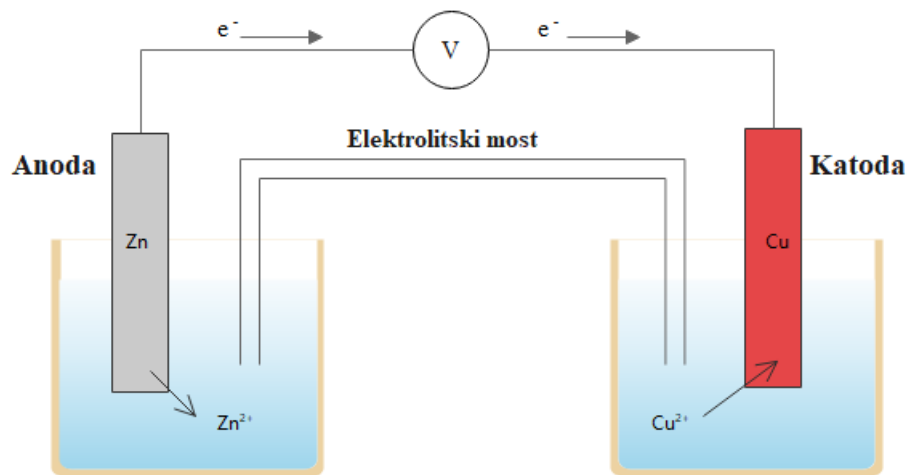
Napon Galvanskog članka iznosi 1,1 V. Treba naglasiti da otopine trebaju biti povezane vodljivim medijem kako bi se zatvorio električni krug, koji omogućuje protok iona između elektroda s jedne strane, a s druge ne dopušta miješanje elektrolita. Može se reći da se taj uvjet zadovoljava elektrolitskim mostom. Najjednostavniji oblik elektrolitnog mosta je U-cijev koja se sastoji od inertne otopine elektrolita (npr. KCl ili NaCl). [3] Elektrolitski most neutralizira višak pozitivnih i negativnih iona u polučlancima. Natrijevi ioni iz elektrolitskog mosta putuju u bakrov polučlanak, u otopinu  $CuSO_4$  kako bi nadoknadili manjak pozitivnog naboja do kojeg je došlo zbog redukcije bakrovih iona na katodi. Slično tome, u cinkovom polučlanku, povećanje koncentracije cinkovih iona uzrokuje porast pozitivnog naboja, koji se iz elektrolitskog mosta, neutralizira kloridnim ionima. [4] Takva vrsta članka naziva se Daniellov članak po britanskom kemičaru i fizičaru John Frederic Daniell-u.

Shematski prikaz Daniellova članka prikazan je jednadžbom:



gdje je: | - uspravna crta koja predstavlja granicu, promjenu oksidacijsko - redukcijskog stanja (elektroda | elektrolit), (s) - čvrsto agregatno stanje metala Zn i Cu, || - dvostruka uspravna crta označava elektrolitski most

Bitno je naglasiti da se prema dogovoru anodni proces piše s lijeve strane shematskog prikaza, dok se katodni piše s dense strane. [2]



Slika 2.3. Prikaz Daniellovog članka. [12]

## 4. PODJELA I NAČIN RADA BATERIJA

U ovom dijelu završnoga rada detaljnije će se opisati parametri baterija. S obzirom na mogućnost punjenja baterije dijelimo na primarne (nepunjive) i sekundarne (punjive) te će se u nastavku reći nešto više o njima.

### 4.1. Parametri baterija

U nastavku će se opisati neki od parametara baterija koji su bitni za razlikovanje različitih tehnologija baterija, prema literaturi [5] i [6]:

- Nominalni kapacitet – količina energije koju baterija prilikom punjenja može pohraniti te koju tijekom pražnjenja može dati. Izražava se u ampersatima (Ah).
- Energetska gustoća – predstavlja omjer sadržane energije i mase baterije. Izražava se po jedinici mase (Wh/kg) ili po jedinici volumena (Wh/l).
- Minimalni i maksimalni dozvoljeni napon na izvoru – minimalni napon javlja se kod potpuno ispražnjenog izvora, dok se maksimalni javlja kod potpuno napunjenog izvora.
- Maksimalna struja pražnjenja – izražava se u C-ovima, a to znači da struji uz koju će se izvor isprazniti u roku od jednog sata odgovara 1C.
- Ciklus – označava jedno pražnjenje i jedno punjenje, podrazumijeva se da se baterija uvijek puni do kraja.
- Životni vijek – pod ovim pojmom podrazumijeva se broj ciklusa nakon kojih kapacitet baterije nepovratno padne ispod 80 %.
- Unutarnji otpor – cilj je da unutarnji otpor mora biti što manji, jer ako je velik onda se veliki udio pohranjene energije kod pražnjenja i punjenja troši na zagrijavanje baterije.
- Temperatura skladištenja
- Samopražnjenje

### 4.2. Primarne baterije

Primarne baterije jednostavno rečeno su baterije koje kad se jednom iskoriste ne mogu se više napuniti jer njihov elektrokemijski proces nije reverzibilan, te one postaju neupotrebljive. Ako se pokuša ponovno puniti vrlo vjerojatno će se dogoditi da će baterija eksplodirati ili će iscuriti tekućina koja se nalazi unutar nje. [7]

Ova se vrsta baterija u današnje vrijeme sve rjeđe koristi zbog veće dostupnosti sekundarnih baterija. No, primarne baterije primjenu nalaze u raznim električnim i elektroničnim sklopovima, u napravama poput daljinskih upravljača, svjetiljki, satova i sl. Nadalje, jedna je od mana primarnih baterija velika unutarnja otpornost, što uzrokuje pad napona i zagrijavanja ćelije pri težim uvjetima rada. Pri uvjetima rada na nižim temperaturama kemijske reakcije postaju usporene dok se pri visokim temperatura mogu toliko ubrzati da uzrokuju gubitak kapaciteta. [8] Bitno je reći da je životni vijek primarnih baterija ograničen njihovim samopražnjenjem i obično se definira kao vrijeme potrebno da baterija dođe do 90 % svojeg početnog kapaciteta. [9] Neki od najpoznatijih tipova primarnih baterija, koji će detaljnije biti opisani u nastavku su: Cink – ugljik baterija, Cink – klorid baterija, Alkalna, Srebro – oksid baterija, Litij baterija, prema literaturi [10] i [11]

1. Cink – ugljik baterije – izumio ih je Georigre Lionel Leclanche 1866. godine. Anodu čini posudica od cinka, dok je katoda mješavina manganova dioksida i ugljika u prahu. Kao elektrolit koriste smjesu amonijevog klorida i cink – klorida. Nominalni napon iznosi 1,5 V. Jeftine su i lako dostupne i imaju nizak unutarnji otpor, odnosno, ne podnose veliku struju opterećenja. Također, životni vijek im je kratak i imaju loš učinak pri niskim temperaturama te im je energetska gustoća mala. Primjenjuju se u raznim kućanskim elektroničkim uređajima koji zahtijevaju nisku razinu potrošnje. Nazivaju se još i (engl. *General purpose*) baterije. [10] i [11]
2. Cink – klorid baterije – umjesto amonijeva klorida koristi se samo cinkov klorid kao elektrolit, dok su anoda i katoda ostali nepromijenjeni. Ova vrsta je poboljšana vrsta cink – ugljik baterija. Bitno je naglasiti da pružaju više struje, napona i dužeg su životnog vijeka. Nominalni napon iznosi 1,5 V. Također, poboljšana je učinkovitost na niskim i visokim temperaturama te imaju veću energetska gustoću od cink – ugljik baterija. Koriste se tamo gdje se zahtijevaju veće performanse i nazivaju se još i (engl. *Heavy duty*) baterije. [10] i [11]
3. Alkalne – anoda je izrađena od cinka u prahu, dok je katoda od mangan dioksida. Nazivaju se alkalne jer kao elektrolit koriste lužinu, kalij hidroksid, te su sklone njegovom curenju što može uzrokovati iritaciju dišnih puteva, očiju i kože. Podnose veća opterećenja od cink – ugljikovih (imaju manji unutarnju otpor), duljeg su životnog vijeka, većeg kapaciteta te pružaju bolje učinke na niskim i visokim temperaturama. Nominalni napon iznosi 1,5 V. Postoje tzv. punjive alkalne baterije, no one su specijalne izrade te se ne preporučuje puniti

obične alkalne, jer može doći do curenja i uništenja punjača, a u nekim slučajevima mogu čak i eksplodirati. Primjena za kućanske elektroničke uređaje, te ih je moguće koristiti, ovisno o vrsti, u širokoj primjeni. [10] i [11]

4. Srebro – oksid baterije – anoda je izrađena od cinka, dok je katoda srebrov oksid, a elektrolit uglavnom natrij – hidroksid ili kalij – hidroksid. Najveće energetske gustoće sve do pojave litijskih. Oblika su gumba, upotrebljavaju se u satovima i kalkulatorima. Nominalni napon iznosi 1,5 V. Veće su energetske gustoće po jedinici mase te pružaju dvostruko više kapaciteta od alkalnih. [10] i [11]
5. Litij baterije – ova vrsta baterija odnosi se na skup različitih tipova litij – metal spojeva koje sadrže različite vrste katoda i elektrolita, dok je anoda uvijek litij. Najčešći tip ovih baterija koristi anodu od litija, dok je katoda od mangan dioksida. Prednosti ovih baterija su velika energetska gustoća te izuzetno velik kapacitet. Nominalni napon iznosi 3 V. Koriste se u uređajima koji moraju zadržati određenu količinu podataka kad ih isključimo iz napajanja, računalima, fotoaparatom te u raznim elektroničkim uređajima i igračkama zbog raznolikog oblika. [10] i [11]

### 4.3. Sekundarne baterije

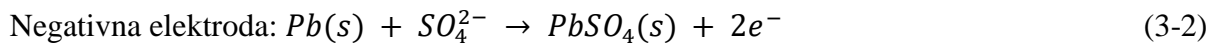
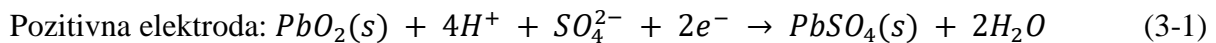
Princip rada zapravo im je isti kao i kod primarnih, ali glavna razlika je u kemijskom sastavu ćelija koje se nalaze unutar baterija. Kemijska reakcija je reverzibilna, što je otkrio fizičar Gaston Planté 1859. godine. Kada se baterija jednom „potroši“ treba ju napuniti, te se ona može ponovno upotrijebiti. Sekundarne baterije često nazivamo akumulatorima. [7] Može se reći da sekundarne baterije imaju široku primjenu u današnjem svijetu, počevši od igračaka i mobitela pa sve do automobila i radnih strojeva. Često se koriste u svrhu uštede i kada je potrebna veća snaga baterije. Značajke su im otpornost na niske temperature te velika snaga pražnjenja. Također, gustoća energije im je niža te je samopražnjenje izraženije nego u slučaju primarnih baterija. Bitno je reći da se one mogu nadopuniti u slučaju dugotrajne neuporabe. [1] Najpoznatije vrste sekundarnih baterija koje će se opisati u nastavku su: olovno-kiselinski i NiCd akumulator, NiMH i litij-ionska baterija, prema literaturi [12], [13], [14]

Olovno kiselinske (LA – lead acid) baterije – olovni akumulator koji se sastoji od jednog ili više članka sadrži elektrode napravljene od olova koje se oblažu olovo (II) sulfatom, a uronjene su u vodom razrijeđenu sumpornu kiselinu ( $H_2SO_4$ ) kao elektrolit. Katoda je izrađena od olovo

dioksida ( $PbO_2$ ), dok je anoda od čistog olova. [8] Nadalje, opisat će se proces punjenja i pražnjenja baterije.

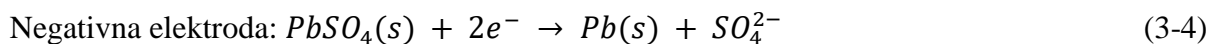
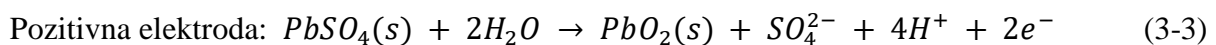
Kada se baterija potpuno isprazni, tada oba pola imaju jednaki kemijski sastav tj. olovo (II) sulfat. Prilikom pražnjenja sumporna se kiselina troši, a elektrolit razrjeđuje. [15]

### Proces pražnjenja:



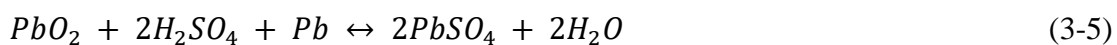
S druge strane prilikom punjenja baterije olovo (II) sulfat na pozitivnom se polu ponovno pretvara u olovni dioksid, dok se na negativnom polu pretvara u čisto olovo. Također, bitno je naglasiti da se prilikom punjenja povećava gustoća elektrolita tj. ponovno se stvara sumporna kiselina ( $H_2SO_4$ ). Punjenje traje sve dok se ne potroši sav olovo (II) sulfat na elektrodama. Nakon procesa punjenja, elektrode su postale različite te se na njima može mjeriti napon tj. razlika potencijala. Proizvodi 2V po ćeliji. [15]

### Proces punjenja:

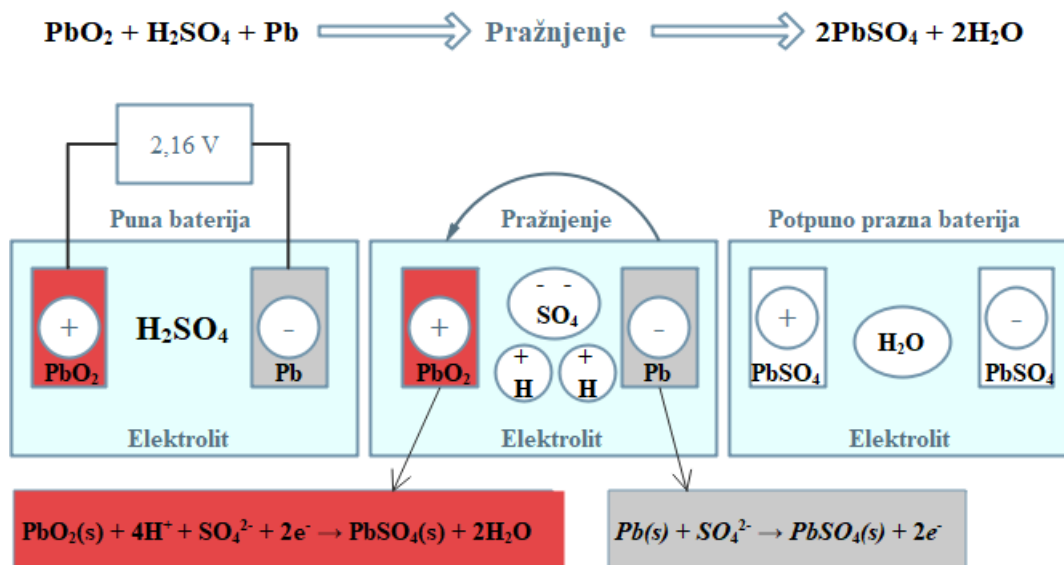


Akumulator koji se primjenjuje u osobnim automobilima ima napon 12 volta, što predstavlja 6 članaka spojenih serijski. [16]

Ukupna reakcija može se opisati reverzibilnom jednadžbom:



Tvrđnja je da olovne ploče prilikom procesa punjenja i pražnjenja mijenjaju sastav. Za baterije kažemo da su “gotove” kada spomenuta reverzibilna kemijska reakcija u bateriji više nije moguća. [15]



Slika 3.1. Proces pražnjenja baterije. [15]

Nikal – kadmij baterije (NiCd) – najpoznatija vrsta alkalnih sekundarnih baterija. Najčvršća i najpouzdanija baterija, ali jedna od mana je memorijski efekt koji predstavlja stanje baterije koja kad se ne isprazni potpuno, tada njeno ponovno pražnjenje moguće je samo do razine s koje se krenula puniti. Zbog toga ih treba prazniti do kraja i puniti do punog kapaciteta jer u protivnom gube kapacitet zbog pojave memorijskog efekta. Podržavaju i brzo punjenje, ali samo do 80 % svojega kapaciteta. Razina samopražnjenja im iznosi oko 5-20 % u prvom mjesecu nakon prvog punjenja. Prednosti su im dug vijek trajanja, 8-10 godina, dobar rad na niskim i visokim temperaturama te izdržavaju velik broj ciklusa. Pohranjuju oko 60 Wh/kg energije. Mana im je kadmij koji je štetan za okoliš te se zbog toga ove baterije moraju zbrinuti na odgovarajući način kao otpad, tj. obavezno recikliranje. Nominalni napon iznosi 1,2 V. [12], [13], [14]

NiMH – nikal metal hidrid baterije – Za razliku od NiCd baterija, ovdje je značajno smanjena količina štetnih tvari, ali se i dalje moraju reciklirati. Također, moraju se puniti tek kad se u potpunosti isprazne, ali je učinak memorijskog efekta značajno smanjen. Imaju veću energetske gustoće od NiCd oko 80-100 Wh/kg, veći kapacitet te podnose velike struje pražnjenja. Neki od nedostataka za razliku od NiCd su im: nisu dobre za rad pri niskim temperaturama, manji životni ciklus i imaju veće samopražnjenje. Nominalni napon iznosi 1,25 V, što je i dalje manje od alkalnih, ali više od NiCd. [12], [13], [14]

Litij – ionske baterije – Ova baterija je najmlađa vrsta punjivih baterija i vrlo brzo su postale najzastupljenije za elektroniku jer se mogu izrađivati u raznim veličinama i oblicima. Imaju



najveći kapacitet te imaju najveću energetska gustoću 126 Wh/kg, dok litij polimerne imaju 185 Wh/kg. Imaju velik broj životnog ciklusa koji može doći čak i do 3000. Nemaju pojavu memorijskog efekta, a mogu se bez problema puniti na bilo kojoj razini napunjenosti. Zbog ovih svojstava litij baterija široko se koristi u mnogim uređajima. No one imaju i neke mane, a to su: mogu umrijeti na niskim temperaturama, pri pregrijavanju gube kapacitet. [12], [13], [14]

|               | <b>Napon članka</b> | <b>Radna temperatura</b> | <b>Samopražnjenje</b> | <b>Životni vijek</b> | <b>Broj ciklusa</b> |
|---------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| <b>Olovna</b> | 2 V                 | -40 – 55 °C              | 4-6 % mjesečno        | 6 godina             | 500-1000            |
| <b>NiCd</b>   | 1,2 V               | -40 - 50 °C              | 5-20 % mjesečno       | 10 godina            | 500-3000            |
| <b>NiMH</b>   | 1,25 V              | -20 - 50 °C              | 15-25 % mjesečno      | 2-5 godina           | 300-600             |
| <b>Li-ion</b> | oko 3,6 V           | -20 - 50 °C              | 2 % mjesečno          | 10 godina            | 1000 +              |

**Tablica 3.1.** Karakteristike sekundarnih baterija. [1]

#### 4.4. AGM i GEL baterije

Ove vrste baterija svrstavaju se u olovne baterije koje su nepropusne i hermetički zatvorene. Prilikom punjenja dolazi do razvijanja plina u bateriji koji je eksplozivan, te u slučaju dugotrajnog i nekontroliranog punjenja ili kvara bit će ispušten kroz sigurnosni ventil, stoga je potrebno osigurati provjetranje prostora. Pri kraju punjenja u bateriji se pojačano počinju razvijati plinovi pri višim temperaturama okoline što za posljedicu ima da se baterija napuhne i postaje neupotrebljiva zbog pritiska plinova. Pojačano razvijanje plinova može se spriječiti ne dozvoljavanjem punjenja baterije na višim razinama napona pri kraju punjenja. [15] Dva značajna tipa ovih baterija su AGM i GEL baterije. [15] Na pločama se baterije tijekom pražnjenja taloži materijal olovni sulfat. Ako ubrzo nakon pražnjenja nastupi punjenje, taj će se materijal razgraditi, ali ako baterija ostane nenapunjena, tada sulfat ostaje na pločama i s vremenom očvrstne, tj. kristalizira se. To za posljedicu ima nepovratni gubitak kapaciteta i propadanje baterije jer nakon određenog vremena nije moguće razgraditi sulfat punjenjem baterije. [17]

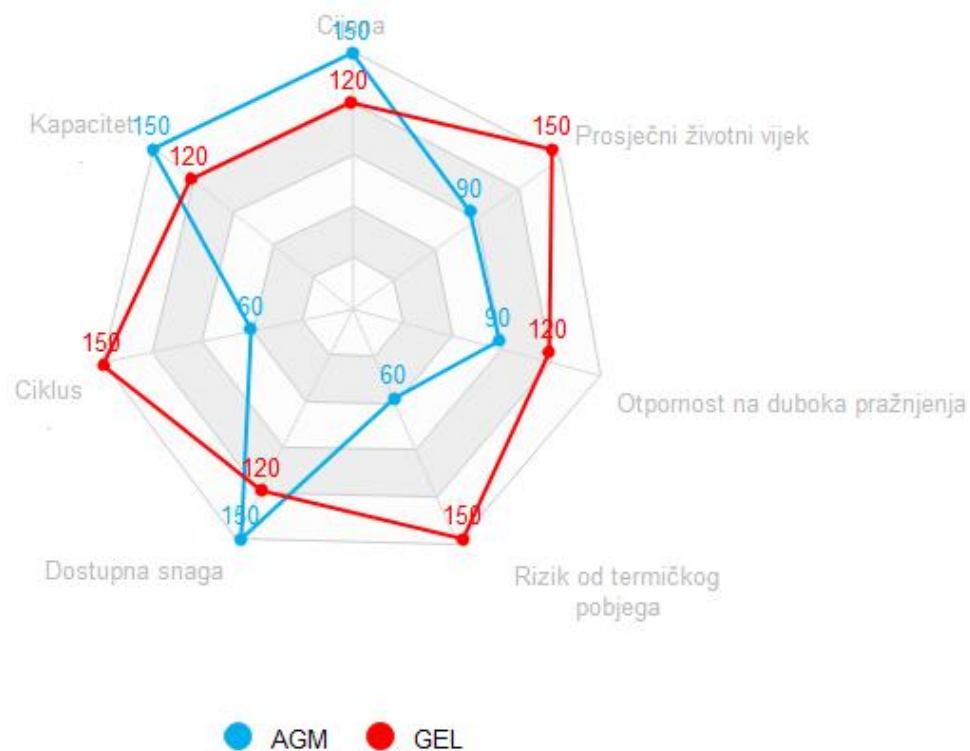
AGM – kod ovih baterija elektrolit je apsorbiran u mreži staklenih vlakana. Imaju malu unutarnju otpornost sa sposobnošću davanja visokih kratkotrajnih struja u odnosu na GEL baterije. Visoka temperatura nepovoljno utječe na njen životni vijek, a pri većim temperaturama za razliku od GEL

baterija imaju kraći životni vijek te zbog toga je bitno da ne dođe do nepotrebnog porasta temperature tijekom procesa punjenja što može dodatno ubrzati starenje baterije. [15] i [18]

GEL – kod ovih baterija elektrolit je imobiliziran kao gel. U odnosu na AGM baterije imaju duži životni vijek, ciklus pražnjenja pri istoj dubini punjena što znači da se može iskoristiti više energije. Zbog tehnološke izvedbe, GEL baterija može biti skladištena u nespojenom stanju i do godinu dana bez nadopunjavanja. [15]

|                          | <b>Trajanje u godinama za tip baterije</b> |            |
|--------------------------|--|------------|
| <b>Radna temperatura</b> | <b>AGM</b>                                 | <b>GEL</b> |
| 20 °C                    | 7-10                                       | 12         |
| 30 °C                    | 4  | 6          |
| 40 °C                    | 2  | 3          |
|                          | <b>Broj ciklusa za tip baterije</b>        |            |
| <b>Dubina pražnjenja</b> | <b>AGM</b>                                 | <b>GEL</b> |
| 30 %                     | 1500                                       | 1800       |
| 50 %                     | 600  | 750        |
| 80 %                     | 400  | 500        |

**Tablica 3.2.** Usporedba radne temperature i dubine pražnjenja kod dva tipa baterija [15]



**Slika 3.2.** Usporedba karakteristika AGM i GEL baterija

[https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent\\_glass\\_mat\\_agm](https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent_glass_mat_agm): preuzeto 9. 9. 2020.

## 5. BATERIJSKI SPREMNICI ENERGIJE

Baterijski sustav za pohranu energije (Battery Energy Storage System - BESS) je vrsta elektrokemijske tehnologije namijenjena za skladištenje električne energije pomoću solarnih panela, obnovljivih izvora energije ili elektroenergetske mreže i njenu distribuciju kućanstvima, industriji te ostalim sektorima. Pored toga nalazi primjenu u regulaciji frekvencije, integraciji obnovljivih izvora energije, mikromrežama i sl. Različite tehnologije baterija mogu omogućiti različite tehničke karakteristike i primjene te svaka od njih ima svojih prednosti i nedostataka. [19] Zadaća je spremnika energije da jednom pohranjenu električnu energiju prema potrebi za kasnije korištenje može vraćati u mrežu uz kontrolirano moduliranje pogonskih parametara (npr. snage, frekvencije, napona itd.), tj. znači da može ostvariti pomak u vremenskom intervalu između proizvodnje i potrošnje električne energije. [20] Trenutno tržište za grid-scale baterijske spremnike su Sjedinjene Američke Države i prevladavaju litij – ionske baterije. Zbog tehničkog napretka litij – ionske doživjele su značajni pad u cijeni te se očekuje i daljnji pad. Povećanjem potreba za fleksibilnost sustava i kombiniranjem baterijskih tehnologija s brzim padom cijene, BESS ima sve značajniju ulogu u elektroenergetskom sustavu u proteklih nekoliko godina. Baterijski spremnici su jedna od tehnologija koja može poboljšati fleksibilnost elektroenergetskog sustava i pružiti visoku razinu obnovljive energije. [22]

### 5.1. Uloga BESS-a u distribucijskom sustavu

Razvoj mreže se u pravilu planira tako da se svi elementi mreže dimenzioniraju za maksimalna opterećenja. [20] Polazna ideja mikromreža je da pruži klijentima neprekinutu električnu energiju, također, osigurava da mreža nije preopterećena zbog velike potražnje u određeno vrijeme. [23] Nema dvojbe da BESS ima značajnu ulogu u modernim distribucijskim sustavima. Najveću korist koju BESS može osigurati uz obnovljive izvore energije su: umanjeње nepredvidljivosti proizvodnje što znači da ako se smanje brze promjene proizvodnje obnovljivih izvora energije, tada se smanjuje mogući nepovoljni utjecaj na mrežu. Nadalje, postoji mogućnost vremenskog optimiranja isporuke električne energije u razdoblju više cijene i ostale napredne funkcije kao što je uključenje u uvjetima raspada mreže, doprinos u osiguranju vršne snage i sl. Neke funkcionalnosti za krajnje kupce koje nudi BESS obuhvaćaju smanjenje vršnog opterećenja (engl. Peak shaving) čime se smanjuje trošak električne energije koja je proporcionalna vršnom opterećenju tako da se odgađa potreba za ulaganjem u mrežu te se povećava iskoristivost postojeće mreže. Također, osigurava i besprekidno napajanje što znači da osigurava pouzdanost i sigurnost

u vlastitoj mreži korisnika, kompenzaciju jalove snage što smanjuje gubitke i rasterećenja u mreži. [20] BESS zahtjeva periodičko održavanje i trebao bi biti postavljen vani tako da je zaštićen od raznih neprilika kao što su vremenske nepogode, zapaljenje i sl. Sigurnost bi trebala biti najvažnija, počevši od potrošača, pa do samog BESS-a. Vodovi do potrošača trebaju se postaviti ispod zemlje koliko god je moguće kako bi garantirali dostupnost energije kad je potrebno, pogotovo u slučaju vremenskih nepogoda. Jedinice unutar BESS-a bi trebale izdržavati temperaturu od oko -20 °C do 60 °C tijekom zimskih i ljetnih mjeseci. Baterijske ćelije trebale bi se puniti i prazniti pod tim uvjetima te zadržavati napunjenost što je dulje moguće. Bitno je spomenuti tehnologiju brzog punjenja BESS-a što će ga učiniti značajno bržim zbog toga što ako je potrebno koristiti mikromrežu preko dana, tada proces punjenja treba biti gotov unutar određenog vremenskog intervala. Mehanizmi brzog punjenja i pražnjenja unutar mikromreže moraju biti što izdržljiviji. To će sigurno povećati dodatne troškove za pokrivanje cijene. [23]

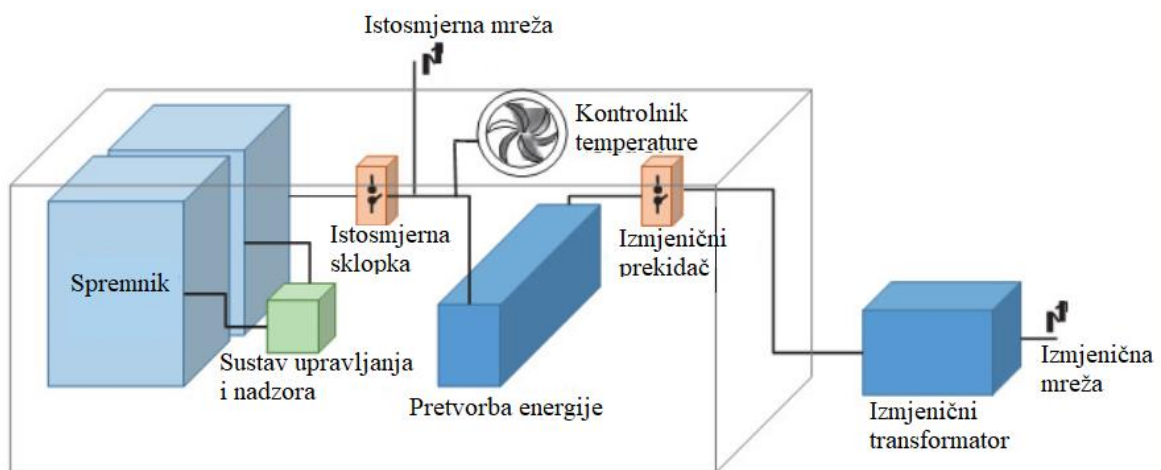
## 5.2. Komponente baterijskog spremnika

Tijekom dana, baterijski se spremnik energije puni preko solarnih panela. Inteligentni software koristi algoritme za koordinaciju proizvodnje električne energije, učinkovitosti, povijest potrošnje kako bi optimizirao korištenje uskladištene energije. Pražnjenje tijekom vremena velike potrošnje smanjuje ili eliminira skupe troškove potražnje. [21]

Svaki baterijski spremnik sastoji se od nekoliko komponenata, prema literaturi [21]:

- Promjenjivi baterijski moduli sprječavaju da ne dođe do kvara u cijelom spremniku ako samo jedan baterijski modul otkáže. Baterijski modul može se zamijeniti s drugim bez stanke.
- Senzori osiguravaju siguran pogon i dozvoljavaju nadzor i upravljanje. Ugrađeni senzori pomažu održavati odgovarajuće radne temperature, nadgledati kvar baterijskog modula i davati izvješća o korištenim podacima.
- Pod upravljačkom komponentom podrazumijeva se da spremnik energije može biti postavljen kako bi izvršio svoj posao za koji je namijenjen. Primjer, baterija može biti podešena da se automatski puni kada je energija jeftina ili da se prazni kada je energija skupa.
- Ugrađeni pretvarači omogućuju lakšu i jeftiniju instalaciju.

Također, bitna uloga upravljačke komponente jest nadzor punjenja i pražnjenja baterija. Većinu konvencionalnih sustava pokreće izmjenična struja, dok baterije dostavljaju istosmjernu struju, to znači da sustav za pretvorbu električne energije mora imati pretvarače. [24] Osim ovih komponenata, najnoviji baterijski spremnici imaju ugrađeni hladnjak koji omogućuje optimalne performanse, zaštitu od atmosferskih utjecaja (npr. vjetar, kiša, itd.) što znači da baterijski spremnik može biti postavljen vani bez dodavanja zaštitnih konstrukcija te to predstavlja da više baterijskih spremnika može biti zajedno povezano u veći spremnik. [21]



**Slika 4.1.** Prikaz baterijskog spremnika energije i njegovih komponenata [24]

### 5.3. Karakteristike baterijskog spremnika energije:

U ovom odlomku nabrojiti će se osnovne karakteristike baterijskih spremnika prema literaturi [22] :

- Nazivna snaga – predstavlja najvišu izlaznu snagu sustava [20]
- Korisnost – omjer između spremniku dane energije za vrijeme pohrane i preuzete energije iz spremnika za vrijeme pražnjenja. Raspon poželjnih vrijednosti je 60 % - 95 %.
- Vrijeme odziva – vrijeme potrebno da spremnik prijeđe iz stanja mirovanja u stanje proizvodnje.
- Kapacitet – maksimalna količina pohranjene energije (u kilovatsatima (kWh) ili megavatsatima (MWh))

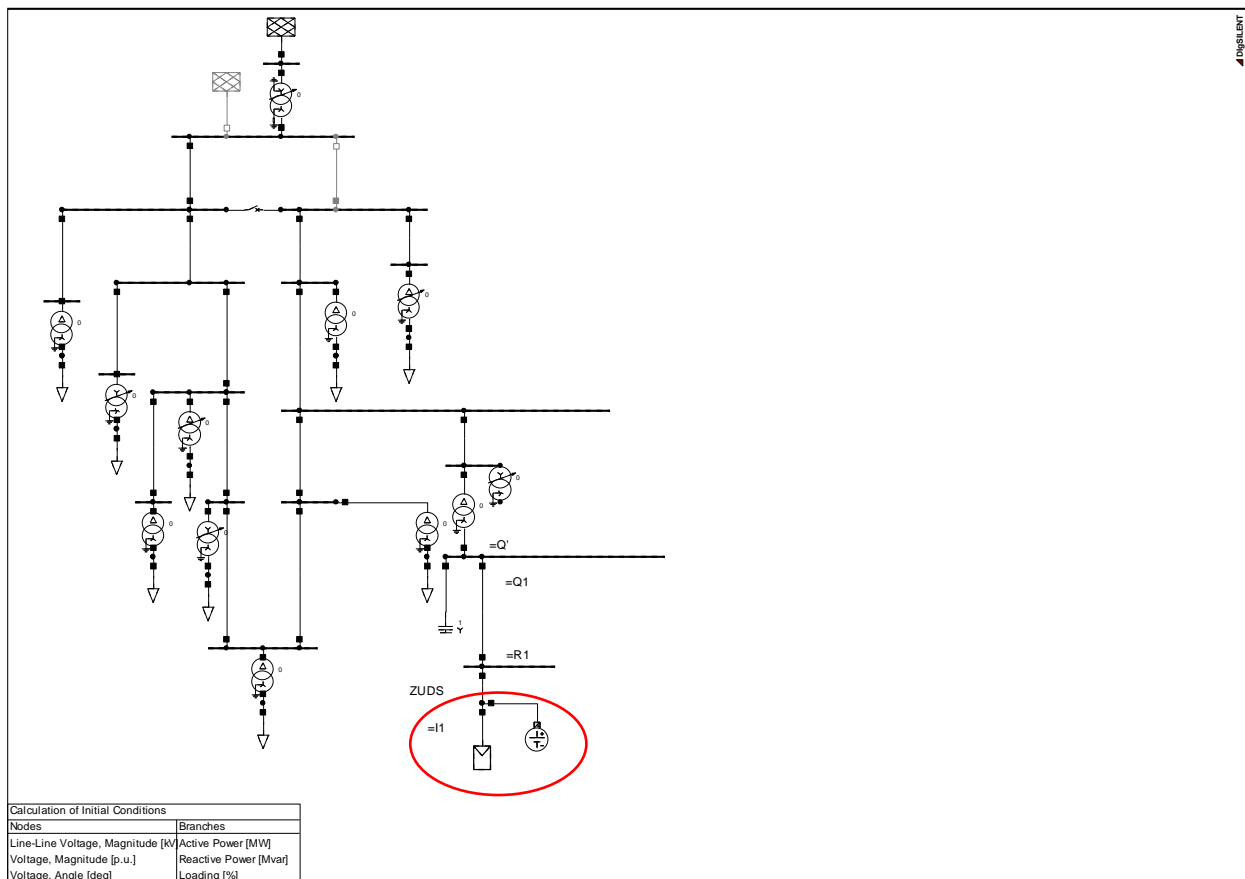
- Životni ciklus – vrijeme koje baterijski spremnik može pružiti (broj punjenja i pražnjenja) prije nekog kvara.
- Samopražnjenje – predstavlja gubitak energije neovisno o ciklusima punjenja i pražnjenja, događa se kada se spremljena energija smanjuje kroz određene kemijske reakcije. Ova pojava smanjuje rok trajanja spremnika. Izražava se u postocima i smanjuje količinu energije dostupnu za pražnjenje. Također, to je vrlo važan parametar kako bi utvrdili je li spremnik namijenjen dugotrajnoj uporabi.
- Stanje napunjenosti – izražava se u postocima i predstavlja razinu napunjenosti baterije od potpuno ispražnjene do potpuno napunjene.
- Temperatura skladištenja – različite tehnologije baterija prilagođene su različitim temperaturama, ali većina baterija ne voli previsoke ili preniske temperature. Prilikom instaliranja sustava poželjno je ugraditi dobru ventilaciju, osigurati da nema direktnog sunčevog svjetla ili ostalih vremenskih nepogoda. [22]

U današnje vrijeme zbog različitih tehnologija baterijskih spremnika dostupnih na tržištu potrebno je voditi računa o njihovoj funkciji u elektroenergetskoj mreži, također potrebno je uskladiti određene tehničke značajke kao što su: vrijeme odziva, vrijeme pražnjenja, nazivna snaga, broj ciklusa i sl. [20]

## 6. SIMULACIJA I ANALIZA BATERIJSKOG SPREMNIKA I FOTONAPONSKOG SUSTAVA U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

Simulacija je napravljena u programu „DigSILENT PowerFactory“, skraćenica od “DIgital SimuLation of Electrical NeTworks“.

U ovoj simulaciji pokazat će se utjecaj baterijskog spremnika i fotonaponskog sustava na distribucijsku mrežu tijekom 24 sata, gdje baterijski spremnik služi kao „backup“ fotonaponskom sustavu. Promatra se napon na sabirnici na koju su spojeni baterijski spremnik i fotonaponski sustav (BESS + PV), opterećenje voda koji vodi prema ostatku mreže, te naponski profil izvoda promatranog izvoda.



Slika 5.1. Shema distribucijske mreže na kojoj se vrši simulacija

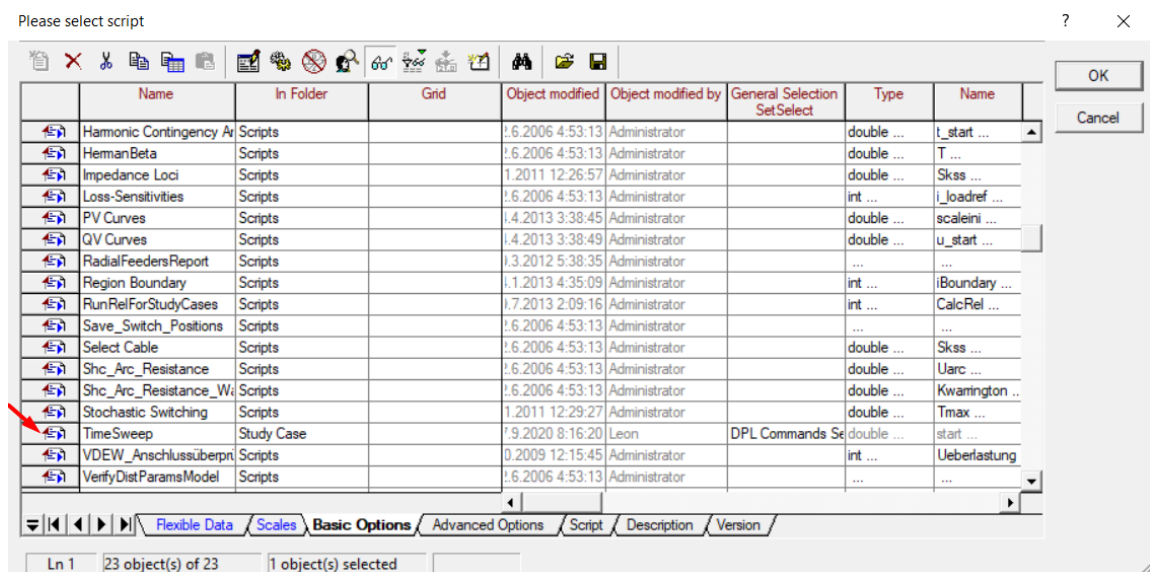
U shemi sa slike 5.1. korišteni su sljedeći elementi:



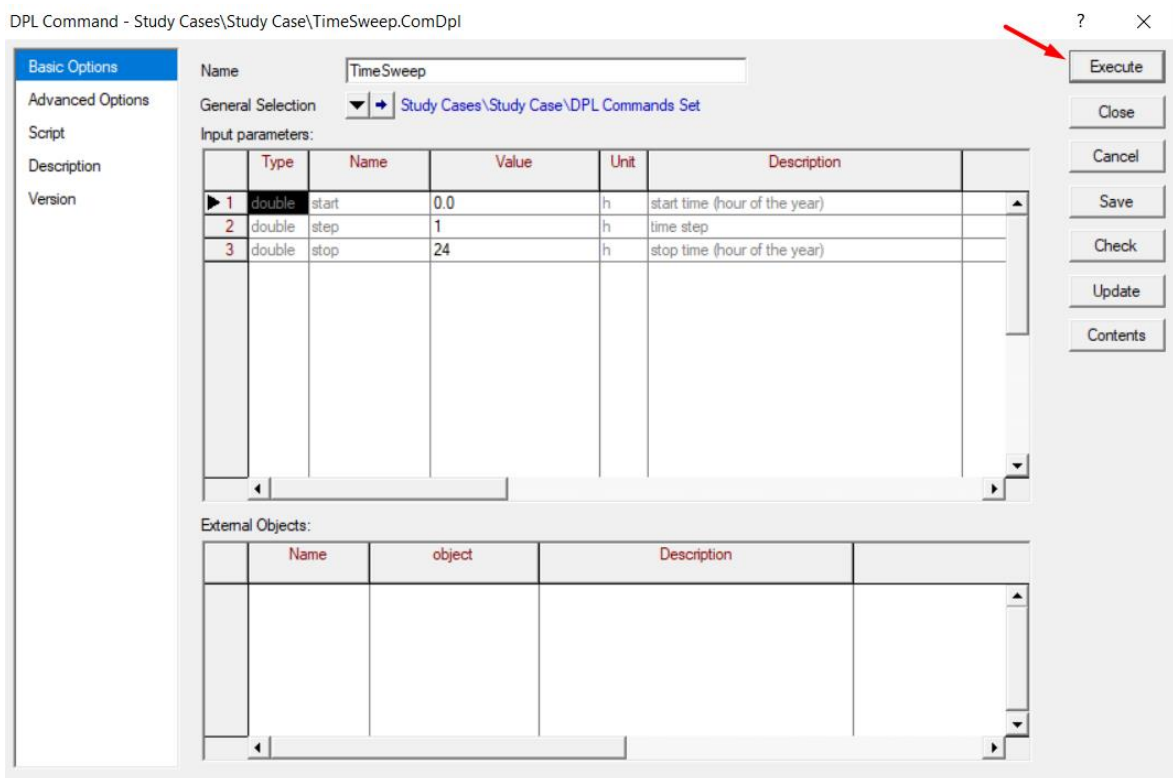
| Elementi                              | Tip elemenata          | Snaga              |
|---------------------------------------|------------------------|--------------------|
| <b>29 sabirnica</b>                   |                        |                    |
| <b>Vodovi</b>                         | 12x NA2YSY 1x185rm     | 12/20kV            |
|                                       | 4x N2YSY 1x185rm       | 12/20kV            |
|                                       | 1x N2XRY 4x50sm        | 0.6/1kV            |
|                                       | 1x NAYBY 4x70sm        | 0.6/1kV            |
| <b>Transformatori</b>                 | 0,4kV Dyn5 ASEA        | 0,63 MVA           |
|                                       | 0,4 kV Yyn0 ASEA       | 0,4 MVA            |
|                                       | 0,4 kV Dyn5 ASEA       | 0,4 MVA            |
|                                       | 0,4 kV DOTN 160/20 SGB | 0,16 MVA           |
|                                       | 0,4 kV DTTHXL SGB      | 0,05 MVA           |
|                                       | 1x TR1                 | 40 MVA             |
|                                       | 3x TR2                 | 1 MVA              |
|                                       | 3x TR2                 | 2 MVA              |
| <b>Fotonaponski sustav</b>            |                        | od 30 kW do 120 kW |
| <b>Baterijski spremnik</b>            |                        | od 30 kW do 120 kW |
| <b>Kompenzacijska baterija 0,4 kV</b> |                        | 0,06 Mvar          |

Tablica 5.1. Elementi izvoda mreže

Za izvršenje simulacije koristit će se DPL skripta TimeSweep, pritiskom na „Execute script“ otvara se idući prozor u kojem je potrebno naći TimeSweep-skriptu.



Slika 5.2. Potrebno je stisnuti dvostruki klik na TimeSweep



**Slika 5.3.** Za pokretanje simulacije dovoljno je stisnuti na tipku Execute

U narednom dijelu rada prikazat će se nekoliko slučajeva u kojima su se mijenjali parametri i način rada baterijskog spremnika i fotonaponskog sustava.

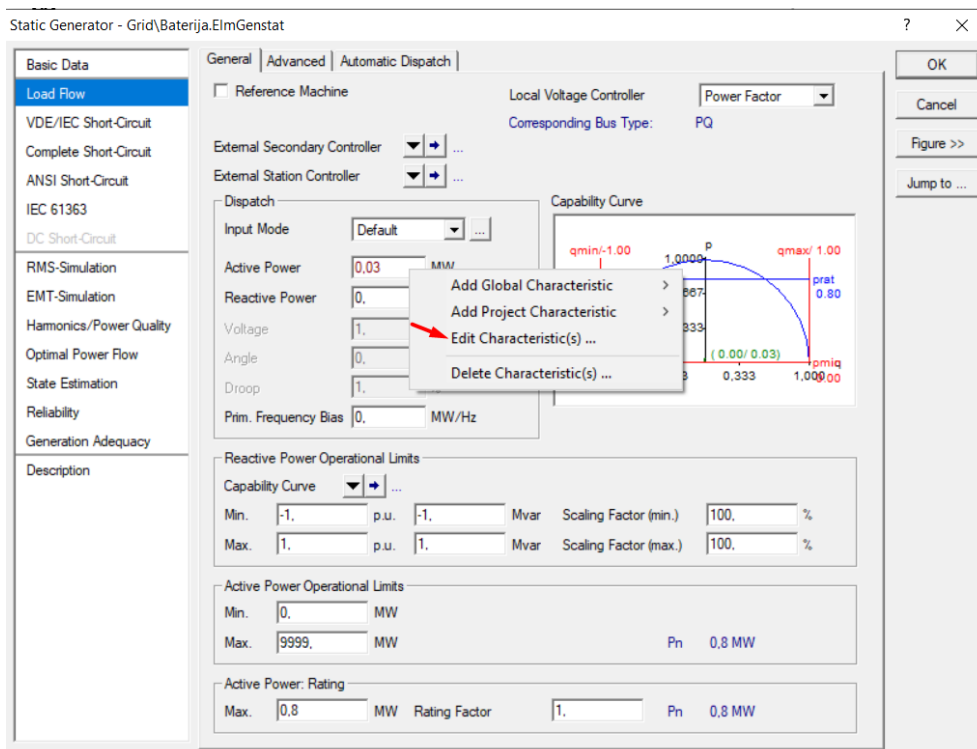
## 1. PRVI SLUČAJ

U prvom slučaju koristili su se baterijski spremnik djelatne snage 30 kW i fotonaponski sustav djelatne snage 30 kW. Dvostrukim lijevim klikom na baterijski spremnik (fotonaponski sustav) otvorit će se prozor u kojem se mijenjaju njegovi parametri. Također u ovom slučaju koriste se 4 načina rada:

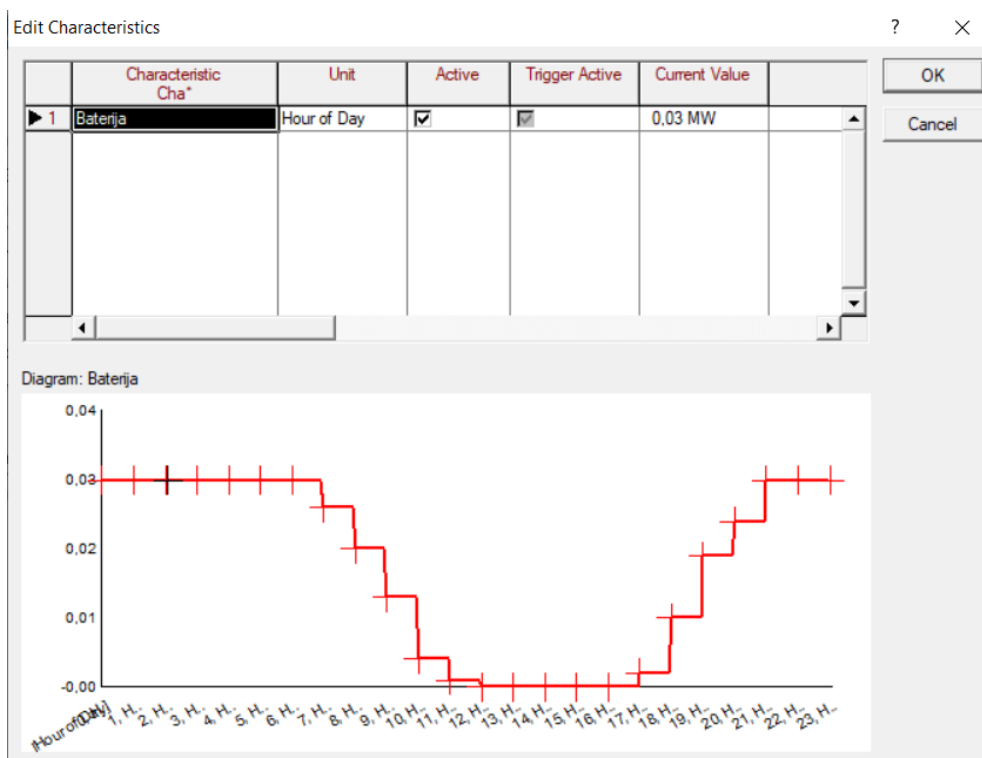
1. Baterijski spremnik i fotonaponski sustav rade
2. Baterijski spremnik ne radi
3. Fotonaponski sustav ne radi
4. Baterijski spremnik i fotonaponski sustav ne rade

| Sati [h] | Djelatna snaga<br>baterijskog spremnika<br>[MW] | Djelatna snaga<br>fotonaponske ćelije [MW] |
|----------|---|--|
| 0        | 0,03  | 0  |
| 1        | 0,03  | 0  |
| 2        | 0,03  | 0  |
| 3        | 0,03  | 0  |
| 4        | 0,03  | 0  |
| 5        | 0,03  | 0  |
| 6        | 0,03  | 0  |
| 7        | 0,026   | 0,004                                      |
| 8        | 0,02  | 0,01                                       |
| 9        | 0,013   | 0,017                                      |
| 10       | 0,004   | 0,026                                      |
| 11       | 0,001   | 0,029                                      |
| 12       | 0   | 0,03                                       |
| 13       | 0   | 0,03                                       |
| 14       | 0   | 0,03                                       |
| 15       | 0   | 0,03                                       |
| 16       | 0   | 0,03                                       |
| 17       | 0,002   | 0,028                                      |
| 18       | 0,01  | 0,02                                       |
| 19       | 0,019   | 0,011                                      |
| 20       | 0,024   | 0,006                                      |
| 21       | 0,03  | 0  |
| 22       | 0,03  | 0  |
| 23       | 0,03  | 0  |

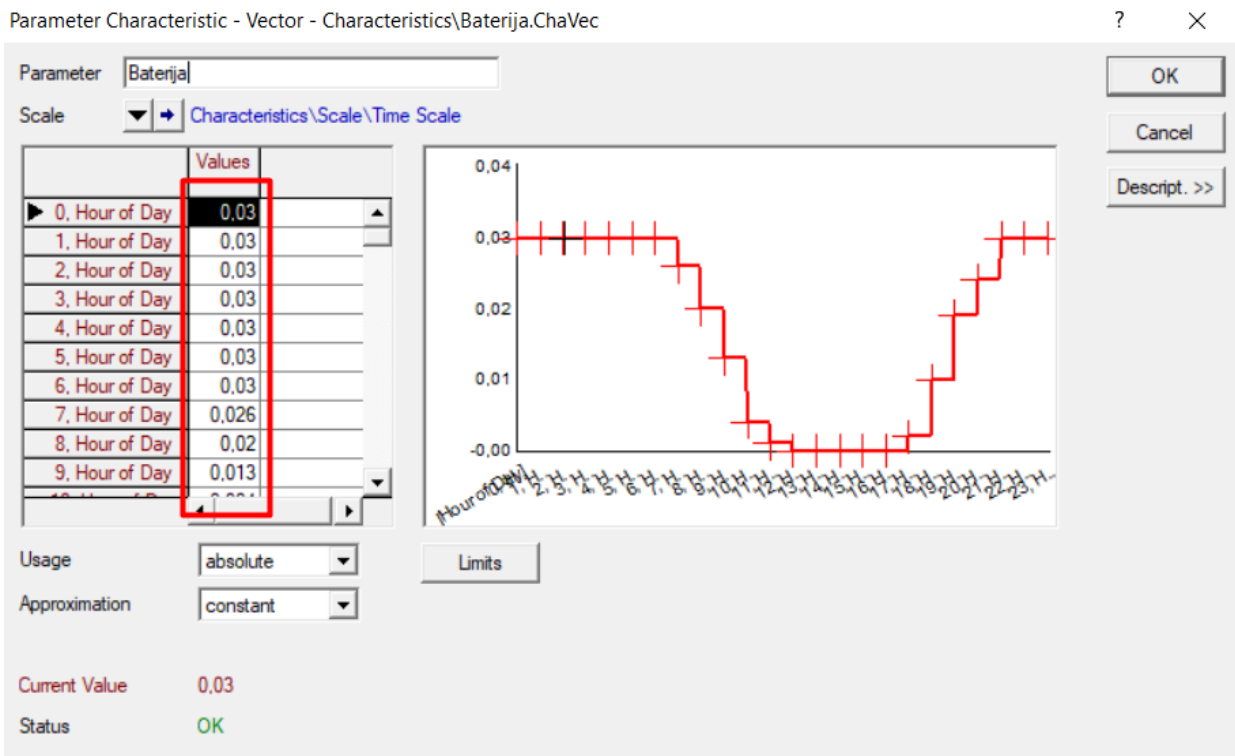
**Tablica 5.2.** Prikaz mijenjanja djelatne snage baterijskog spremnika i fotonaponskog sustava tijekom 24 h



**Slika 5.4.** Na slici je prikazan iznos djelatne snage baterijskog spremnika pod Active Power, desnim klikom na to otvorit će se prikazani prozor u kojem se nadalje klikne Edit Characteristic(s) te će se otvoriti prozor prikazan na slici 5.5



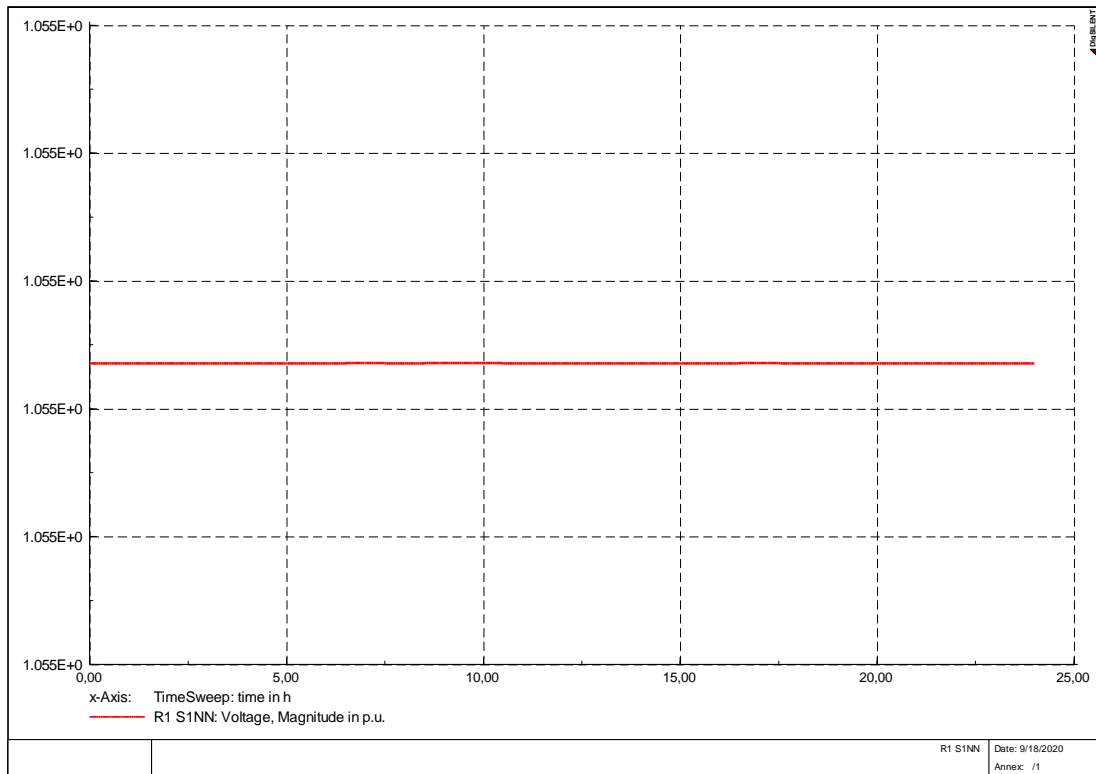
**Slika 5.5.** Slika prikazuje graf na kojemu se vidi mijenjanje djelatne snage baterijskog spremnika tijekom 24 h. Dvostrukim klikom na polje „Baterija“ otvorit će prozor prikazan na slici 5.6.



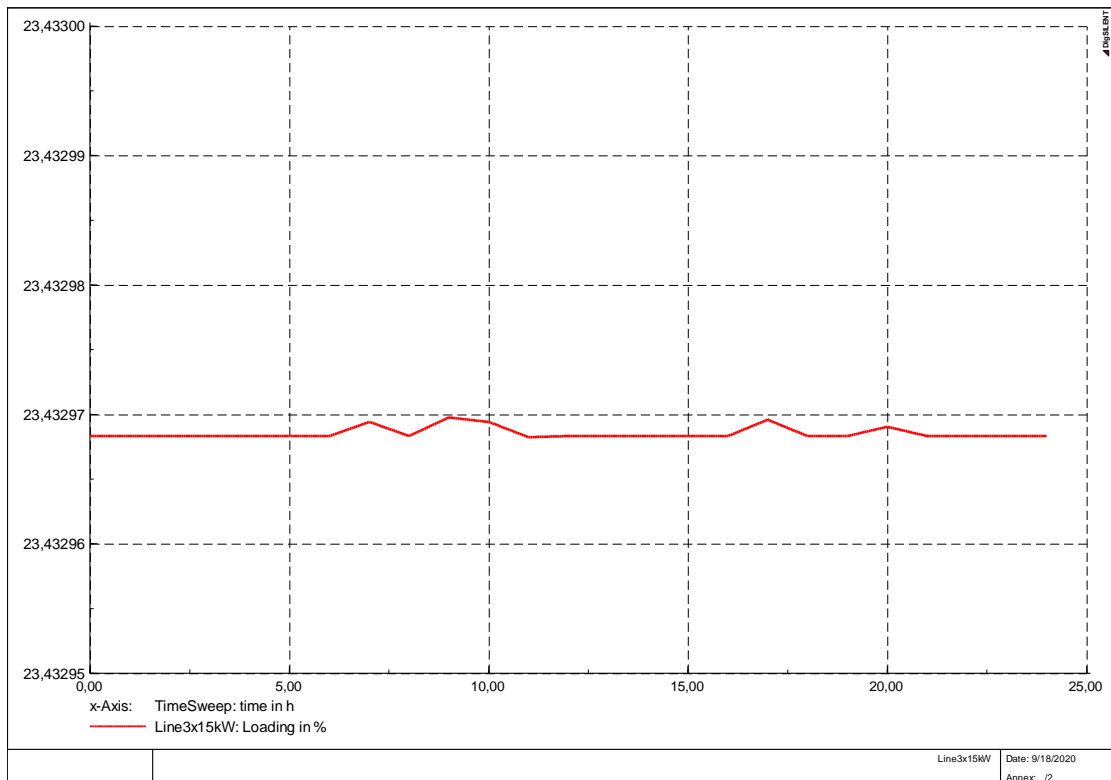
**Slika 5.6.** Na slici je prikazan načina na koji se može mijenjati djelatna snaga baterijskog spremnika tijekom 24 h

Nakon što su se podesili željeni parametri, potrebno je pritisnuti na „OK“ te se s tim pokreće simulacija pomoću Time Sweep skripte.

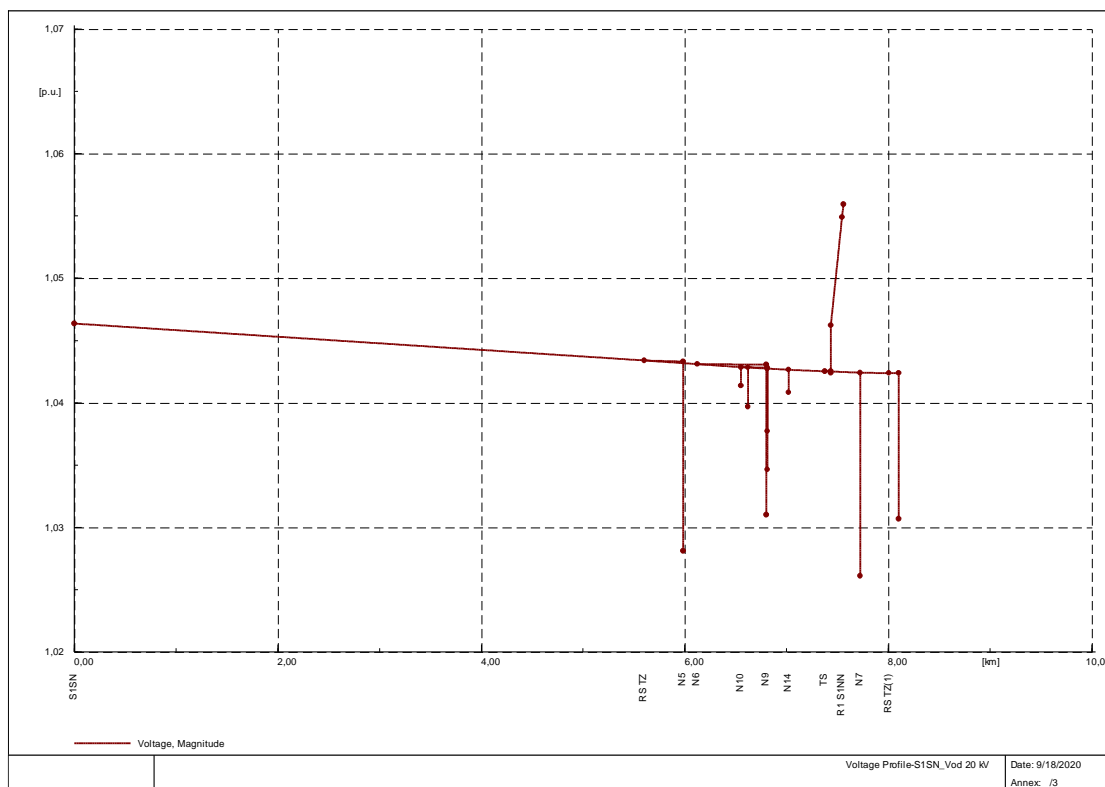
# 1. Način rada - Baterijski spremnik i fotonaponski sustav rade



Slika 5.7. Napon na sabirnici tijekom 24 h



Slika 5.8. Opterećenje voda tijekom 24 h



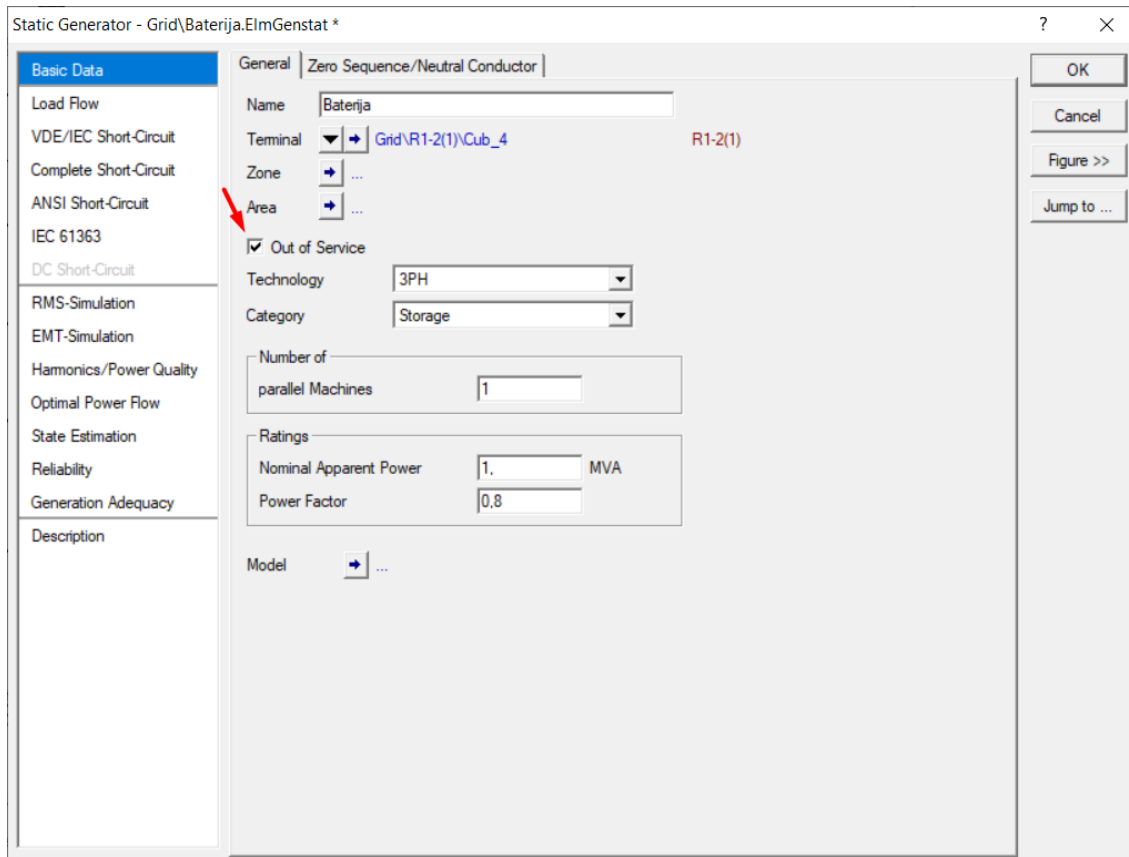
Slika 5.9. Naponski profil izvoda mreže

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Ukupna el. energija koja je ušla u mrežu</b> | 44856,601 kWh |
| <b>Ukupna proizvodnja mreže</b>                 | 720,000 kWh   |
| <b>Ukupno opterećenje mreže</b>                 | 43440,001 kWh |
| <b>Ukupni gubici u mreži</b>                    | 2136,591 kWh  |

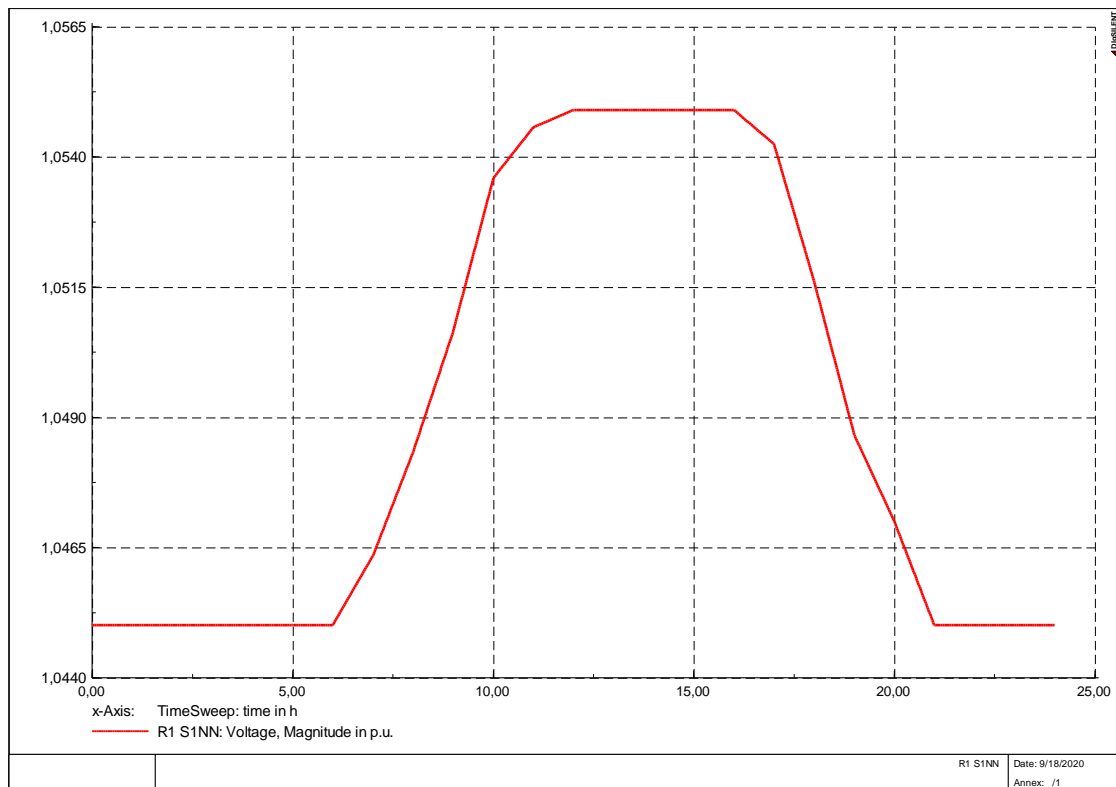
Tablica 5.3. Prikaz parametara mreže

## 2. Način rada - Baterijski spremnik ne radi

Nakon dvostrukog klika na baterijski spremnik pojavit će se prozor u kojemu je potrebno pod Basic Data označiti „out of service“.

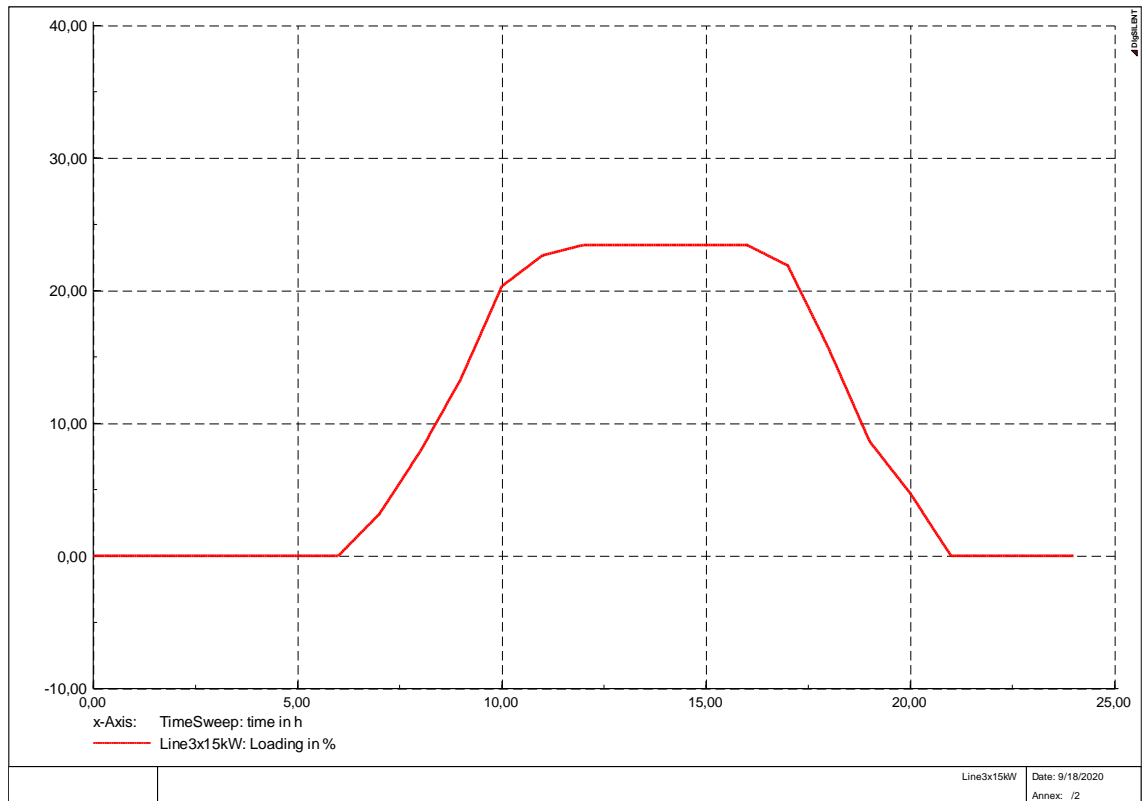


Slika 5.10. Prikaz isključenja baterijskog spremnika

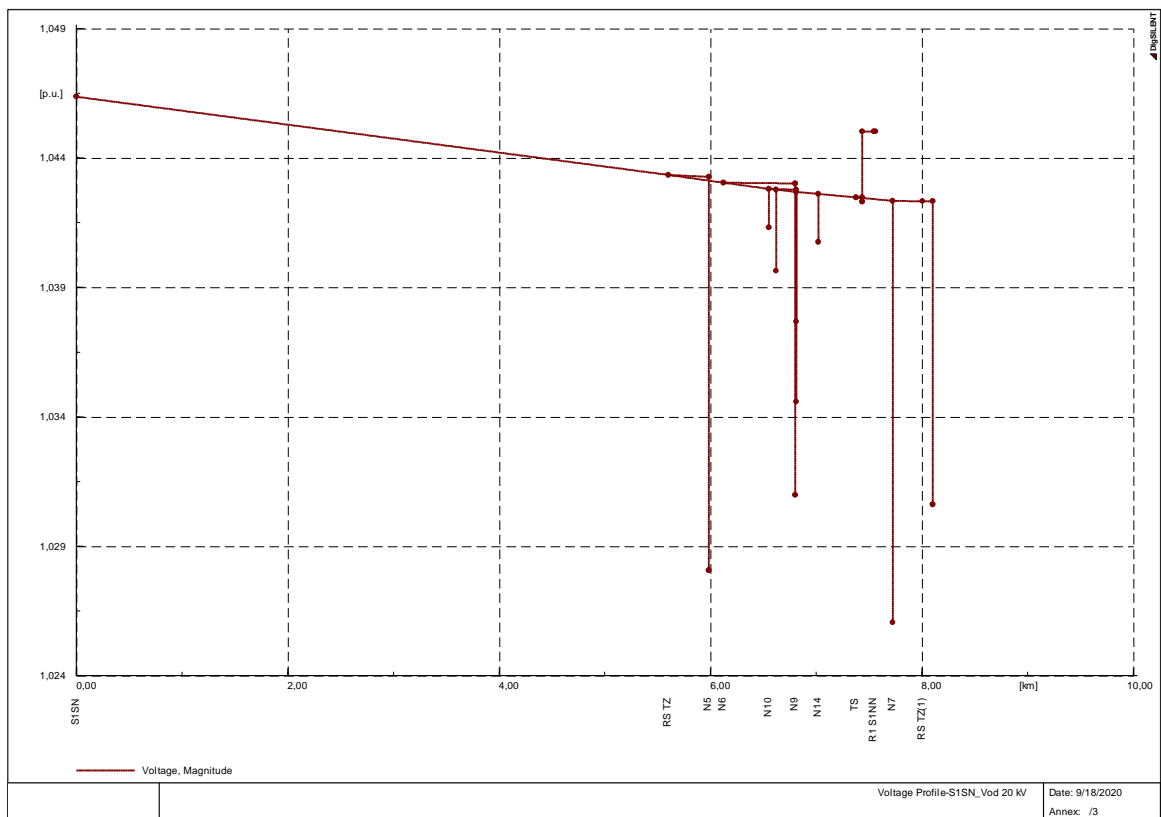


Slika 5.11. Napon na sabirnici tijekom 24 h





Slika 5.12. Opterećenja voda tijekom 24 h

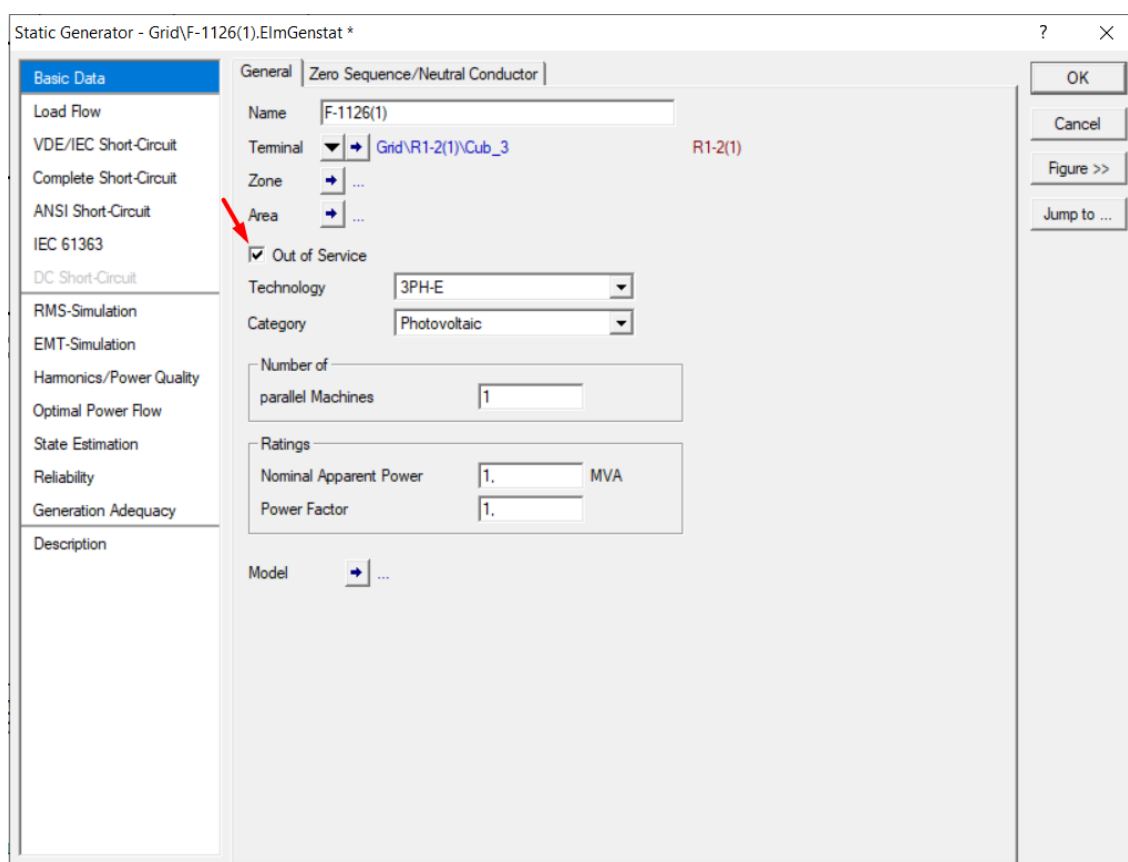


Slika 5.13. Naponski profil izvoda mreže

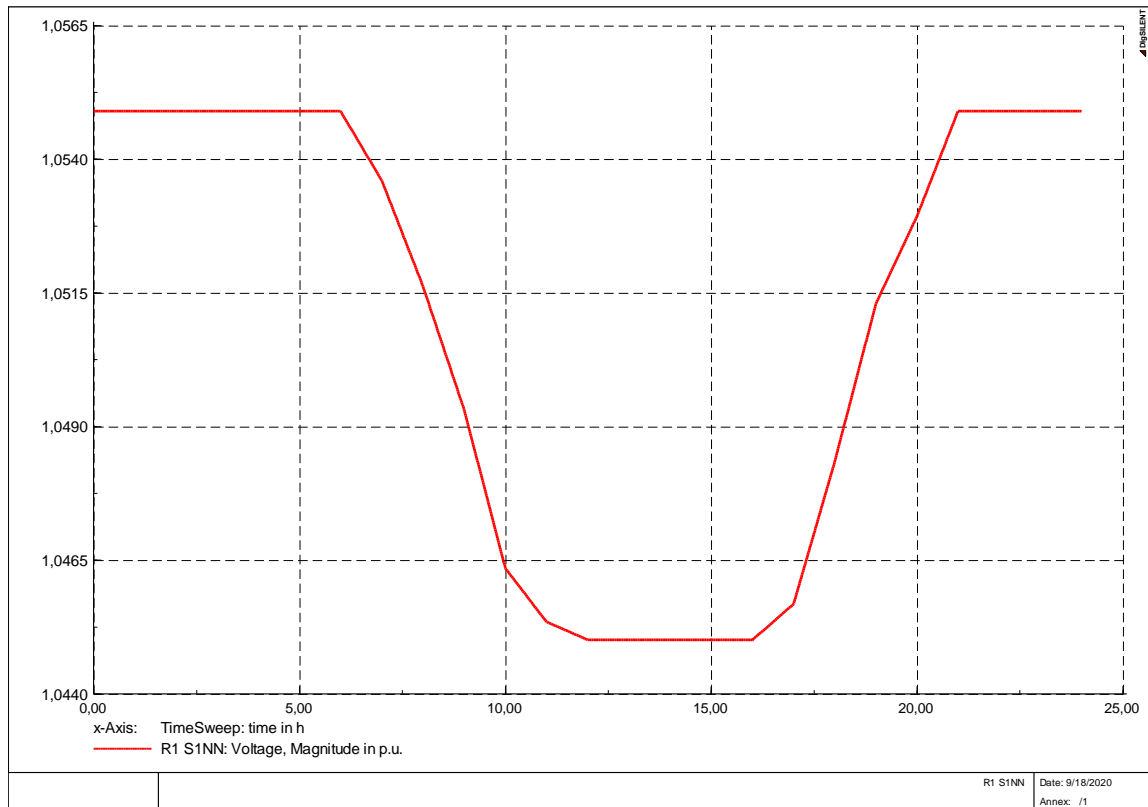
|   |               |
|---|---------------|
| <b>Ukupna el. energija koja je ušla u mrežu</b> | 45273,464 kWh |
| <b>Ukupna proizvodnja mreže</b>                 | 301,000 kWh   |
| <b>Ukupno opterećenje mreže</b>                 | 43440,001 kWh |
| <b>Ukupni gubici u mreži</b>                    | 2134,454 kWh  |

**Tablica 5.4.** Prikaz parametara mreže

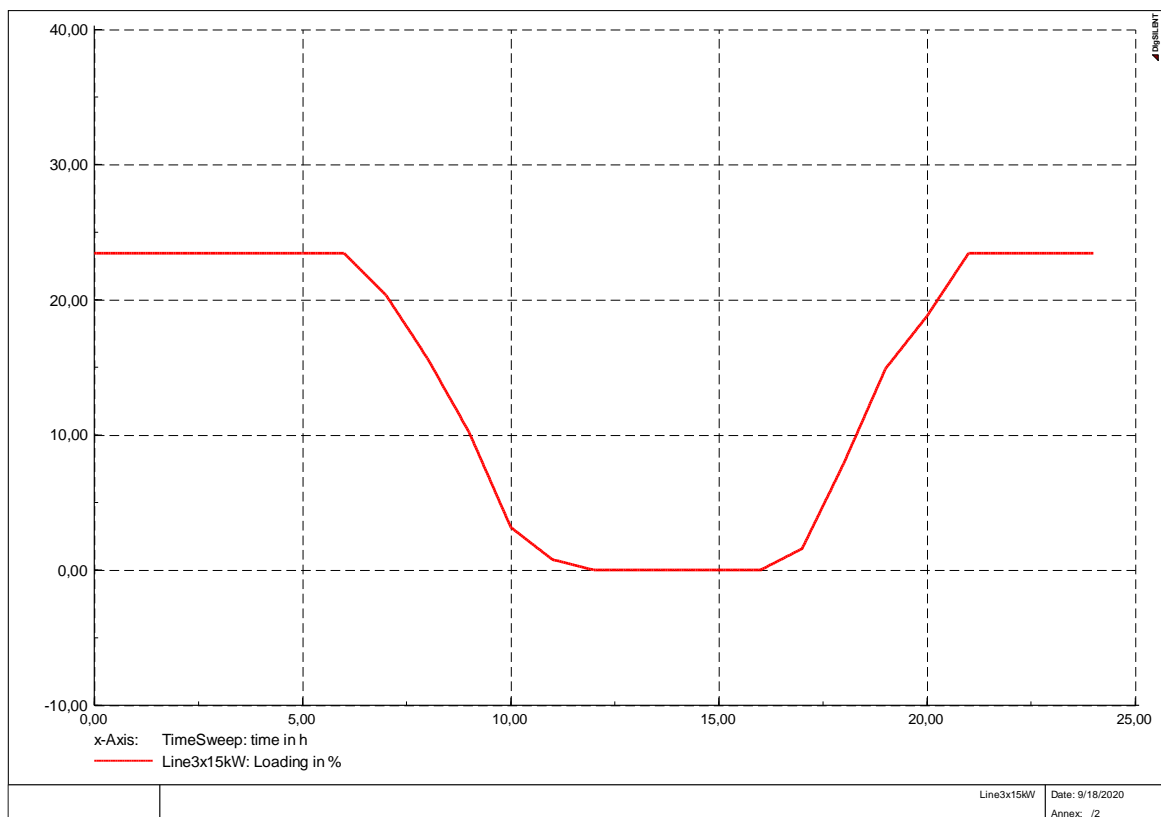
### 3. Način rada – Fotonaponski sustav ne radi



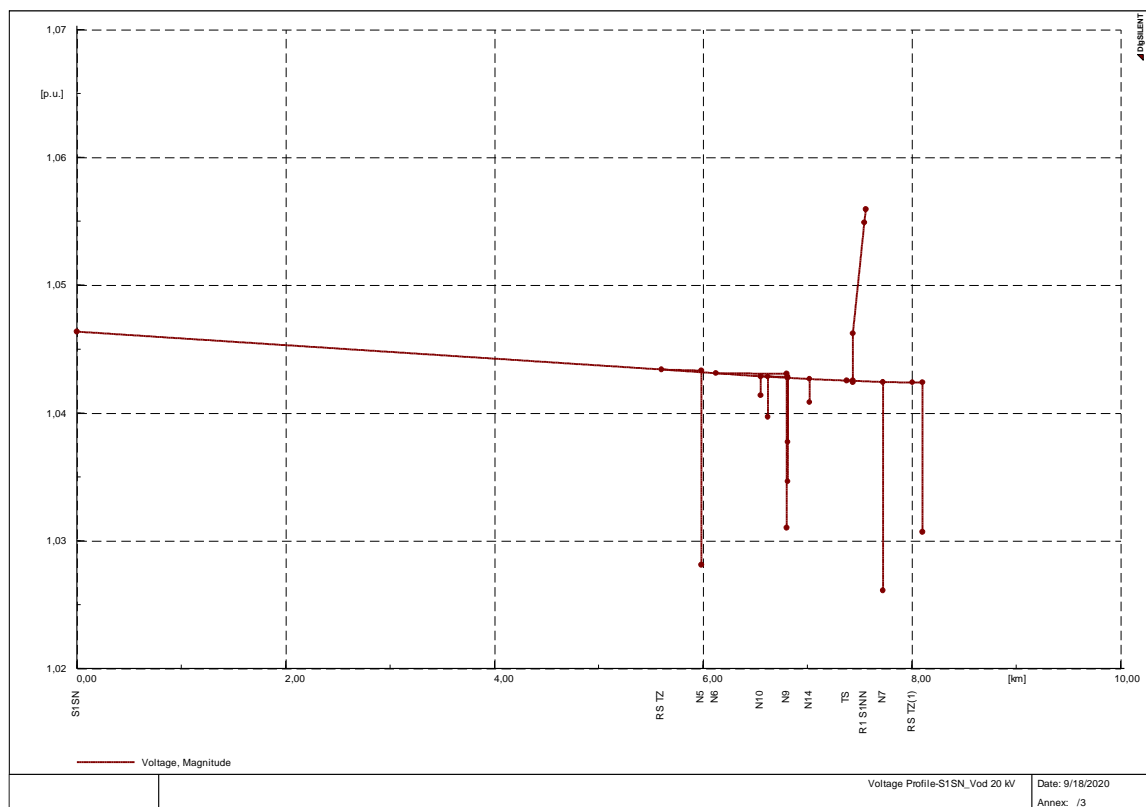
**Slika 5.14.** Prikaz isključenja fotonaponskog sustava



**Slika 5.15.** Napon na sabirnici tijekom 24 h



**Slika 5.16.** Opterećenje voda tijekom 24 h

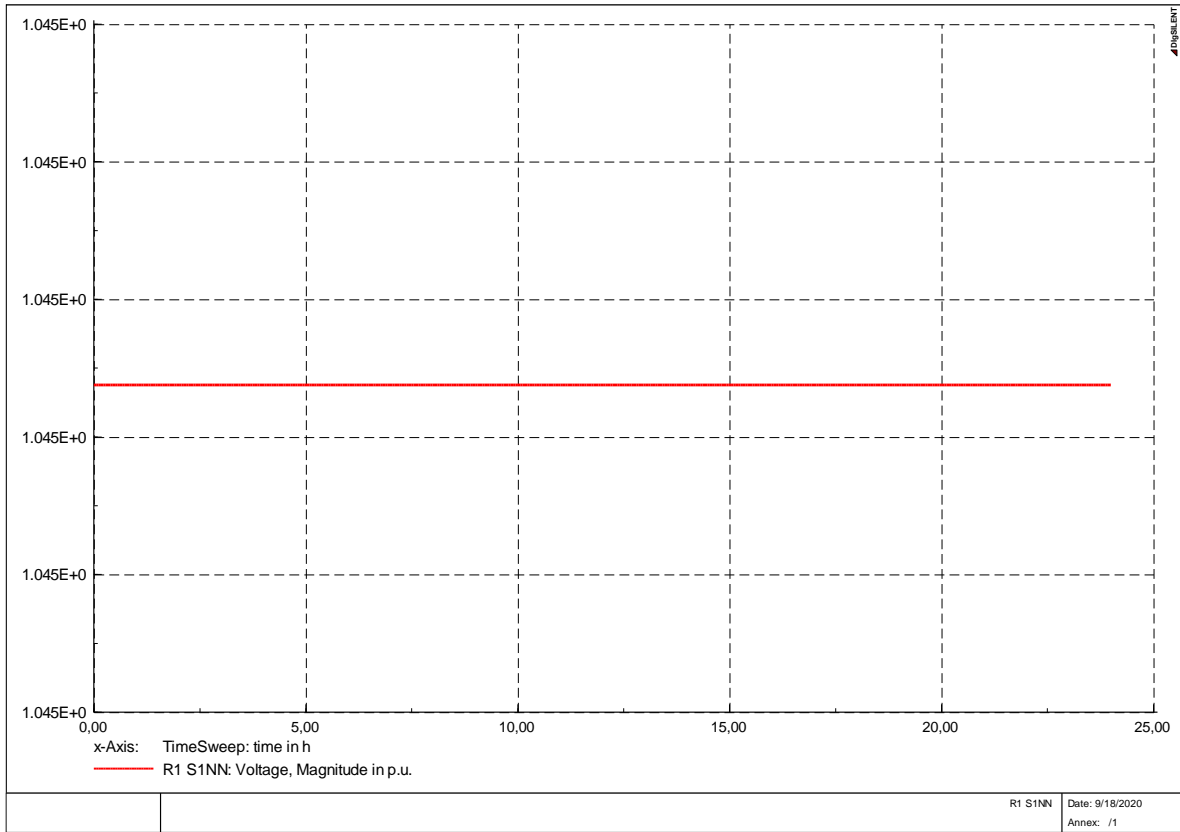


Slika 5.17. Naponski profil izvoda mreže

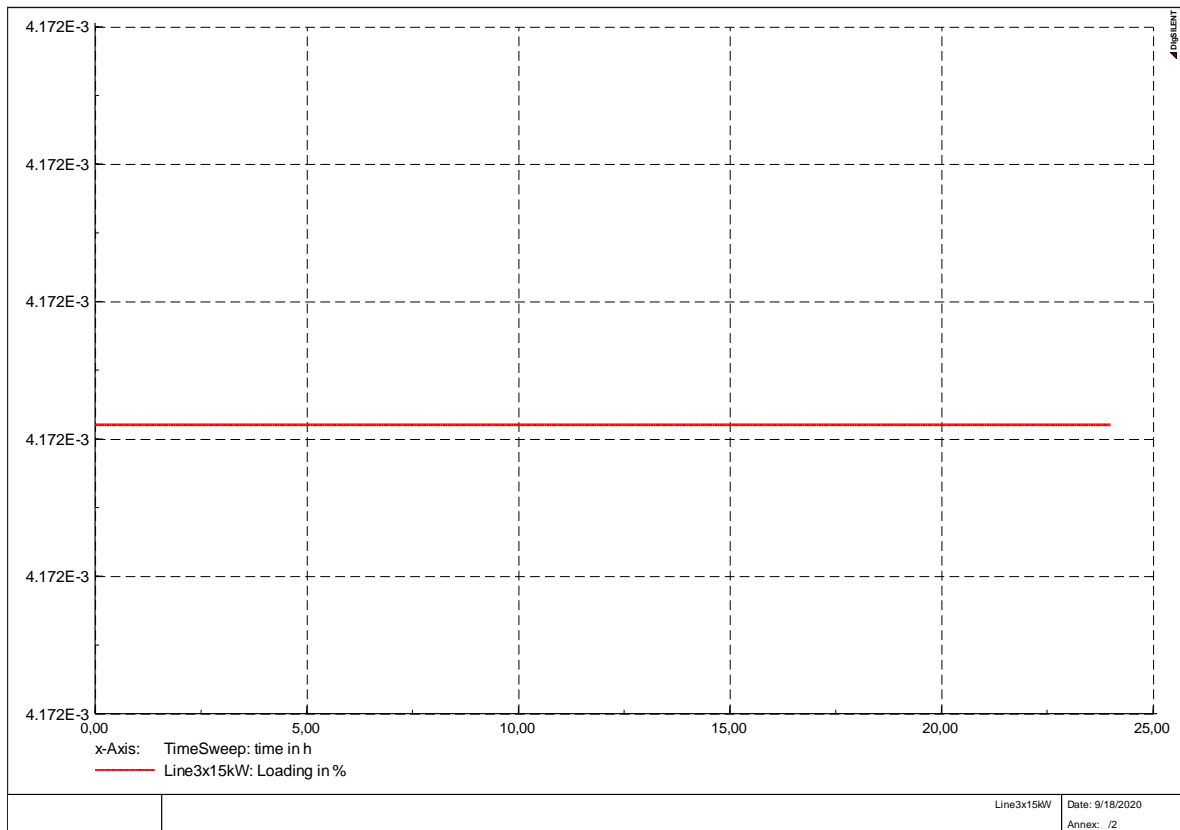
|   |               |
|---|---------------|
| <b>Ukupna el. energija koja je ušla u mrežu</b> | 45155,944 kWh |
| <b>Ukupna proizvodnja mreže</b>                 | 419,000 kWh   |
| <b>Ukupno opterećenje mreže</b>                 | 43440,001 kWh |
| <b>Ukupni gubici u mreži</b>                    | 2134,934 kWh  |

Tablica 5.5. Prikaz parametara mreže

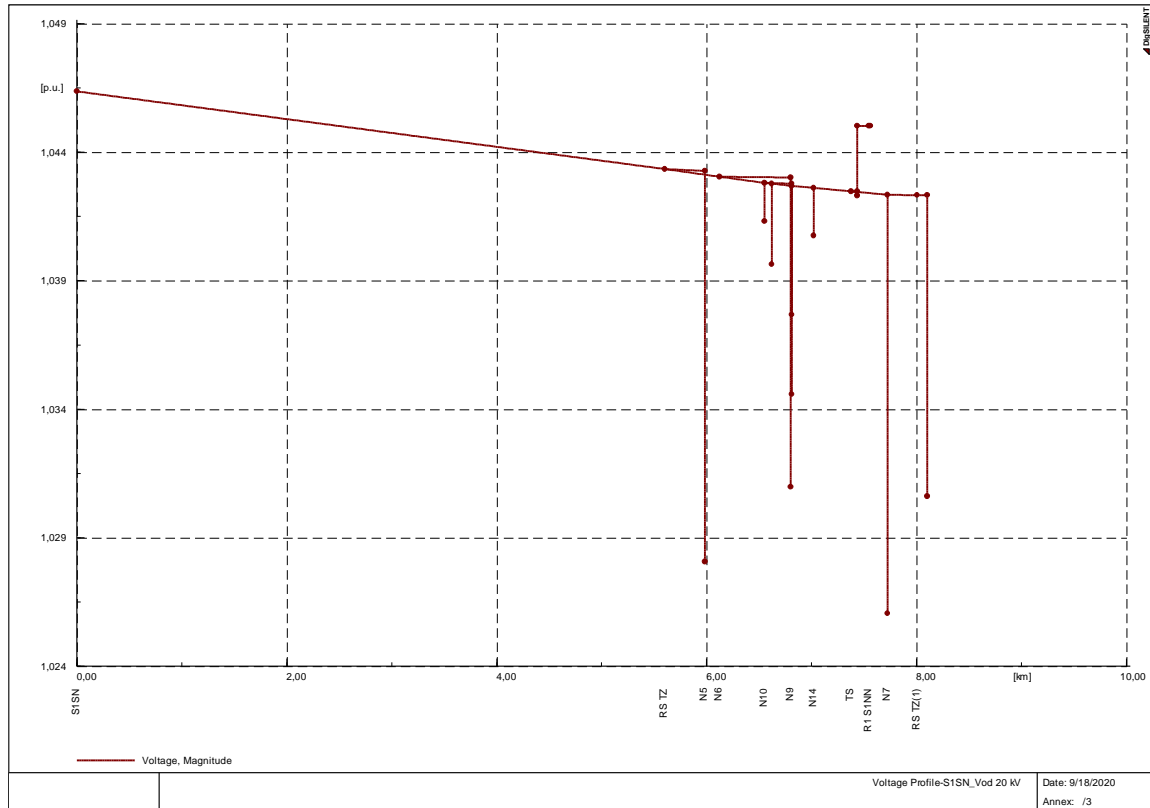
#### 4. Način rada - Baterijski spremnik i fotonaponski sustav ne rade



**Slika 5.18.** Napon na sabirnici tijekom 24 h



**Slika 5.19.** Opterećenje voda tijekom 24 h



**Slika 5.20.** Naponski profil izvoda mreže

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Ukupna el. energija koja je ušla u mrežu</b> | 45573,676 kWh |
| <b>Ukupna proizvodnja mreže</b>                 | 0,000 kWh     |
| <b>Ukupno opterećenje mreže</b>                 | 43440,001 kWh |
| <b>Ukupni gubici u mreži</b>                    | 2133,666 kWh  |

**Tablica 5.6.** Prikaz parametara mreže

## 2. SLUČAJ

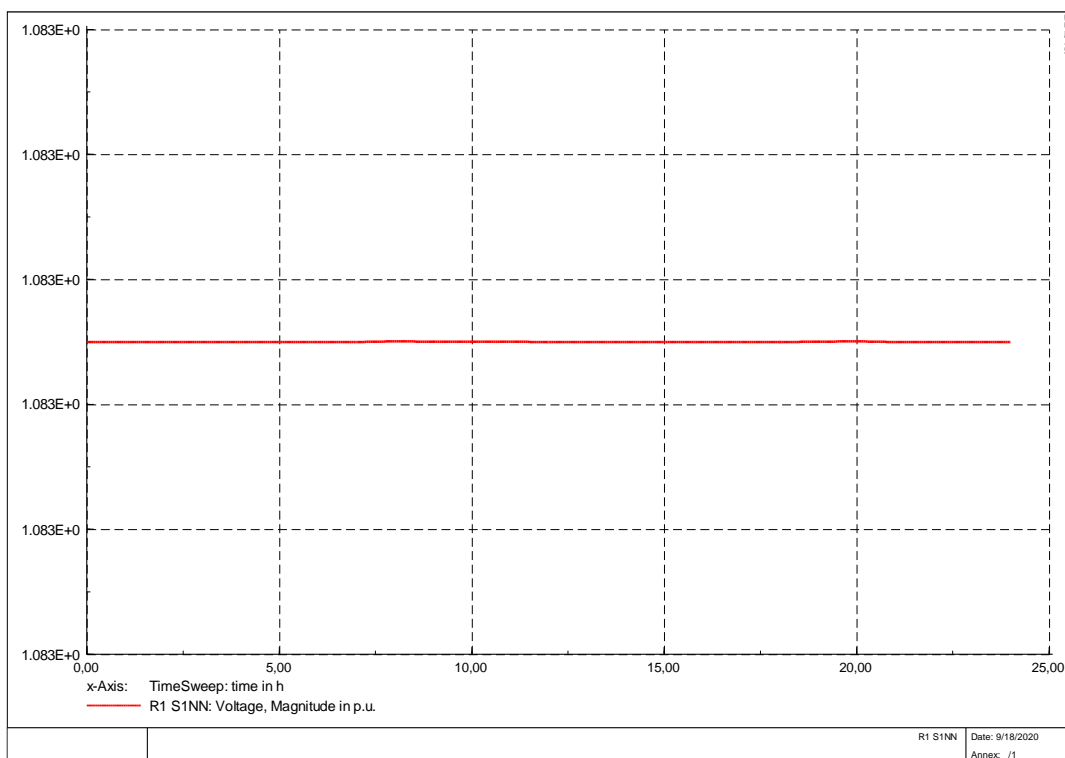
U ovom slučaju se umjesto 30 kW koriste 120 kW baterijski spremnik i fotonaponski sustav. Kao i kod prvog slučaja analizirat će se 4 načina rada:

1. Baterijski spremnik i fotonaponski sustav rade
2. Baterijski spremnik ne radi
3. Fotonaponski sustav ne radi
4. Baterijski spremnik i fotonaponski sustav ne rade

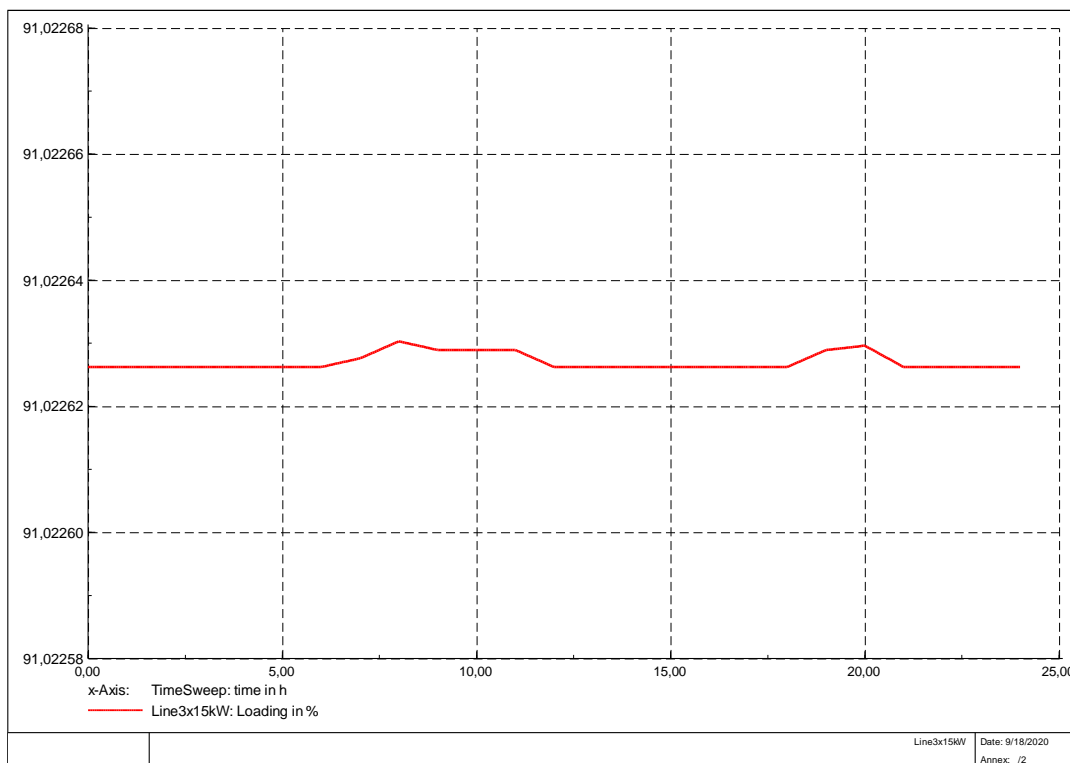
| <b>Vrijeme [h]</b> | <b>Djelatna snaga<br/>baterijskog spremnika<br/>[MW]</b> | <b>Djelatna snaga<br/>fotonaponskog sustava<br/>[MW]</b> |
|--------------------|--|--|
| 0                  | 0,12   | 0  |
| 1                  | 0,12   | 0  |
| 2                  | 0,12   | 0  |
| 3                  | 0,12   | 0  |
| 4                  | 0,12   | 0  |
| 5                  | 0,12   | 0  |
| 6                  | 0,12   | 0  |
| 7                  | 0,11   | 0,01   |
| 8                  | 0,09   | 0,03   |
| 9                  | 0,074  | 0,046  |
| 10                 | 0,05   | 0,07   |
| 11                 | 0,02   | 0,1  |
| 12                 | 0  | 0,12   |
| 13                 | 0  | 0,12   |
| 14                 | 0  | 0,12   |
| 15                 | 0  | 0,12   |
| 16                 | 0  | 0,12   |
| 17                 | 0  | 0,12   |
| 18                 | 0,026  | 0,094  |
| 19                 | 0,082  | 0,038  |
| 20                 | 0,115  | 0,005  |
| 21                 | 0,12   | 0  |
| 22                 | 0,12   | 0  |
| 23                 | 0,12   | 0  |

**Tablica 5.7.** Prikaz parametara baterijskog spremnika i fotonaponskog sustava tijekom 24 h

## 1. Način rada - Baterijski spremnik i fotonaponski sustav rade

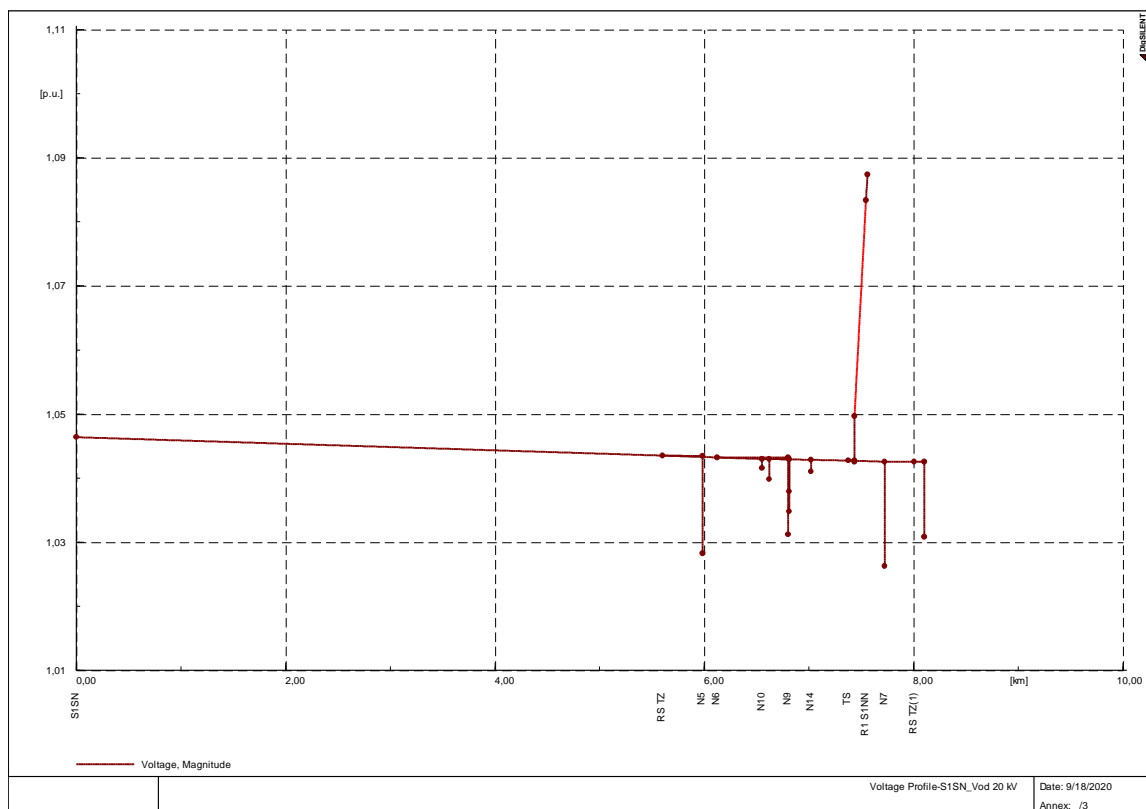


Slika 5.21. Napon na sabirnici tijekom 24 h



Slika 5.22. Opterećenje voda tijekom 24 h



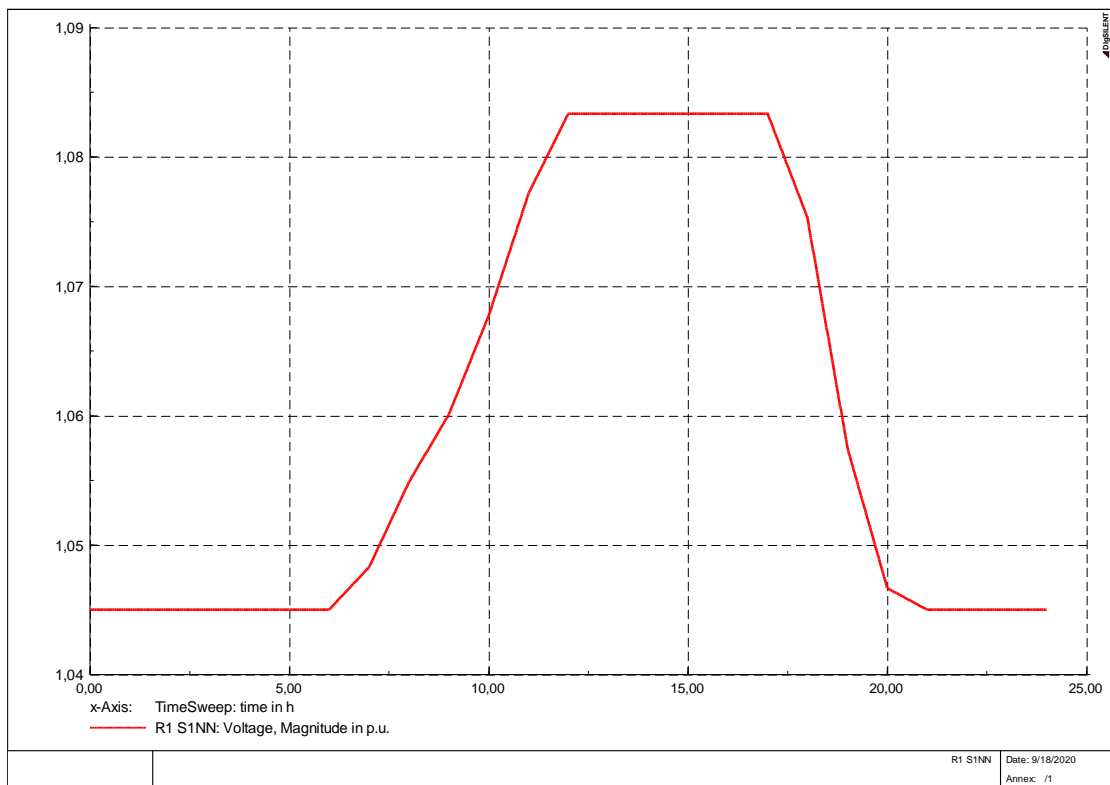


Slika 5.23. Naponski profil izvoda mreže

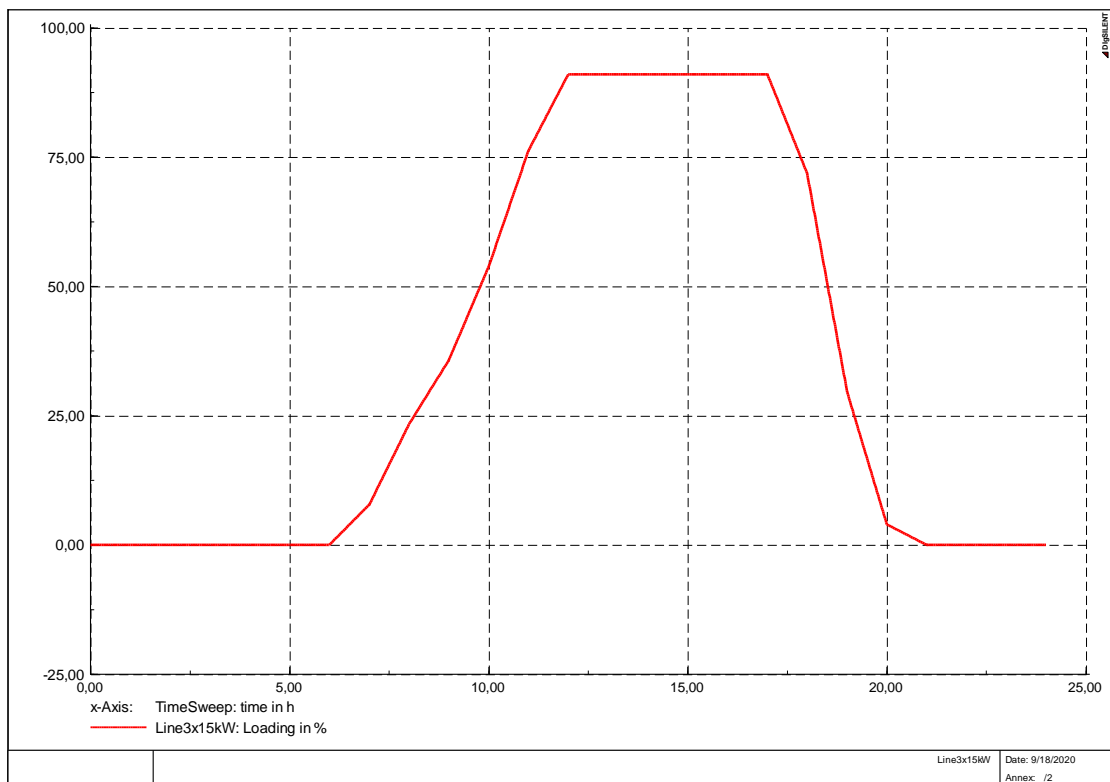
|   |               |
|---|---------------|
| <b>Ukupna el. energija koja je ušla u mrežu</b> | 42788,331 kWh |
| <b>Ukupna proizvodnja mreže</b>                 | 2880,000 kWh  |
| <b>Ukupno opterećenje mreže</b>                 | 43440,001 kWh |
| <b>Ukupni gubici u mreži</b>                    | 2228,321 kWh  |

Tablica 5.8. Prikaz parametara mreže

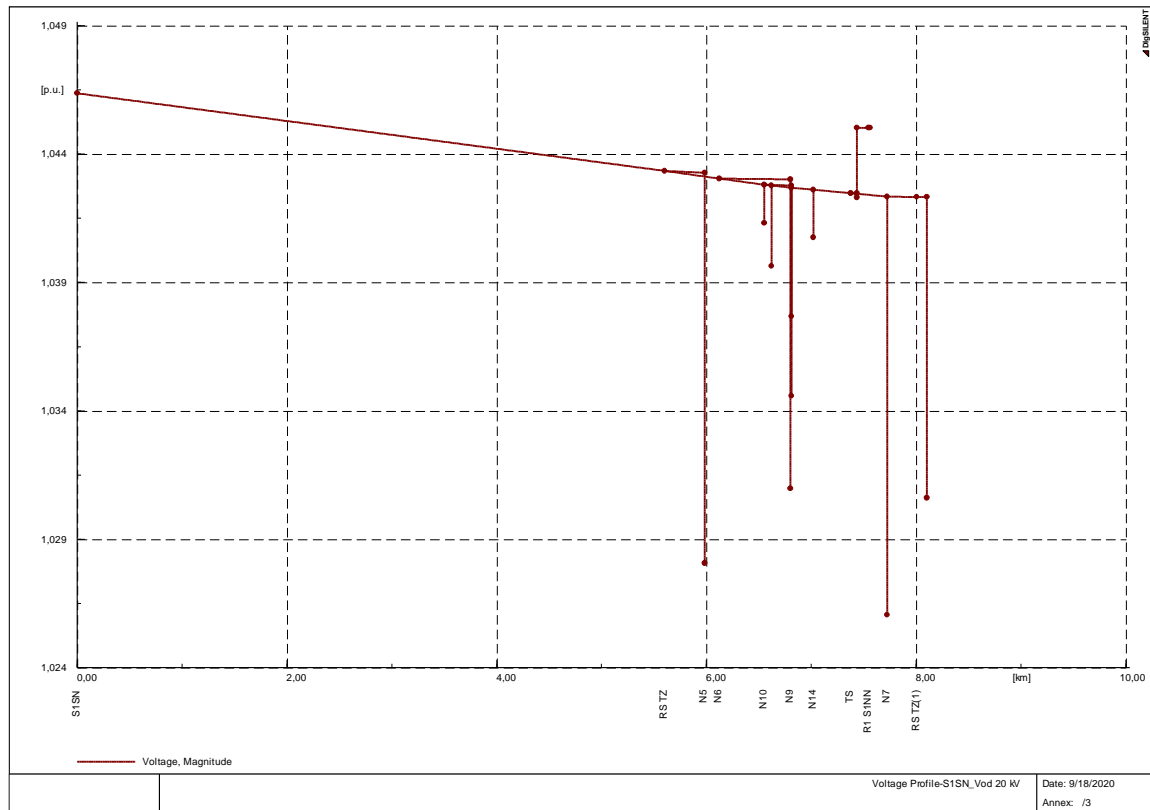
## 2. Način rada - Baterijski spremnik ne radi



Slika 5.24. Napon na sabirnici tijekom 24 h



Slika 5.25. Opterećenje voda tijekom 24 h

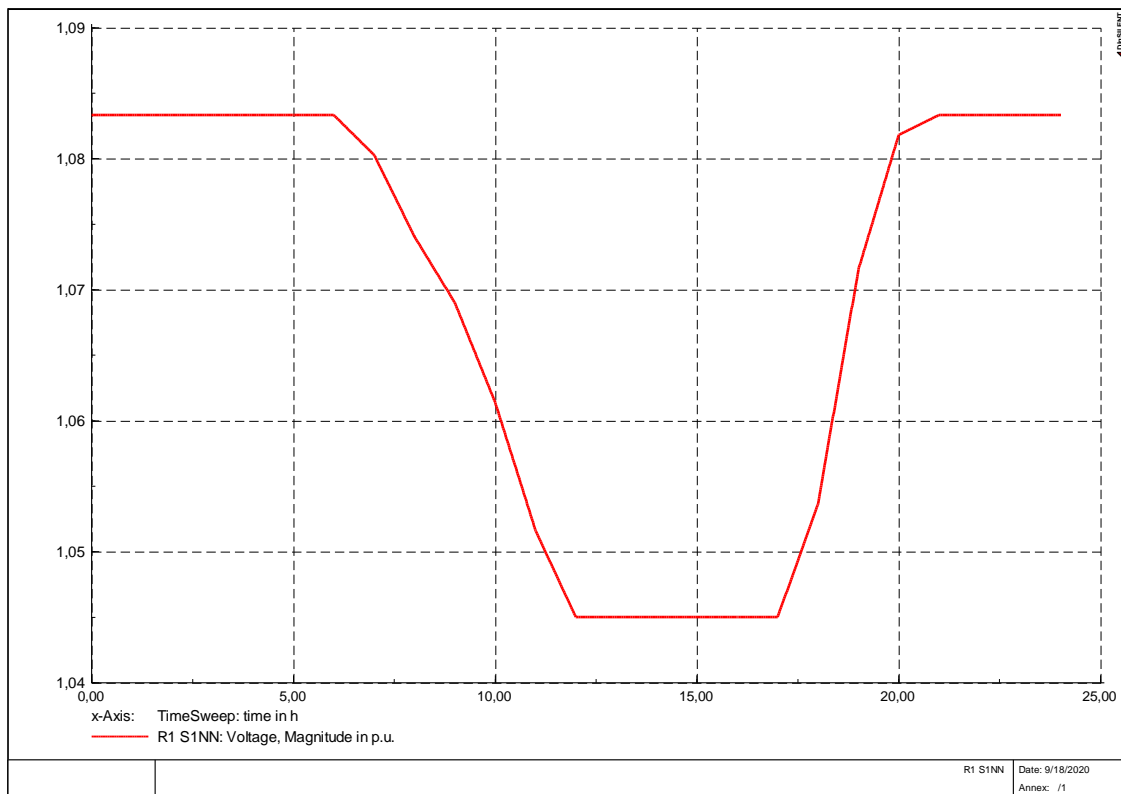


Slika 5.26. Naponski profil izvoda mreže

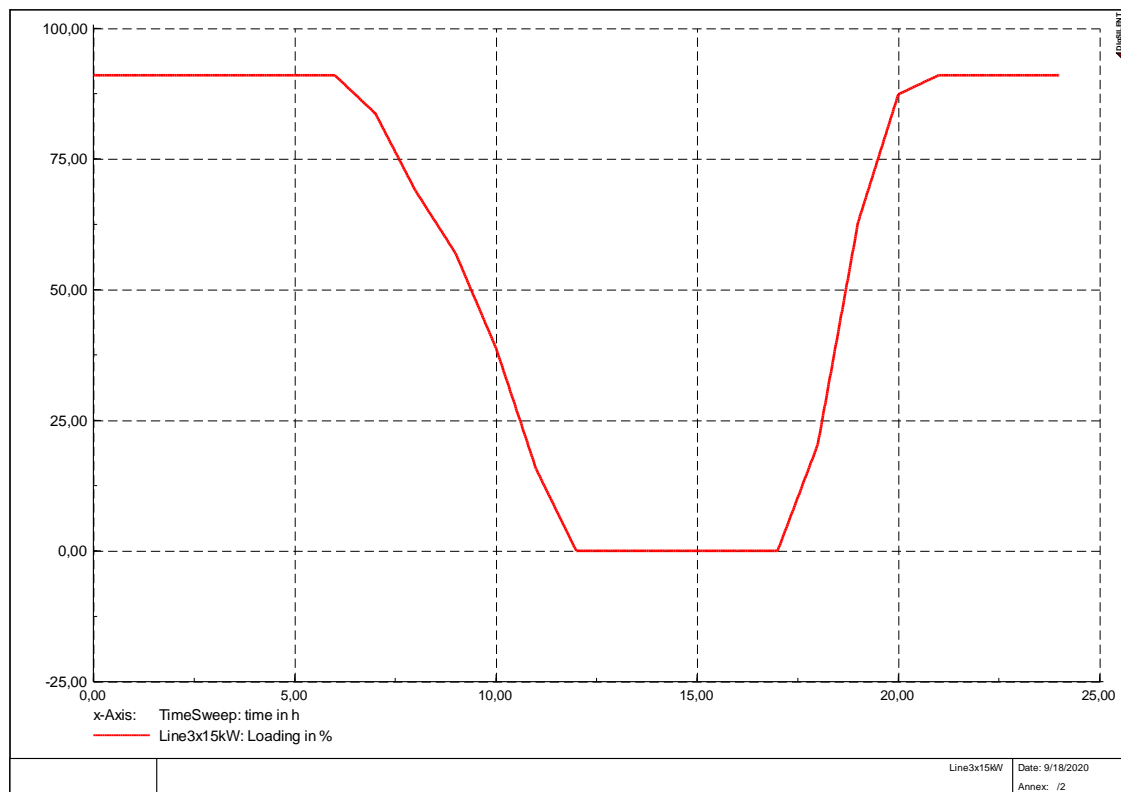
|   |               |
|---|---------------|
| <b>Ukupna el. energija koja je ušla u mrežu</b> | 44491,324 kWh |
| <b>Ukupna proizvodnja mreže</b>                 | 1113,000 kWh  |
| <b>Ukupno opterećenje mreže</b>                 | 43440,001 kWh |
| <b>Ukupni gubici u mreži</b>                    | 2164,314 kWh  |

Tablica 5.9. Prikaz parametara mreže

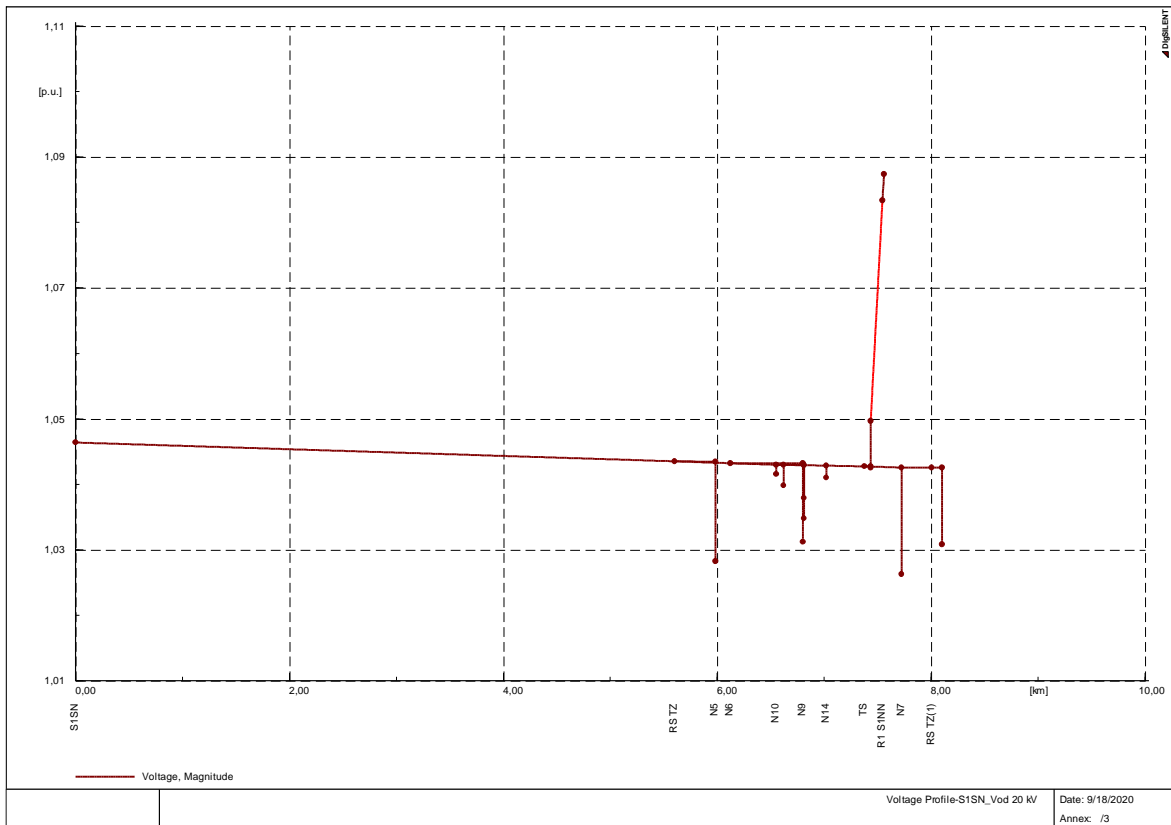
### 3. Način rada – Fotonaponski sustav ne radi



Slika 5.27. Napon na sabirnici tijekom 24 h



Slika 5.28. Opterećenje voda tijekom 24 h



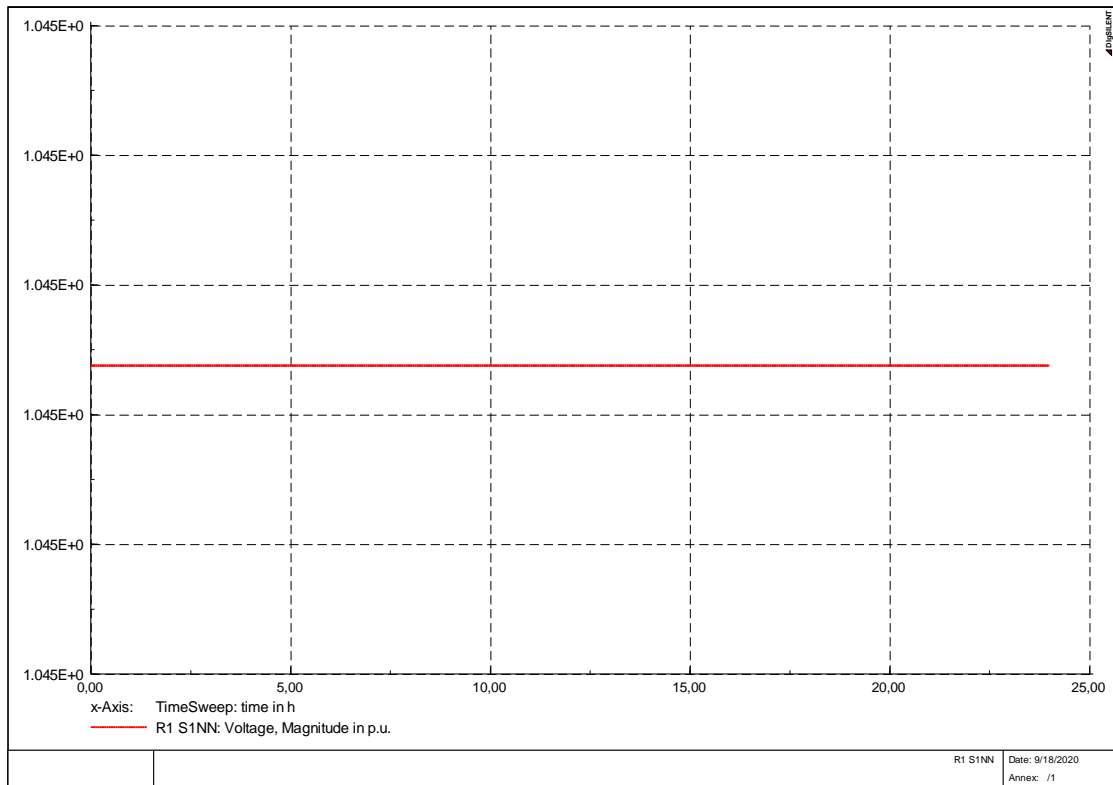
**Slika 5.29.** Naponski profil izvoda mreže

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Ukupna el. energija koja je ušla u mrežu</b> | 43858,854 kWh |
| <b>Ukupna proizvodnja mreže</b>                 | 1767,000 kWh  |
| <b>Ukupno opterećenje mreže</b>                 | 43440,001 kWh |
| <b>Ukupni gubici u mreži</b>                    | 2185,844 kWh  |

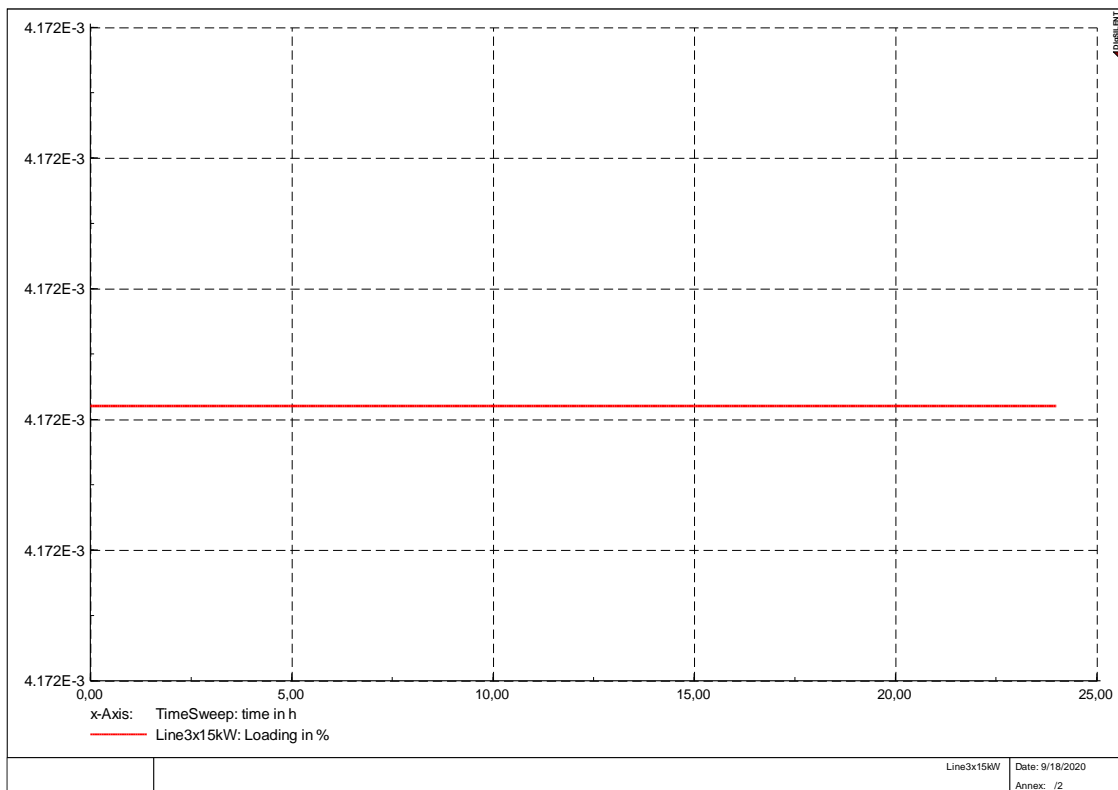
**Tablica 5.10.** Prikaz parametara mreže

Opterećenje voda prikazano na slici 5.28. je smanjeno zato što se krivulje fotonaponskog sustava i baterijskog spremnika nadopunjuju. To znači da baterijski spremnik neće davati ništa u mrežu dok radi fotonaponski sustav (tijekom dana), a budući da se smatra da fotonaponski sustav ne radi te ujedno i ne daje energiju u mrežu tada niti baterijski spremnik ne daje. Također napon na sabirnici što je prikazano na slici 5.27. je isto pao, ali je i dalje nazivni napon, jer nema proizvodnje ni iz čega budući da je fotonaponski sustav isključen, a baterijski spremnik neće davati ništa u mrežu jer se podrazumijeva da će u tom vremenskom intervalu raditi fotonaponski sustav.

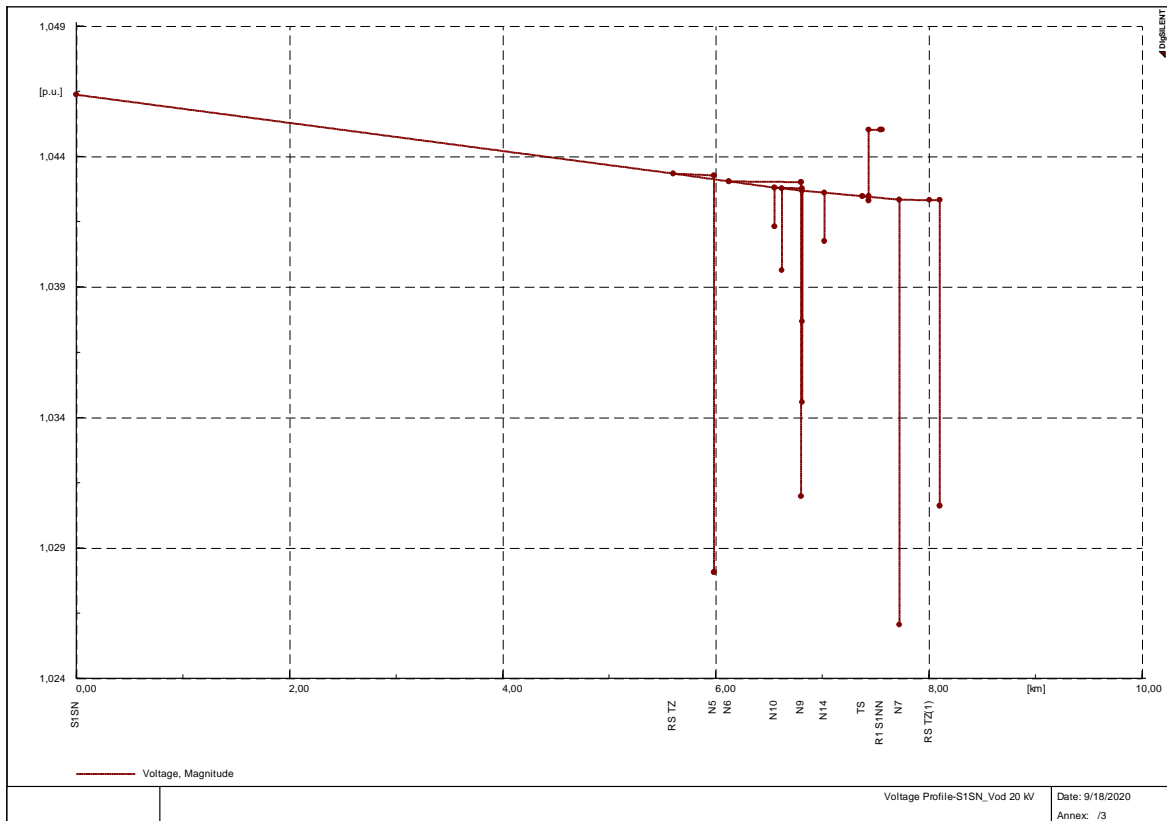
#### 4. Način rada - Baterijski spremnik i fotonaponski sustav ne rade



Slika 5.30. Napon na sabirnici tijekom 24 h



Slika 5.31. Opterećenje voda tijekom 24 h



Slika 5.32. Naponski profil izvoda mreže

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Ukupna el. energija koja je ušla u mrežu</b> | 45573,676 kWh |
| <b>Ukupna proizvodnja mreže</b>                 | 0,000 kWh     |
| <b>Ukupno opterećenje mreže</b>                 | 43440,001 kWh |
| <b>Ukupni gubici u mreži</b>                    | 2133,666 kWh  |

Tablica 5.11. Prikaz parametara mreže

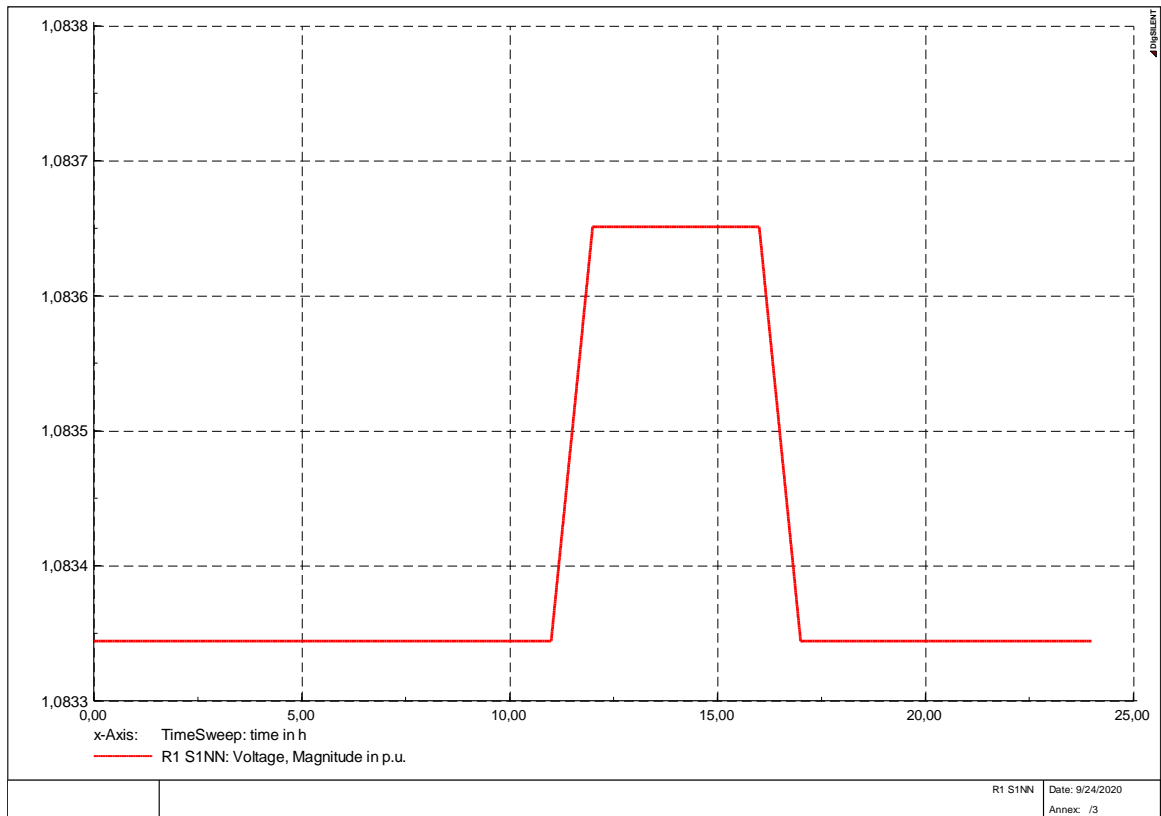
### 3. SLUČAJ

U ovom slučaju baterijski spremnik radi cijelo vrijeme (0-24 h), a fotonaponski sustav ne radi, te neće doći do pada opterećenja na vodu i napona na sabirnici kao što je to bio slučaj u prethodnim slučajevima jer se tada podrazumijevalo da baterijski spremnik ne daje ništa u mrežu dok daje fotonaponski sustav (tijekom dana).

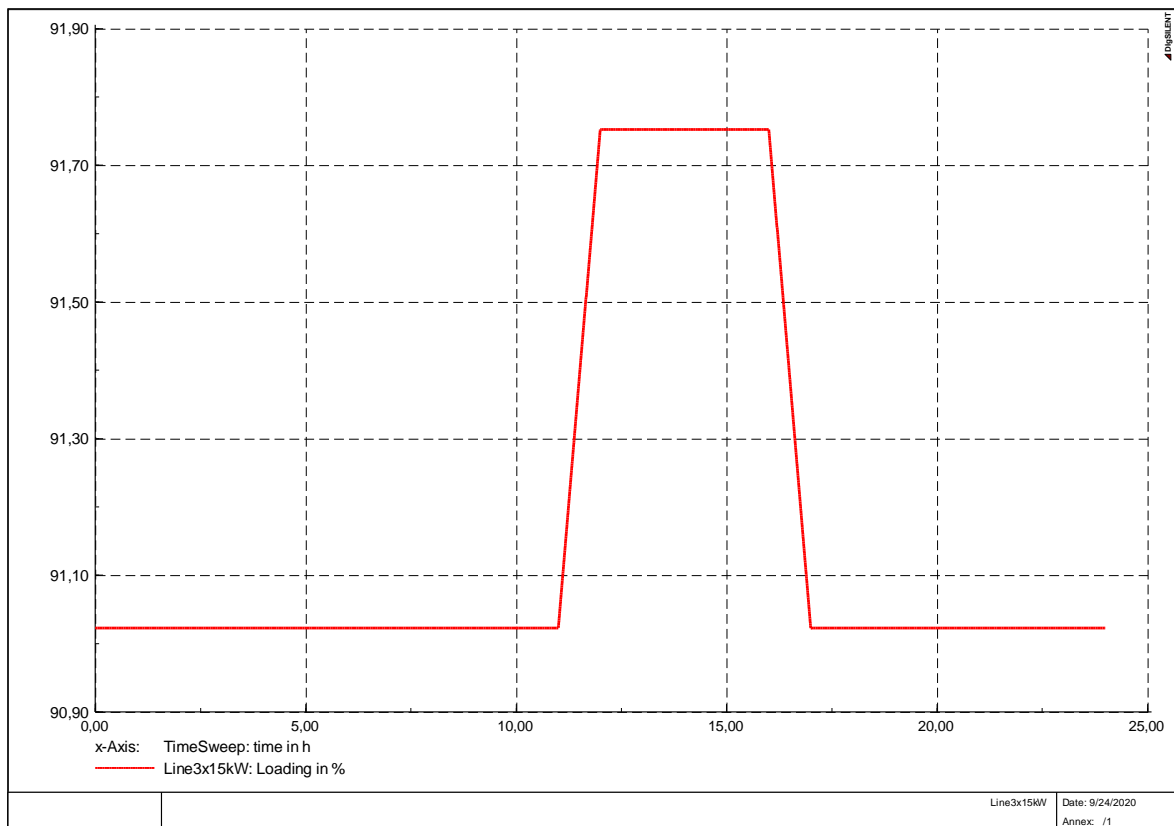
| <b>Vrijeme [h]</b> | <b>Djelatna snaga<br/>baterijskog spremnika<br/>[MW]</b> | <b>Djelatna snaga<br/>fotonaponskog sustava<br/>[MW]</b> |
|--------------------|--|--|
| 0                  | 0,12   | 0  |
| 1                  | 0,12   | 0  |
| 2                  | 0,12   | 0  |
| 3                  | 0,12   | 0  |
| 4                  | 0,12   | 0  |
| 5                  | 0,12   | 0  |
| 6                  | 0,12   | 0  |
| 7                  | 0,12   | 0,01   |
| 8                  | 0,12   | 0,03   |
| 9                  | 0,12   | 0,046  |
| 10                 | 0,12   | 0,07   |
| 11                 | 0,12   | 0,1  |
| 12                 | 0,121  | 0,12   |
| 13                 | 0,121  | 0,12   |
| 14                 | 0,121  | 0,12   |
| 15                 | 0,121  | 0,12   |
| 16                 | 0,121  | 0,12   |
| 17                 | 0,121  | 0,12   |
| 18                 | 0,12   | 0,094  |
| 19                 | 0,12   | 0,038  |
| 20                 | 0,12   | 0,005  |
| 21                 | 0,12   | 0  |
| 22                 | 0,12   | 0  |
| 23                 | 0,12   | 0  |

**Tablica 5.12.** Prikaz parametara baterijskog spremnika i fotonaponskog sustava tijekom 24 h

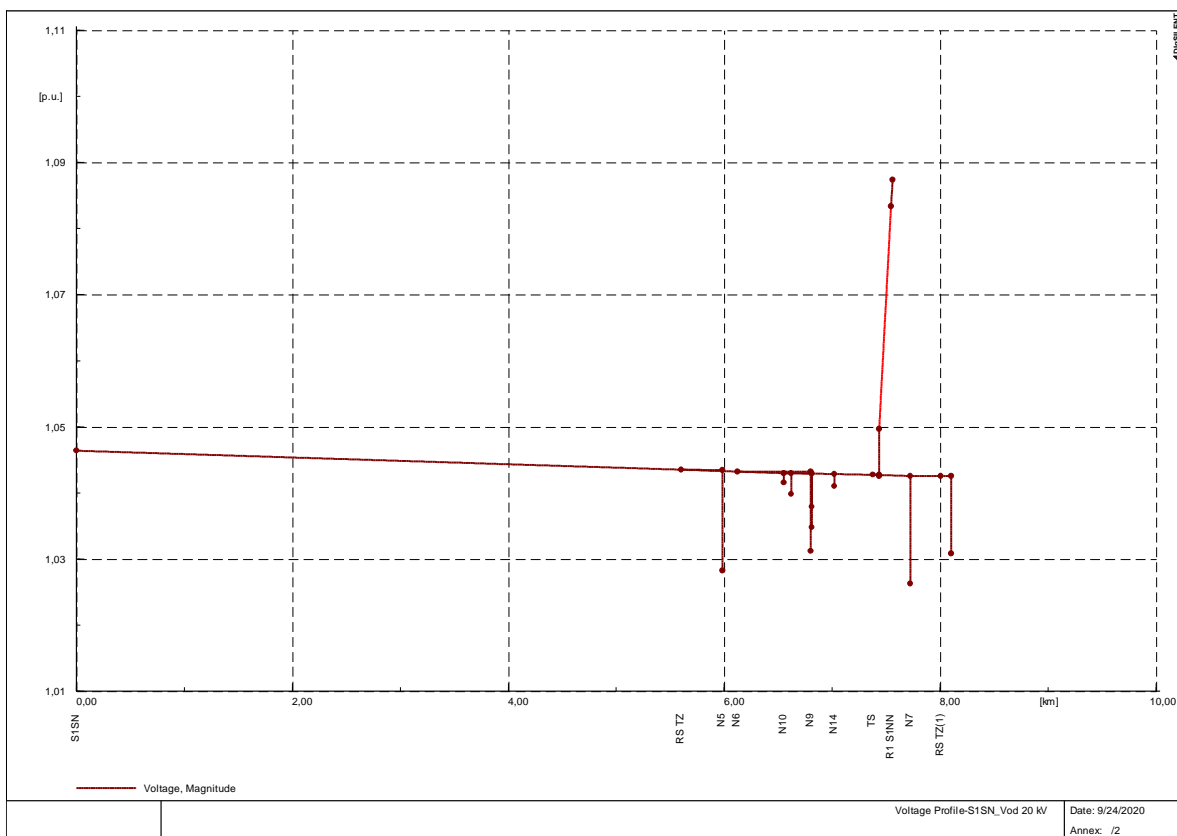




**Slika 5.33.** Napon na sabirnici tijekom 24 h



**Slika 5.34.** Opterećenje voda tijekom 24 h



Slika 5.35. Naponski profil izvoda mreže

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Ukupna el. energija koja je ušla u mrežu</b> | 42783,678 kWh |
| <b>Ukupna proizvodnja mreže</b>                 | 2885,000 kWh  |
| <b>Ukupno opterećenje mreže</b>                 | 43440,001 kWh |
| <b>Ukupni gubici u mreži</b>                    | 2228,668 kWh  |

Tablica 5.13. Prikaz parametara mreže

## ZAKLJUČAK

Uloga baterijskih spremnika sve je značajnija u današnje vrijeme jer omogućuje skladištenje energije za njeno daljnje korištenje. Postoji mnogo vrsta baterijskih spremnika energije te se zaključuje da je potrebno uskladiti njihove karakteristike s elektroenergetskom mrežom u kojoj se nalaze.

Nakon provedene analize u programu „DIGSILENT“ može se zaključiti da ako se poveća djelatna snaga baterijskog spremnika i fotonaponskog sustava pri svim načinima koji su se proveli u simulaciji i uz isto vrijeme rada tada promatranj mreži ukupna električna energija koja je dostavljena u mrežu se smanjuje te to znači da će i gubitci u mreži biti veći. Zaključak je i u tome da će i proizvodnja električne energije u mreži biti veća. Nadalje, ako se fotonaponski sustav isključi iz funkcije, tada treba više energije doprinijeti u mrežu što ujedno uzrokuje smanjenje gubitaka u mreži. U tom slučaju zaključuje se da će proizvodnja el. energije u mreži biti manja. Iz prikazanih se dijagrama zaključuje da napon na promatranj sabirnici tijekom određenog vremenskog intervala raste kao i opterećenje promatranog voda kada baterijski spremnik ne radi jer tada ulogu preuzima fotonaponski sustav. Stvar je obrnuta kod slučaja kada se fotonaponski sustav isključi iz funkcije, tada napon na promatranj sabirnici pada kao i opterećenje promatranog voda zbog nadopunjavanja krivulja fotonaponskog sustava i baterijskog spremnika što se vidi u odrađenoj simulaciji.

## SAŽETAK

U ovom su se radu opisale različite tehnologije baterijskih spremnika energije te njihova primjena u elektroenergetskoj mreži. Također, prikazan je i utjecaj baterijskog spremnika kao „backup“ fotonaponskom sustavu u distribucijskoj mreži pomoću simulacije u programu DIgSILENT PowerFactory, što je ujedno i cilj ovoga rada. Na kraju nakon provedene analize i dobivenih rezultata pomoću simulacije donesen je zaključak.

**Ključne riječi:** elektrokemijska ćelija, Galvanski članak, baterijski spremnik, distribucijska mreža, tehnologija, primarne, sekundarne, fotonaponski sustav

## SUMMARY

This paper describes different technologies of battery energy storage and their application in the power grid. Also, the influence of the battery tank as a backup photovoltaic system in the distribution network is shown using simulations in the DIgSILENT PowerFactory program, which is also the goal of this paper. Finally, after the analysis were performed and the results obtained using simulations, a conclusion was reached.

**Key words:** electrochemical cell, Galvanic cell, battery storage, distribution grid, technology, primary, secondary, photovoltaic system

## LITERATURA:

- [1] M. Delimar *Nastavni materijal za predmet Spremnici energije*, prezentacija, Spremnici energije: dostupno na: [https://www.fer.unizg.hr/download/repository/04\\_Baterije.pdf](https://www.fer.unizg.hr/download/repository/04_Baterije.pdf) : posjećeno 3.8.2020.
- [2] M. Metikoš-Huković, Interni udžbenik, *Elektrokemija*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2000. : dostupno na: [https://www.fkit.unizg.hr/images/50012393/Metikos-Hukovic\\_Elektrokemija.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/images/50012393/Metikos-Hukovic_Elektrokemija.pdf) : posjećeno 6.8.2020.
- [3] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrokemija#Osnovni\\_principi](https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrokemija#Osnovni_principi) : posjećeno 4.8.2020.
- [4] Hrvatska akademska i istraživačka mreža : dostupno na : <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/ee15a65f-2692-4509-a46b-657427659336/kemija-2/m05/j02/index.html> : posjećeno 6.8.2020.
- [5] B. Brezina, Ž. Stanečić, *NiMH akumulatori*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb 13. siječanj 2013. : posjećeno 9.8.2020.
- [6] M. Matijašić, *Projektiranje i analiza točnosti estimatora stanja napunjenosti baterije temeljenog na lineariziranom modelu i Luenbergerovom estimatoru*, diplomski rad, preddiplomski, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 21.9.2016., dostupno na : <https://www.bib.irb.hr/833626?&rad=833626> : posjećeno 11.9.2020.
- [7] B. Plavljančić *Baterije – vrste, tehnologija izrade i način rada*, 7.4.2016.: dostupno na: <https://pcchip.hr/ostalo/tech/baterije-vrste-tehnologija-izrade-i-nacin-rada/> : posjećeno 9.8.2020.
- [8] D. Lozina, *Recikliranje baterija*, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2017. : dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos:1633/preview> : posjećeno 6.8.2020.
- [9] [http://tnt.etf.bg.ac.rs/~aes/index\\_files/2020\\_EH\\_baterije.pdf](http://tnt.etf.bg.ac.rs/~aes/index_files/2020_EH_baterije.pdf) [11.8.2020.]
- [10] <https://www.electrical4u.com/types-of-battery/> [11.8.2020.]
- [11] <http://www.fot-o-grafiti.hr/novosti/tehnologija/baterije> [11.8.2020.]
- [12] <https://technoluxpro.com/hr/> [15.8.2020.]

- [13] <https://www.skil.hr/koristenje-alata/glavne-razlike-u-tehnologijama-baterija.html> : posjećeno 15.8.2020.
- [14] L. Ada, D. Nosonowitz, 16. veljače 2013. : dostupno na :  
<https://learn.adafruit.com/all-about-batteries/overview> : posjećeno 15.8.2020.
- [15] <https://www.schrack.hr/know-how/alternativni-izvori/kontrola-baterije/> [8.9.2020.]
- [16] Generalić, Eni. "Olovni akumulator." *Englesko-hrvatski kemijski rječnik & glosar*. 20 Oct. 2018. KTF-Split. 24 Sep. 2020. : dostupno na  
:<https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=olovni+akumulator> : posjećeno 16.8.2020.
- [17] I. Kuzle, *Baterijski spremnici energije – od električnih vozila do prijenosnog sustava*, Opatija, 30.5.-3.6.2016. // MIPRO2016 / Komen, Vitomir (ur.). Rijeka: Croatian Society for Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics - MIPRO, 2016. 2, 8  
<https://www.bib.irb.hr/821636> : posjećeno 14.9.2020.
- [18] J. Zdenković, *Punjenje pražnjenje i kontrola baterije*, dostupno na :  
[https://www.schrack.hr/fileadmin/f/hr/Bilder/pdf\\_dokumenti/Schrack-Majstor\\_05-06-2015.pdf](https://www.schrack.hr/fileadmin/f/hr/Bilder/pdf_dokumenti/Schrack-Majstor_05-06-2015.pdf) : posjećeno 8.9.2020.
- [19] J. Ahlen, T. Binet, P. Muhoro, B. Seibert, *Battery Energy Storage Overview*, National Rural Electric Cooperative Association, National Rural Utilities Cooperative Finance Corporation, CoBank, and NRTC, travanj 2019., dostupno na: <https://www.cooperative.com/programs-services/bts/documents/reports/battery-energy-storage-overview-report-update-april-2019.pdf> : posjećeno 4.9.2020.
- [20] I. Đurić, J. Škare, i T. Marijanić, *Baterijski spremnici električne energije u distribucijskoj mreži*, HRVATSKI OGRANAK MEĐUNARODNE ELEKTRODISTRIBUCIJSKE KONFERENCIJE - HO CIRED, 6. (12.) Savjetovanje, Opatija, 13. - 16. svibnja 2018.: dostupno na:  
[https://www.ho-cired.hr/images/OPATIJA2018/Referati\\_po\\_studijskim\\_odborima/SO5/SO5-17.pdf](https://www.ho-cired.hr/images/OPATIJA2018/Referati_po_studijskim_odborima/SO5/SO5-17.pdf) : posjećeno 4.8.2020.
- [21] <https://www.idealenergysolar.com/how-battery-energy-storage-works/> : posjećeno 8.9.2020.

[22] T. Bowen, I. Chernyakhovskiy, P. Denholm, *Grid-Scale Battery Storage*, National Renewable Energy Laboratory, dostupno na :

<https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/74426.pdf> : posjećeno 31.8.2020.

[23] D. R Chandran, A. Master, *Microgrid Battery Energy Storage Systems (BESS) Approach*, DOI: 10.24321/2456.1401.201801, 2018., dostupno na :

[https://www.researchgate.net/publication/326208534\\_Microgrid\\_Battery\\_Energy\\_Storage\\_Systems\\_BESS\\_Approach](https://www.researchgate.net/publication/326208534_Microgrid_Battery_Energy_Storage_Systems_BESS_Approach) : posjećeno 5.9.2020.

[24] <http://www.amdcenergy.com/battery-energy-storage-system.html> : posjećeno 31.8.2020.