

# Modeliranje baterijskog spremnika električne energije za potrebe izrade optimizacijskih računalnih modela

---

Jukić, Ilija

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:200:858193>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-16**

*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**

**MODELIRANJE BATERIJSKOG SPREMNIKA  
ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA POTREBE IZRADE  
OPTIMIZACIJSKIH RAČUNALNIH MODELA**

**Završni rad**

**Ilija Jukić**

**Osijek, 2020.**

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

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

Osijek, 17.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

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

Ime i prezime studenta:	Ilija Jukić
Studij, smjer:	Prediplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	4215, 16.09.2019.
OIB studenta:	34253050084
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Modeliranje baterijskog spremnika električne energije za potrebe izrade optimizacijskih računalnih modela
Znanstvena grana rada:	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
Predložena ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	17.09.2020.
Datum potvrde ocjene Odbora:	23.09.2020.
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, 23.09.2020.

**Ime i prezime studenta:**

Ilija Jukić

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

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

4215, 16.09.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Modeliranje baterijskog spremnika električne energije za potrebe izrade optimizacijskih računalnih modela**

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

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
2. PREGLED LITERATURE .....	2
3. BATERIJSKI SPREMNICI ENERGIJE .....	3
3.1. Primarni baterijski spremnici.....	6
3.2. Sekundarni baterijski spremnici .....	7
3.3. Punjenje baterijskih spremnika.....	8
3.4. Pražnjenje baterijskog spremnika.....	11
3.5. Stanje napunjenosti, dubina pražnjenja i utjecaj temperature .....	12
3.6. Tipovi baterijskih spremnika .....	14
3.6.1. Olovno-kiselinske baterije .....	14
3.6.2. Nikal-kadmij i nikal-metal hidrid baterije .....	15
3.6.3. Litij-ionske baterije.....	16
3.6.4. Redoks protočna baterija.....	18
4. MODEL BATERIJSKOG SPREMNIKA .....	20
5. REZULTATI SIMULACIJE .....	23
5.1. Opis scenarija .....	23
5.2. Rezultati.....	24
6. ZAKLJUČAK .....	28
7. SAŽETAK .....	29
8. ABSTRACT.....	29
9. REFERENCE.....	30
10. ŽIVOTOPIS.....	32

## **1. UVOD**

Razvojem tehnologije obnovljivih izvora energije, mobilnih uređaja, električnih vozila u posljednjih nekoliko godina došlo je do značajne upotrebe baterijskih spremnika energije. Pohrana energije je tema mnogobrojnih istraživanja i nije jednostavan zadatak. Ako se obrati pažnja na trenutno stanje baterijskih spremnika, da se primijetiti da im je trajanje značajno ograničeno. Baterija u pametnom telefonu traje nešto duže od 24 sata, u prijenosnom računalu nekoliko sati. Osim toga baterijski spremnici mogu imati značajan utjecaj na ekonomičnost i učinkovitost sustava na koji su spojeni, ali je potrebno razumno upravljati njima.

Zbog toga treba obratiti pažnju na razumnu upotrebu spremnika energije te odabir tipa baterijskog spremnika korištenog u odgovarajućem sustavu, posebno kada su u pitanju sustavi napajanja spojeni na elektroenergetsku mrežu. Napretkom tehnologije došlo je do razvoja raznih tipova baterijskih spremnika te različitih načina upotrebe istih.

U ovom radu su opisani tipovi baterijskih spremnika te njihov princip rada, područja upotrebe, prednosti i nedostaci. U trećem poglavlju je izvršen detaljan opis primarnih i sekundarnih tipova baterija te pojedini tipovi baterijskog spremnika za različita područja upotrebe. Osim toga opisan je i utjecaj temperature i dubine pražnjenja na životni vijek i efikasnost baterije.

U četvrtom poglavlju opisan je model baterijskog spremnika. U petom poglavlju su prikazani rezultati simulacije modela baterijskog spremnika pomoću programskog paketa Matlab te opis značenja tih rezultata.

### **1.1. Zadatak završnog rada**

U završnom radu potrebno je dati pregled tipova baterijskih spremnika energije. Nadalje, potrebno je objasniti načine modeliranja baterijskog spremnika energije za potrebe izrade optimizacijskih modela. Na računalnom modelu baterijskog spremnika potrebno je dati plan rada spremnika s obzirom na tržišne uvjete.

## **2. PREGLED LITERATURE**

U literaturi [1,2,3] su objašnjeni procesi i kemijske reakcije do kojih dolazi u baterijskim spremnicima, osnovni dijelovi svakog baterijskog spremnika te materijali koji se koriste za izradu istih. Primarni i sekundarni baterijski spremnici, njihove osnovne karakteristike, način podjele i uporabe su opisani u literaturi [1].

Proces i metode (načini) punjenja i pražnjenja baterijskih spremnika te utjecaj načina punjenja i pražnjenja baterijskog spremnika na životni vijek, performanse i efikasnost spremnika opisani su u literaturi [4,5]. Karakteristične veličine kao što su stanje napunjenosti, dubina pražnjenja i radna temperatura baterijskog spremnika značajno utječu na životni vijek i performanse baterijskog spremnika te je utjecaj tih veličina opisan u literaturi [6,7,8].

Pojedini tipovi baterijskih spremnika kao što su olovno-kiselinske, nikal kadmij, nikal metal hibrid, litij-ion i redoks protočne baterije objašnjene su u [1,7,9,10]. U literaturi [11] je zasebno objašnjen litij-ion tip baterijskog spremnika te njegove prednosti i nedostaci. U literaturi [12] su zasebno objašnjene redoks protočne baterije te njihove određene karakteristike.

### 3. BATERIJSKI SPREMNICI ENERGIJE

U ovome poglavlju opisani su tipovi baterijskih spremnika. Postoje primarni i sekundarni baterijski spremnici te će u ovom poglavlju biti objašnjene prednosti i nedostaci istih. Kako bi bolje razumjeli rad, objasniti će se osnovni elementi baterijskih spremnika. Prema [1] „Baterijski spremnici su uređaji koji pretvaraju kemijsku energiju sadržanu u svojim aktivnim materijalima izravno u električnu energiju putem elektrokemijskih redukcijskih (redox) reakcija“. Kod punjivih baterija taj proces je reverzibilan te uključuje prijenos elektrona sa jednog materijala na drugi pomoću električnog strujnog kruga. Baterijski spremnici imaju učinkovite energetske pretvorbe jer se pretvorba energije vrši iz kemijske u električnu bez značajnijeg utjecaja toplinske energije u procesu pretvorbe. Riječ baterija je često korištena i poznata svijetu jer je to element koji se zapravo prodaje krajnjem kupcu, dok je zapravo njena osnovna elektrokemijska jedinica članak. Baterija se sastoji od jednog ili više članaka spojenih serijski, paralelno ili mješano, ovisno o željenom naponu i kapacitetu koji bi htjeli da baterija ima. Baterijski članak se najčešće sastoji od anode, katode, elektrolita, separatora, oklopa i priključaka.

- Anoda je elektroda na kojoj dolazi do oksidacije pri elektrokemijskoj reakciji i otpuštanja elektrona, te se zbog toga ona smatra negativnom elektrodom.
- Katoda je elektroda na kojoj dolazi do redukcije tijekom elektrokemijske reakcije te ona prikuplja elektrone iz vanjskog kruga i zbog toga se smatra pozitivnom elektrodom.
- Elektrolit je medij koji provodi ione između anode i katode, ali ne smije biti električni vodič.
- Separator je izolatorski sloj koji sprječava galvansku vezu između anode i katode, ali propušta elektrolit te i dalje postoji ionska veza.

U članku je za vrijeme punjenja katoda negativna, a anoda pozitivna elektroda, dok je za vrijeme pražnjenja katoda pozitivna, a anoda negativna elektroda. Prema [2] „Kao referentno je uzeto da se pridruže imena elektrodama takva kakva jesu u slučaju pražnjenja članaka“. Baterijski spremnici su izumljeni u 19. stoljeću, ali su procesi koji se događaju u bateriji jako složeni. Znanstvenici pokušavaju pomoću sve novijih alata razumjeti procese u bateriji, pokušavaju koristiti što kvalitetnije materijale u izradi članaka te na taj način proizvesti što efikasnije spremnike energije. Prema [3] „Znanstvenici promatraju procese u punjivim baterijama zbog toga što proces punjenja i pražnjenja nije u potpunosti reverzibilan te dolazi do promjene u kemijskom

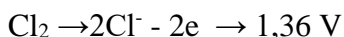
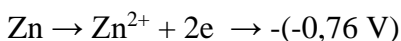


i strukturnom sastavu materijala te zbog toga dolazi do smanjenja performansi i sigurnosti baterijskih spremnika.“ Baterijski spremnici se često raspoznaju po materijalu od kojega se izrađuju elektrode i elektroliti te se preferiraju materijali koji su najlakši i daju najveći napon i kapacitet baterijskom spremniku. Međutim nisu sve kombinacije praktične zbog određenih kemijskih reakcija među materijalima, cijene, težine i ostalih nedostataka.

Baterijski spremnici se opisuju raznim veličinama kao što su napon, kapacitet, specifična energija (teoretska i stvarna) i gustoća energije. Napon članka ovisi o tipovima aktivnih materijala koji se nalaze unutar članka te se može odrediti eksperimentalno ili izračunom. Napon se može izračunati iz poznatih potencijala elektroda unutar članka:

$$\text{Anoda(oksidacijski potencijal)} + \text{Katoda(redukcijski potencijal)} = \text{Napon članka [1]}$$

Npr. pri reakciji  $\text{Zn} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{ZnCl}_2$  napon članka je:



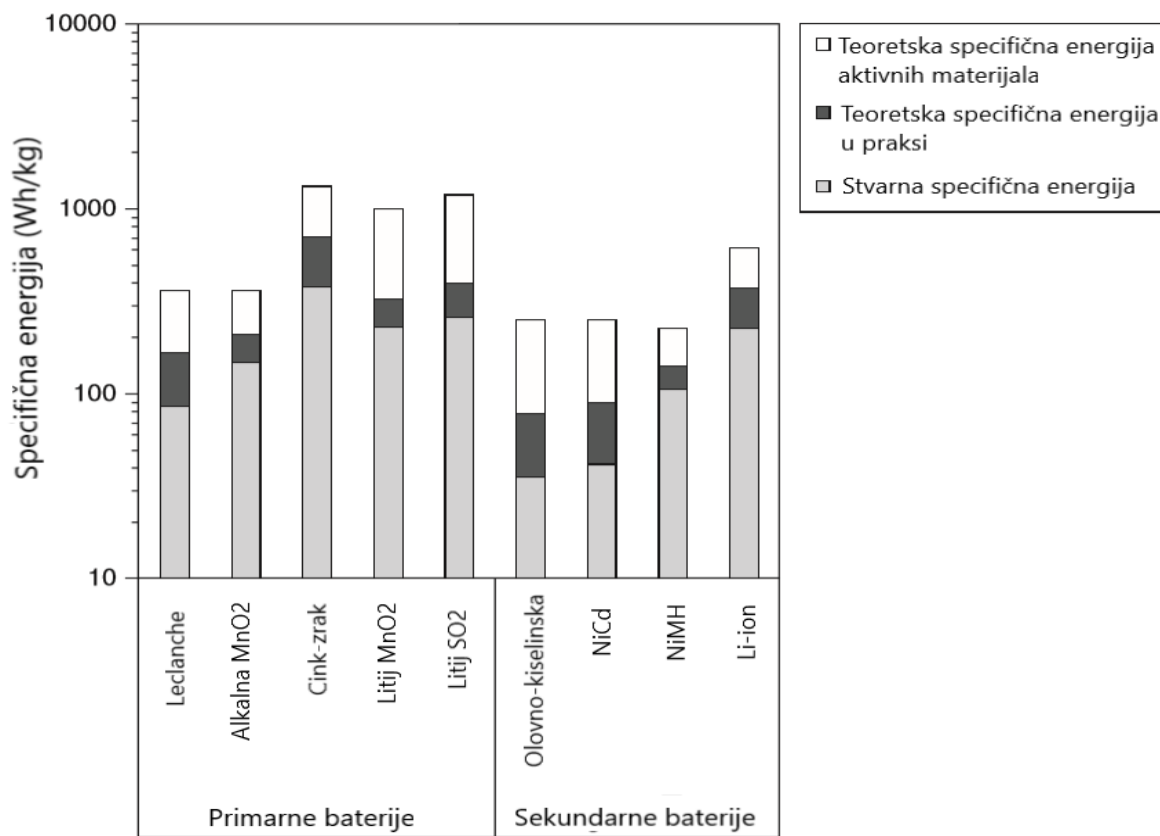
$$E = 2,12 \text{ V} \quad [1]$$

Kapacitet ovisi o količini aktivnih materijala unutar članka te je izražen u Ah kao ukupan iznos elektriciteta koji je korišten pri kemijskoj reakciji. Kapacitet članka se može razmatrati i na energetske razini te se zbog toga koristi specifična energija koja u obzir uzima i napon i kapacitet baterijskog članka po gramu ili kilogramu aktivnog materijala:

$$\text{Specifična energija} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{kg}} \right) = \text{Napon (V)} * \text{Kapacitet} \left( \frac{\text{Ah}}{\text{kg}} \right) [1]$$

Teorijska vrijednost specifične energije ovisi isključivo o aktivnim materijalima unutar članka, dok je u praksi moguće ostvariti samo dio teoretske vrijednosti. Do toga dolazi zbog potrebe za elektrolitima i nereaktivnim komponentama kao što su oklop i separator koji povećavaju masu i volumen baterije te se na taj način smanjuje specifična energija. Osim toga, pražnjenje baterije se ne odvija pri maksimalnom teoretskom naponu i pražnjenje se ne vrši do 0 V te zbog toga dolazi do dodatnog smanjenja u vrijednosti stvarne specifične energije. Iznos energije koju baterija može dati se često izražava u omjeru sa masom i volumenom članka te zbog toga postoji specifična

energija koja ovisi o masi članka izražena u Wh/kg, dok gustoća energije koja ovisi o volumenu članka izražena je u Wh/L.



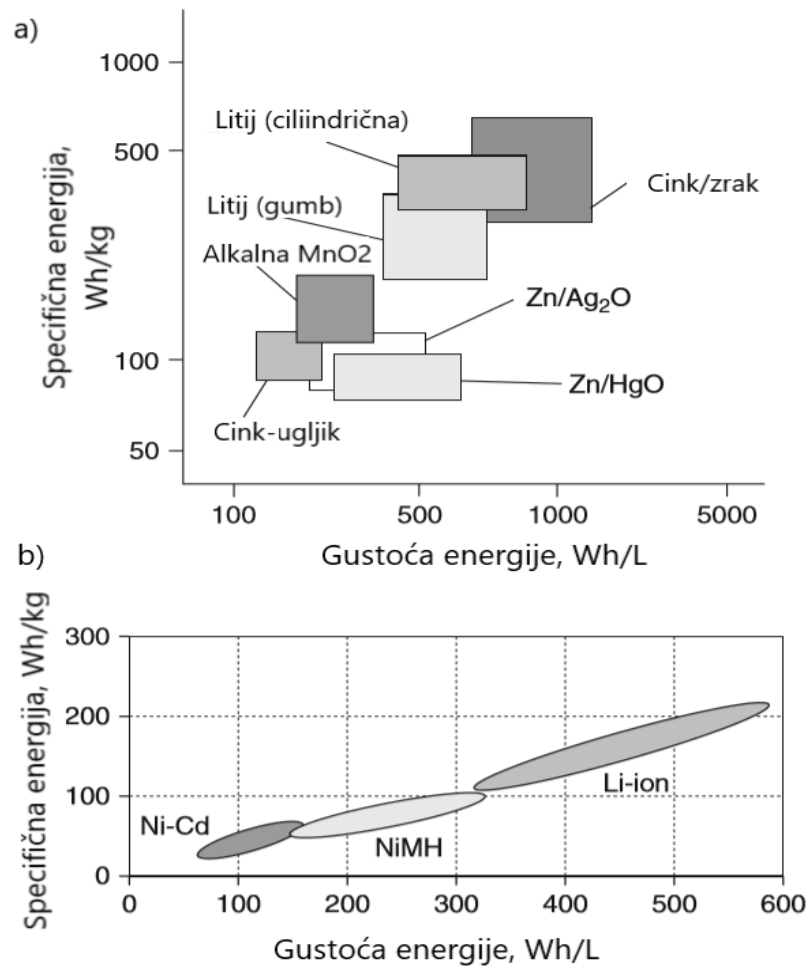
Slika 3.1 Teoretska i stvarna specifična energija baterijskih sustava [1]

Iz slike 3.1 se da zaključiti da za određene tipove baterijskih spremnika energija koju se zapravo može iskoristiti pada na 50% maksimalne teoretske specifične energije.

Osnovna podjela baterijskih spremnika je prema mogućnosti ponovnog punjenja i pražnjenja te se dijele na primarne i sekundarne baterijske spremnike.

### 3.1. Primarni baterijski spremnici

Primarni baterijski spremnici se ne mogu jednostavno i efektivno električki ponovo napuniti te se zbog toga nakon jednog pražnjenja izbacuju iz upotrebe. Često se koriste za napajanje elektroničkih uređaja, svjetiljki, igrački jer su to često jeftini i lagani izvori električne energije.



Slika 3.2 Usporedba mogućnosti spremanja energije različitih baterijskih sustava, a) Primarne baterije, b) Sekundarne baterije [1]

Osnovne prednosti primarnih baterijskih spremnika su visoka gustoća energije i specifična energija u odnosu na sekundarne baterijske spremnike, jednostavnost uporabe, dugotrajan životni vijek pri skladištenju te mala ili nikakva potreba za održavanjem. Punjenje primarnih baterijskih spremnika bi se trebalo izbjegavati jer članak primarne baterije nije dizajniran za takav način upotrebe. U većini slučajeva to nije praktično i može biti veoma opasno. Prema [1] „Neki primarni baterijski

spremnici se mogu ponovo puniti (par ciklusa punjenja), ali nakon punjenja možda neće moći poprimiti maksimalni kapacitet spremnika te se punjenje mora odvijati u kontroliranim uvjetima.“ Postoji poseban tip primarnih baterijskih spremnika koje se zovu rezervne baterije. Kod njih je jedna ključna komponenta odvojena od baterijskog spremnika (u većini slučajeva je to elektrolit) sve do aktivacije. Na taj način riješen je problem samopražnjenja te ih je zbog toga moguće dugotrajno skladištiti. Rezervne baterije su izrađene na takav način da bi izdržale dugotrajne i ekstremne ekološke uvjete pri skladištenju koji se ne mogu postići s „aktivnim“ baterijama. Često se koriste u vojnoj industriji (za projekte, torpeda i ostale sustave naoružanja) kada je potreban veliki iznos snage u kratkom vremenu.

### **3.2. Sekundarni baterijski spremnici**

Sekundarne (punjive) baterije se koriste na razne načine i u raznim uređajima. Najpoznatiji slučajevi su za napajanje potrošačke elektronike (laptopa, kamera, mobilnih telefona), alata, igrački, radija, sustava sa neprekidnim napajanjem. U zadnjih par godina značajan porast u upotrebi punjivih baterijskih spremnika je zbog upotrebe istih za napajanje električnih i hibridnih vozila. Sekundarne baterije se zapravo koriste na 2 osnovna načina:

1. U slučaju kada je sekundarna baterija spremnik energije kojega puni glavni izvor energije te vrši napajanje određenog uređaja kada glavni izvor nije dostupan ili ne odgovara potrebama napajanja uređaja. Primjer su auto-moto i avio sustavi te neprekidna napajanja.
2. U slučaju kada se sekundarna baterija prazni i nakon upotrebe puni (u uređaju koji je koristi ili zasebno). Koriste se zbog praktičnosti i uštede novca (mogu se ponovo napuniti te se ne moraju baciti za razliku od primarnih baterija). U ovu kategoriju spada većina potrošačke elektronike, električnih vozila, alati i slično.

Neke od značajki sekundarnih baterijskih spremnika su dobre performanse pri radu na niskim temperaturama, velika snaga pražnjenja, ravna krivulja pražnjenja. U odnosu na primarne baterije imaju manju gustoću energije i izraženije samopražnjenje, ali i kada dođe do samopražnjenja mogu se ponovno napuniti. Neke baterije su poznate po tome da su mehanički punjive, tj. nakon pražnjenja se vrši zamjena elektrode (najčešće anode). Zbog sve većeg korištenja elektroničkih uređaja zadnjih godina, te napretka u korištenju električnih vozila, dolazi do sve veće upotrebe baterijskih spremnika. Zbog toga dolazi do razvoja baterijskih spremnika. Teži se ka razvoju procesa punjenja i pražnjenja koji bi pri transformaciji električne energije u kemijsku i nazad u

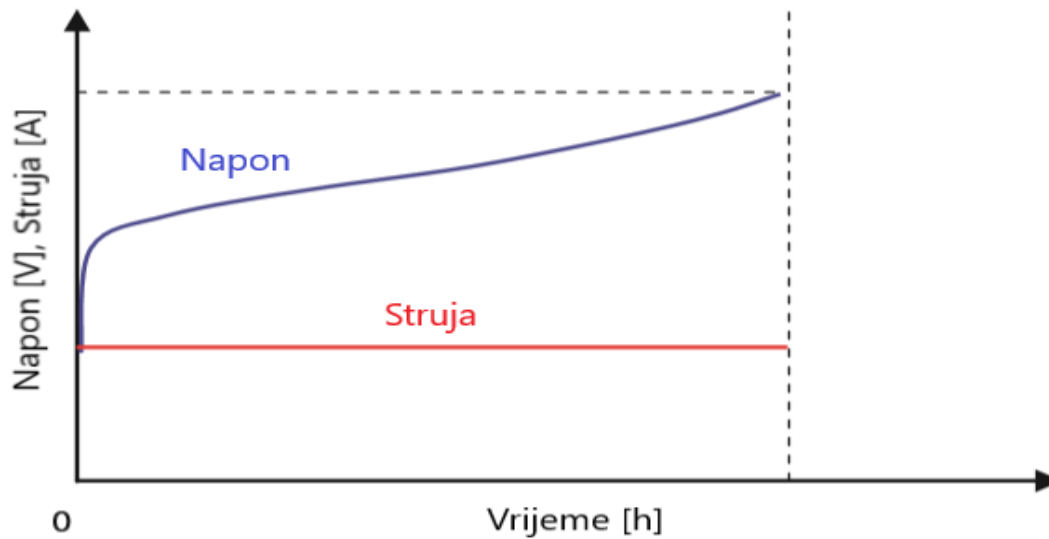
električnu trebao biti potpuno reverzibilan, efikasan te bi trebao imati minimalan utjecaj na promjene koje bi ograničavale životni vijek (broj ciklusa punjenja i pražnjenja) baterije. Nastoji se smanjiti broj kemijskih reakcija koje smanjuju životni vijek i kapacitet baterijskog spremnika te se teži ka povećanju specifične energije i performansi pri širokom temperaturnom rasponu, smanjenju unutarnjeg otpora. Svi ti zahtjevi utječu na izbor materijala koji bi se mogao koristiti za izradu baterijskog spremnika.

### **3.3. Punjenje baterijskih spremnika**

Prema [4] „Prilikom punjenja električna energija se koristi za obnovu aktivnih materijala članka ili baterije i time dolazi do povratka energetske razine koju je baterija prije pražnjenja imala, tj. postiže se visoko stanje napunjenosti (SoC).“ Energija i snaga baterije koja će se nakon punjenja moći koristiti ovisi o načinu punjenja. O načinu punjenja i pražnjenja ovisi i broj ciklusa ponovnog punjenja i pražnjenja, time i životni vijek koji će baterija imati. Zbog toga pri punjenju baterije treba obratiti pažnju na parametre kao što su vrijeme, struju, napon i temperaturu punjenja. Ovisno o načinu izrade i korištenja baterije određeni parametri će imati više ili manje utjecaja na performanse i životni vijek baterije, ali će i određena metoda punjenja kompenzirati između performansi pražnjenja, životnog vijeka i efikasnosti punjenja.

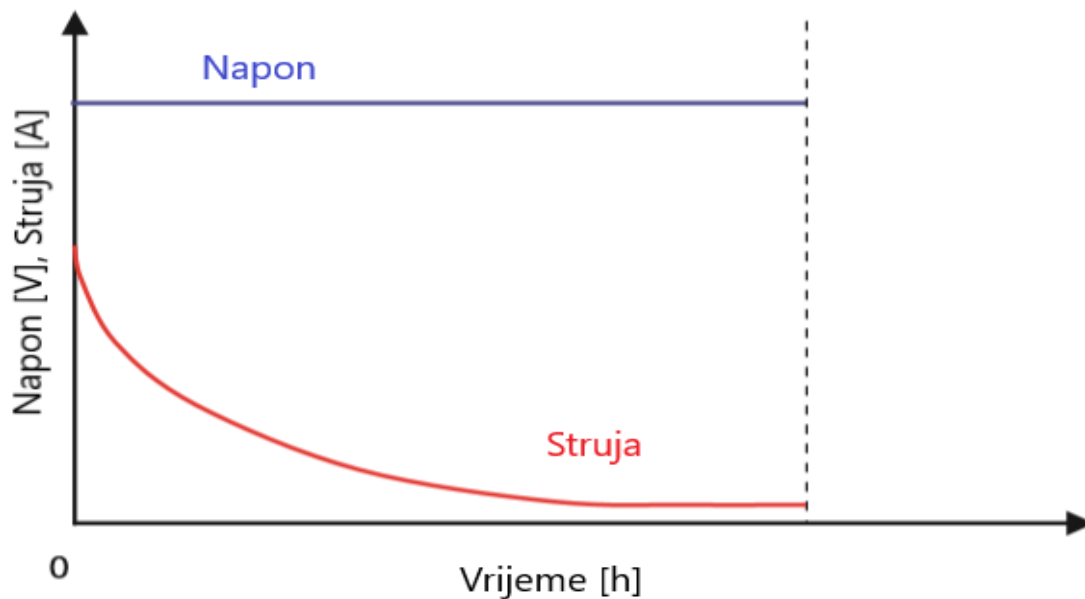
Neki osnovni načini punjenja su: punjenje konstantnom strujom ( $I$  punjenje), punjenje konstantnim naponom ( $U$  punjenje) i punjenje konstantnom strujom, a zatim konstantnim naponom ( $IU$  punjenje).

$I$  punjenje je najjednostavniji način punjenja i prikladan je za većinu baterijskih spremnika, uzimajući u obzir da je struja kojom se vrši punjenje prilagođena za kapacitet baterije koju puni i njenu tehnologiju.  $I$  punjenje općenito uzrokuje porast napona baterije pri punjenju i krajnji iznos tog napona ovisi o tipu izrade baterijskog spremnika. Napon će rasti ovisno o mogućnosti prihvaćanja naboja jer određeni tipovi baterijskih spremnika bolje prihvaćaju naboj pri manjem ili većem stanju napunjenosti.



Slika 3.3 I punjenje [4]

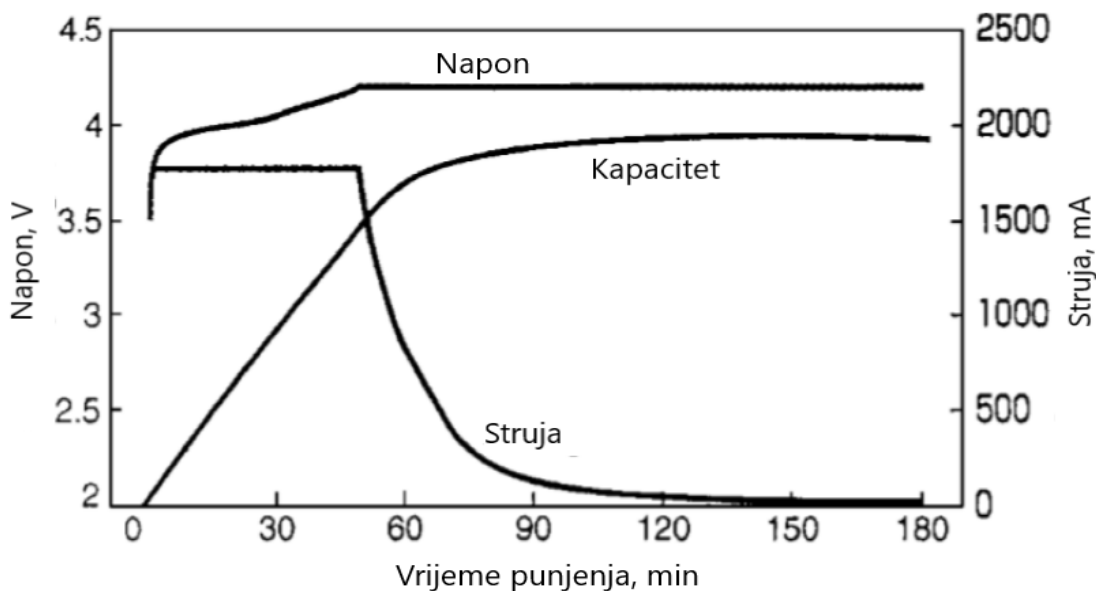
*U* punjenje je punjenje pri konstantnom naponu gdje izvor određuje napon, dok iznos struje ovisi o unutarnjem otporu baterije. U većini slučajeva je iznos struje pri početku punjenja vrlo visok te s vremenom opada. Ovaj način punjenja zahtjeva veliku snagu punjenja i često je neefikasan, ali se u praksi prilagođeniji način *U* punjenja zapravo koristi.



Slika 3.4 U punjenje [4]

*IU* punjenje je način pri kojemu se prvo vrši *I* punjenje sve dok se ne postigne određeni iznos napona baterije, koji najčešće određuje proizvođač, te se nastavlja sa *U* punjenjem. Prema [4] „*IU* punjenje je jedan od najpopularnijih načina punjenja koji je jednostavan za implementirati i dostupan je pri malim cijenama.“ Predstavlja dobar kompromis između *I* i *U* punjenja te iskorištava prednosti i kompenzira nedostatke oba načina punjenja.

Za vrijeme *I* punjenja se ograničava snaga punjenja, dok se za vrijeme *U* punjenja ograničava porast napona na bateriji te se na taj način optimizira energetska efikasnost. Primjer *IU* punjenja je punjenje cilindričnog 18650 Li-ion baterijskog spremnika prikazanog na slici 3.5 gdje je prikazana i krivulja porasta kapaciteta spremnika pri punjenju.



Slika 3.5 Karakteristika punjenja cilindričnog 18650 Li-ion baterijskog spremnika pri temperaturi od 20°C [1]

Mnogi proizvođači danas preporučuju brzo punjenje zbog zahtjeva korisnika za punjenjem u kratkom vremenskom periodu, međutim ovaj način punjenja zahtjeva kontroliranje sustava punjenja na takav način da se proces punjenja prekida prije nego dođe do značajnog povećanja u emitiranju plinova, porasta temperature i povećanja pritiska. To može utjecati na sigurnost uporabe, ali i na performanse i životni vijek baterije.

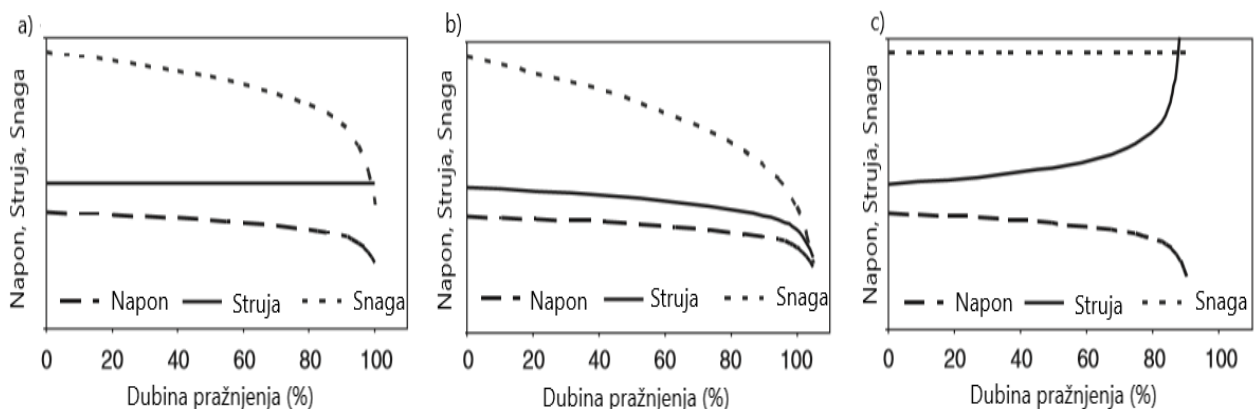
### 3.4. Pražnjenje baterijskog spremnika

Pražnjenje baterijskog spremnika se može vršiti pod raznim uvjetima i često ovisi o načinu primjene baterije. Prema [5] „U suštini postoje 3 različita načina pražnjenja baterijskog spremnika: pri konstantnoj struji, konstantnom otporu i konstantnoj snazi.“

Pražnjenje pri konstantnoj struji se koristi pri raznim testovima koji služe za karakterizaciju i određivanje kapaciteta baterija. Dok struja ostaje konstantna tijekom cijelog procesa pražnjenja, napon baterije opada, a time i snaga pražnjenja baterije.

Pražnjenje pri konstantnom otporu se u praksi često pojavljuje u uređajima koji koriste istosmjernu struju (DC). Ovi uređaji su često definirani po određenom unutarnjem otporu. Kod primarnih baterija su u podatkovnom listu dane krivulje pri pražnjenju sa konstantnim otporom, te je dano i radno vrijeme baterija za različite vrijednosti opterećenja. Tijekom pražnjenja sa konstantnim otporom se napon smanjuje i prema Ohmovom zakonu dolazi i do smanjenja struje te prema tome dolazi i do smanjenja snage pražnjenja.

Prema [5] „Pražnjenje pri konstantnoj snazi se često koristi u sustavima gdje je invertor spojen sa baterijom te je to čest slučaj u sustavima neprekidnog napajanja (UPS).“ Uređaju je potreban određen iznos snage i invertor uzima tu snagu od baterije. Pri padu napona potreban je kompenzirajući porast struje kako bi snaga ostala konstantna. U podatkovnom listu UPS-a je određen vremenski interval u kojemu se određeni iznos snage može koristiti iz baterije.



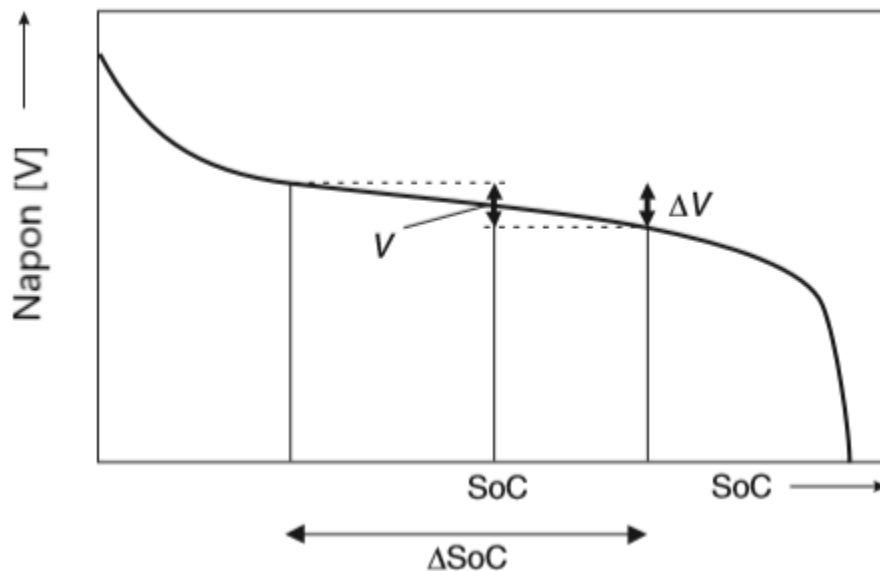
Slika 3.6 Načini pražnjenja baterijskog spremnika: a) pri konstantnoj struji , b) pri konstantnom otporu, c) pri konstantnoj snazi [5]



### 3.5. Stanje napunjenosti, dubina pražnjenja i utjecaj temperature

Prema [6] „Stanje napunjenosti (SoC) je definirano kao iznos kapaciteta (u Ah) koji se nalazi unutar baterijskog spremnika.“ SoC je u većini slučajeva procijenjena vrijednost i često se izražava u postocima gdje 100% predstavlja potpuno napunjenu bateriju, a 0% predstavlja praznu bateriju. SoC zapravo govori o odnosu energije koja je spremljena i energije koja bi mogla biti spremljena unutar baterije. Pomoću SoC-a znamo trenutno stanje unutar baterijskog spremnika, te nam to omogućuje punjenje i pražnjenje baterije do određenih razina uzimajući u obzir životni vijek baterije.

Često korištena metoda za mjerenje SoC-a je metoda direktnog mjerenja napona koja se često koristi u uređajima kao što su mobilni telefoni, kamere i prijenosni zvučnici. Pouzdanost i točnost ovakvog načina mjerenja je općenito jako loša, posebno ako se ne uzme u obzir utjecaj temperature na bateriju te je dodatno objašnjenje prikazano na slici 3.7. U baterijskim sustavima koji imaju relativno ravnu krivulju pražnjenja ovaj način mjerenja nije pouzdan jer do odstupanja napona može doći zbog promjene struje, temperature ili otpora unutar baterije, a time dolazi i do značajnog odstupanja od realnog stanja napunjenosti. Ne postoji precizna metoda mjerenja jer SoC ovisi o karakteristikama aktivnih materijala, a različiti materijali imaju različite karakteristike.



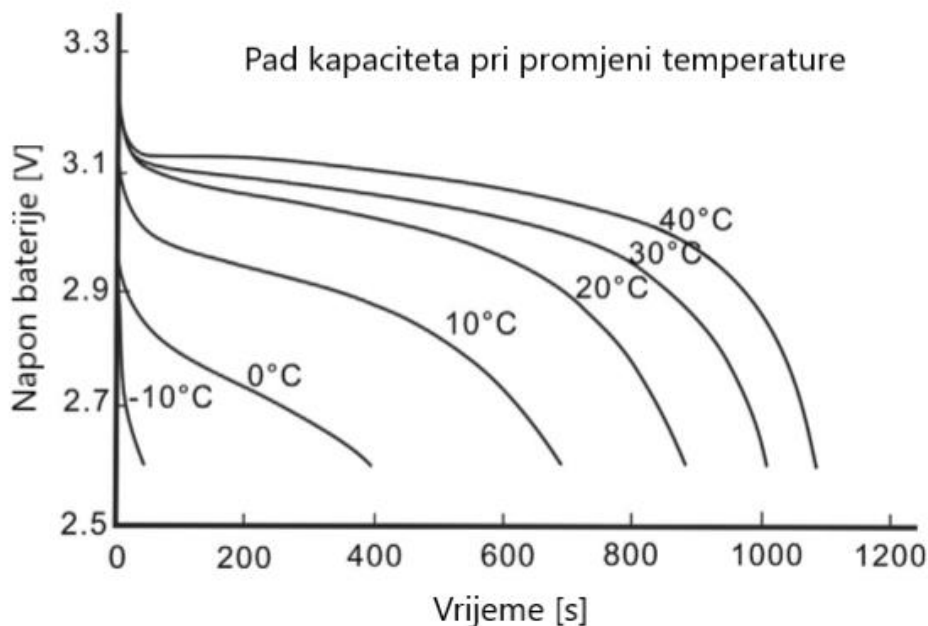
Slika 3.7 Direktni način mjerenja napona za određivanje SoC-a [6]

Prema [7] „Dubina pražnjenja (DoD) je postotak pražnjenja baterije u odnosu na cjelokupni kapacitet baterije te se u većini slučajeva povezuje sa SoC-om na sljedeći način:

$$\text{DoD} = 100 - \text{SoC}(\%).“$$

Što se češće baterija puni i prazni to joj se više skraćuje životni vijek. Prema [8] „Općenito se ne preporučuje pražnjenje baterije do kraja jer na taj način dolazi do značajnog smanjenja korisnog životnog vijeka baterije.“ U većini slučajeva proizvođač preporučuje iznos DoD-a kako bi baterija radila optimalno. Npr. ako proizvođač baterije od 10 kWh preporučuje maksimalni DoD u iznosu 80%, onda ne bi trebali iskoristiti više od 8 kWh bez ponovnog punjenja. Što je DoD veći, to je veća mogućnost upotrebe energije iz baterije. Novije Li-ion baterije mogu imati DoD i do 100%. Broj ciklusa punjenja i pražnjenja ovisi o dubini pražnjenja. Npr., baterija može izvršiti 15000 ciklusa pri DoD-u od 10%, dok za DoD od 80% može izvršiti samo 3000 ciklusa.

Prema [7] „Temperatura ima značajan utjecaj na rad elektrokemijskog sustav, efikasnost, snagu, energetske mogućnosti, pouzdanost i životni vijek.“ Ako je previše hladno ili vruće, baterija će se potpuno različito ponašati, može prestati raditi, doći do oštećenja baterije, doći do iskrenja i samozapaljenja, a u ekstremnim slučajevima i do eksplozije. Zbog toga se često baterijski sustavi moraju hladiti (zračno ili tekuće hlađenje). Temperatura može imati i značajan utjecaj na kapacitet baterije što je prikazano na slici 3.8 gdje kapacitet i napon baterije značajno opadaju sa padom temperature.



Slika 3.8 Utjecaj temperature na napon i kapacitet baterijskog spremnika [7]

### 3.6. Tipovi baterijskih spremnika

Sekundarne baterije su zbog mogućnosti ponovnog punjenja značajno više korištene na tržištu. Zbog upotrebe raznih materijala za izradu baterijskih spremnika, u ovom poglavlju su opisani različiti tipovi baterijskih spremnika i neka njihova svojstva.

#### 3.6.1. Olovno-kiselinske baterije

Kada se čuje naziv Olovno-kiselinske baterije prva stvar na koju se pomisli jest akumulator unutar automobila, ali to nije bez razloga jer su te baterije najstarije i najupotrebljenije punjive baterije koje se koriste zbog povezanosti s auto-moto industrijom. Veliku popularnost su dobile zbog jako niske cijene. Prema [9], „Često se koriste za sustave napajanja u slučaju nužde, kao sustavi napajanja u vozilima, za samostalne fotonaponske sustave, dok su se nekada koristili i pri pohrani energije unutar električne mreže.“ Prema [10], „Vijek trajanja im je od 5-25 godina uz životni vijek od 500-2000 ciklusa punjenja i pražnjenja.“ Značajan nedostatak ovih baterija je smanjenje kapaciteta pri velikom DoD-u i pri brzom pražnjenju (za vrijeme 1 h), pri čemu se iskoristivi kapacitet smanjuje za 30% do 50% , a osim toga imaju nisku gustoću energije, veliku masu i koriste olovo (toksičan).

Postoje 2 osnovna tipa Olovno-kiselinskih baterija, a to su baterije sa ventiliranim kućištem i nepropusnim (zapečaćenim) kućištem (VRLA). „Valve-Regulated Lead-Acid“ baterije predstavljaju značajan napredak u korištenju olovnih baterija, nisu zahtjevne za održavanje te se primjenjuju u telekomunikacijskoj industriji i u sustavima neprekidnog napajanja. Prednost VRLA baterija je što se plinovi koji nastaju tijekom cikliranja zadržavaju unutar baterije sve dok se ne postigne određeni tlak unutar baterije. Kada dođe do toga tlačni ventili koji su ugrađeni u bateriju se otvore i na taj način smanjuju tlak unutar baterije.

### **3.6.2. Nikal-kadmij i nikal-metal hidrid baterije**

Upotreba Nikal-kadmij (NiCd) baterija je započela u 1915. god. te je tehnički gledano jako uspješan proizvod. NiCd baterije su jedine baterije koje rad na niskim temperaturama (-20 do -40 °C) izvršavaju bez značajnog utjecaja na performanse. Prema [10], „Napon pri pražnjenju im ostaje konstantan do samog kraja pražnjenja te onda drastično pada.“ Zbog toksičnosti kadmija, dolazi do potrebe za zamjenom NiCd baterija, a time i razvitka Nikal-metal hidrid (NiMH) baterija koje su u širokoj upotrebi od 1995. god.

NiCd baterije imaju veću toleranciju prema brzom punjenju i prepunjavanju te su manje podvrgnute samopražnjenju u odnosu na NiMH baterije. NiCd mogu podnijeti od 500 do 2000 ciklusa pražnjenja, dok NiMH baterije mogu samo 500 do 800 ciklusa. Osim toga NiCd baterije mogu podnijeti šire raspone radnih temperatura u odnosu na NiMH baterije.

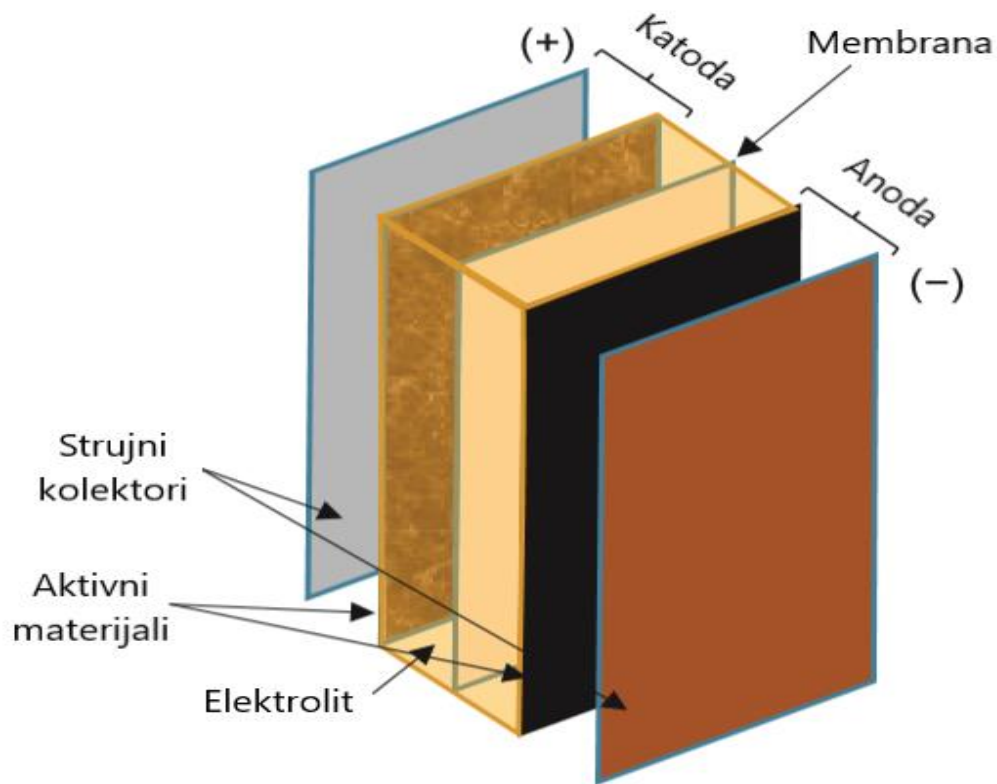
Nazivni napon NiMH se kreće između 1,2-1,3 V te raspolažu sa većim kapacitetom i gustoćom energije u odnosu na NiCd baterije. Često se koriste u digitalnim kamerama, u nekim električnim vozilima, u sustavima kojima je potrebna velika brzina pražnjenja (zbog malog unutarnjeg otpora). Prema [9] „U prijenosnim i mobilnim sustavima NiMH baterije se masovno zamjenjuju sa Litij-ion baterijama, ali današnja hibridna vozila koriste skoro pa isključivo NiMH baterije jer su one robusne i mnogo sigurnije u odnosu na Litij-ion baterije, uz jednaku cijenu.“

### 3.6.3. Litij-ionske baterije

Litij-ionske (Li-ion) baterije imaju značajne prednosti nad ostalim baterijskim spremnicima kao što su dug životni vijek, velik broj ciklusa punjenja i pražnjenja, baterije su zatvorenog tipa tako da nema potrebe za održavanjem, širok raspon radnih temperatura, malo samopražnjenje, visoka specifična energija i gustoća energije, mala težina te fleksibilnost pri dizajnu i visok nazivni napon. Međutim, neki od nedostataka su potreba za zaštitnim sklopovima, degradacija pri visokim temperaturama, mogu postati nepouzdana zbog brzog punjenja pri niskim temperaturama te visoka cijena.

Početakom 21. stoljeća Li-ion baterije zbog svojih značajnih prednosti u odnosu na ostale tipove baterijskih spremnika postaje najvažnijom tehnologijom spremanja energije. Sve se više koriste u mobilnim telefonima, laptopima, električnim biciklima i automobilima. U početku proizvodnje velikih baterijskih spremnika osnovna prepreka za korištenje Li-ion baterija je bila visoka cijena, npr. u 2008. god. je cijena bila 850 \$/kWh. Međutim zbog sve veće potražnje, proizvodnje i potrebe za Li-ion baterijama dolazi do značajnog pada u cijeni posljednjih par godina. Prema [11] „Prijavljeno je smanjenje cijene sa 850 \$/kWh u 2008. god. na 212 \$/kWh u 2015. god. Dvije poznate tvrtke koje rade na sustavima električne mobilnosti su postavile velik izazov koji se sastoji od smanjenja cijene baterija na manje od 85 \$/kWh za 2020. god. (Tesla) i za 2022. god. (General Motors).“ Trenutni tečajni odnos USD/HRK iznosi 6,360608.

Na slici 3.9 su prikazani osnovni dijelovi članka Li-ion baterije, a to su 2 elektrode (anoda i katoda) koje su razdvojene membranom koja provodi ione. Glavni dio svake elektrode je aktivni materijal koji sudjeluje u elektrokemijskoj reakciji i određuje performanse baterije. Osim aktivnih materijala svaka elektroda ima strujni kolektor koji je dobar vodič elektrona na koji se nanose aktivni materijali. Strujni kolektor omogućuje zahtijevanu strukturnu stabilnost i vodljivost elektrona ka vanjskom krugu. Aktivni materijali i membrana su uronjeni u elektrolit koji omogućava tok iona među elektrodama.



Slika 3.9 Izgled osnovnih komponenti Li-ion članka [11]

Li-ion članci se proizvode u 3 različita oblika: cilindrične, pljosnate i u obliku vrećice. Cilindrični članci imaju najjeftiniji proizvodni proces. Pljosnati članci se proizvode slično kao i cilindrični ali zbog oblika se često koriste u prijenosnim uređajima kao što su mobilni telefoni i tableti. Članci u obliku vrećice se proizvode tako što se elektrode i separatori prethodno izrežu u željene oblike te se poredaju, a zatim ih se zatvori u vrećici od polimera. Proces proizvodnje im je skuplji, ali se članci u obliku vrećice često koriste zbog izvanredno dobrog vođenja topline što dopušta veliku gustoću snage. Osim toga na taj način se sprječava rizik od eksplozije, o čemu treba voditi računa u ostala 2 oblika. Izgled ovih oblika je prikazan na slici 3.10.



Slika 3.10 Izgled oblika Li-ion baterija: A) cilindrični, B) pljosnati, C) u obliku vrećice [11]

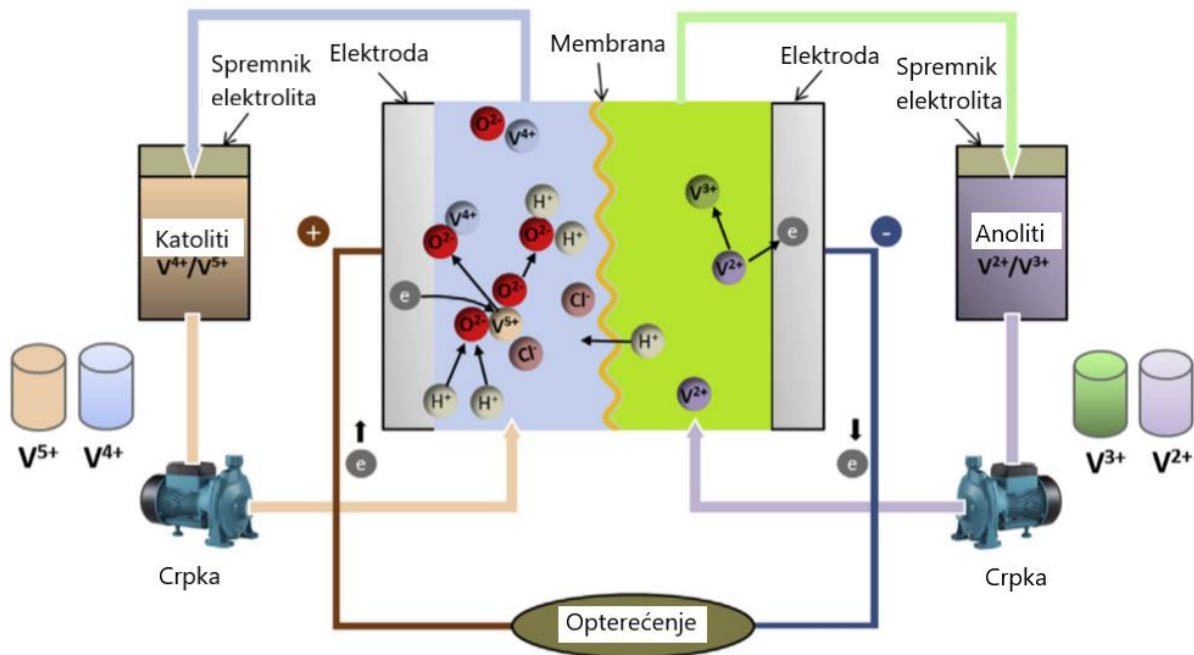
Prema [9] „Li-ion baterije općenito imaju veliku učinkovitost, pretežito u rasponu od 95 do 98 %.“ Standardni članak Li-ion baterije ima mogućnost 5000 ciklusa punjenja i pražnjenja, dok razvijenije članci mogu postići mnogo veći broj ciklusa, ali to sve ovisi o materijalu koji je korišten za izradu elektroda.

### 3.6.4. Redoks protočna baterija

Redoks protočna baterija (RFB) je baterija sa protočnim elektrolitom u kojemu se nalaze otopljeni ioni aktivnih materijala. RFB se smatra obećavajućom tehnologijom baterijskih spremnika za korištenje u praksi. Pri protoku elektrolita kroz ćeliju događaju se redoks reakcije te dolazi do spremanja ili ispuštanja energije. Elektroliti negativne i pozitivne elektrode se nazivaju anoliti i katoliti. Membrana koja ih razdvaja dopušta protok protona s jedne na drugu stranu. Zbog prisilnog protoka elektrolita pri radu, skoro sva energija sačuvana unutar baterije se može iskoristiti.

Punjenje RFB bi se može izvršiti relativno brzo zamjenom elektrolita ili priključivanjem vanjskog izvora napona. Prema [7] „Osnovni nedostatak redoks protočnih baterija je relativno niska gustoća energije i kompleksnost sustava.“ Još jedan nedostatak je mali raspon radne temperature ( $10^{\circ}\text{C}$  do  $40^{\circ}\text{C}$ ). Kroz istraživanja je otkriveno da upotrebom Vanadij-broma u redoks protočnim baterijama dolazi do povećanja gustoće energije i raspona radne temperature.

Neke karakteristike RFB-a su što se snaga i gustoća energije mogu lako povećati na način da se poveća veličina elektrode, koncentracija i obujam elektrolita. Pozitivni i negativni materijali koji su otopljeni unutar elektrolita i nalaze se u spremnicima općenito imaju dobru elektrokemijsku reverzibilnost. Prema [12], „Životni vijek RFB-a se procjenjuje na 10 godina više u odnosu na ostale baterije.“



Slika 3.11 Redoks protočna baterija

Vanadij redoks protočna baterija (VRFB) je za sada najrazvijenija. Prema [9] „Osnovna prednost VRFB-a je što koristi elektrolite sa ionima istog metala na obje strane, te iako se prijelaz metalnih iona preko membrane nemože u potpunosti spriječiti dolazi samo do gubitka u spremljenoj energiji.“ Kod RFB-a koji koriste ione od različitih metala taj prijelaz membrane uzrokuje degradaciju elektrolita i time smanjenje kapaciteta baterije.



#### 4. MODEL BATERIJSKOG SPREMNIKA

Model baterijskog spremnika se temelji na maksimizaciji zarade na tržištu rada. Obraća se pažnja na procjenu cijena tržišta energije dan unaprijed i na dan korištenja spremnika te se na taj način pokušava optimalno iskoristiti spremljena energija unutar baterije kako bi se ostvarila što veća zarada.

Opis funkcije:

$$\max \sum_{t=1}^{j_t} x_t W_{du_t} + SOC_{nt} \cdot x_f \quad 4-1$$

gdje je:

- $x_t$  – očekivana cijena na tržištu dan unaprijed
- $W_{du_t}$  – satna ponuda na tržištu dan unaprijed
- $j_t$  – vrijeme simulacije
- $x_f$  – buduća cijena

Ograničenja, balans energije:

$$W_{pr_t} - W_{pu_t} = W_{du_t} \quad 4-3$$

gdje je:

- $W_{pr_t}$  – energija pražnjenja baterijskog spremnika u satu t, pri konstantnoj snazi pražnjenja  $P_{pr}$  u satu t
- $W_{pu_t}$  – energija punjenja baterijskog spremnika u satu t, pri konstantnoj snazi punjenja  $P_{pu}$  u satu t

$$W_{pr_t} = \sum_{i=1}^{j_{spr}} P_{pr_{i,t}} \quad 4-4$$

$$W_{pu_t} = \sum_{i=1}^{j_{spu}} P_{pu_{i,t}} \quad 4-5$$

gdje je:

- $j_{spr}$  - broj segmenata snage punjenja
- $j_{spu}$  - broj segmenata snage punjenja
- $P_{pr_{i,t}}$  - segment snage pražnjenja
- $P_{pu_{i,t}}$  - segment snage punjenja

$$E_{pr_t} = \sum_{i=1}^{n_{spr}} \frac{1}{\mu_{pr_i}} P_{pr_{i,t}} \quad 4-6$$

$$E_{pu_t} = \sum_{i=1}^{n_{spu}} \mu_{pu_i} \cdot P_{pu_{i,t}} \quad 4-7$$

gdje je:

- $E_{pr_t}$  – energija ispražnjena iz baterije u satu t
- $E_{pu_t}$  – energija kojom se baterija napunila u satu t
- $\mu_{pr_i}$  – učinkovitost pražnjenja baterijskog spremnika u segmentu i
- $\mu_{pu_i}$  – učinkovitost punjenja baterijskog spremnika u segmentu i

Stanje napunjenosti baterijskog spremnika:

$$SOC_t = SOC_0 - E_{pr_t} + E_{pu_t} \text{ za } t = 1 \quad 4-8$$

$$SOC_t = SOC_{t-1} - E_{pr_t} + E_{pu_t} \text{ za } t > 1 \quad 4-9$$

gdje je:

- $SOC_t$  – stanje napunjenosti baterijskog spremnika na kraju sata t
- $SOC_0$  – stanje napunjenosti baterijskog spremnika na početku promatranog razdoblja

Ograničenje varijabli;

- Maksimalna snaga pražnjenja baterijskog spremnika u segmentu i:

$$0 \leq P_{pr,i,t} \leq P_{pr,max_i} \quad 4-10$$

- Maksimalna snaga punjenja baterijskog spremnika u segmentu i:

$$0 \leq P_{pu,i,t} \leq P_{pu,max_i} \quad 4-11$$

- Stanje napunjenosti baterijskog spremnika:

$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max} \quad 4-12$$

gdje je:

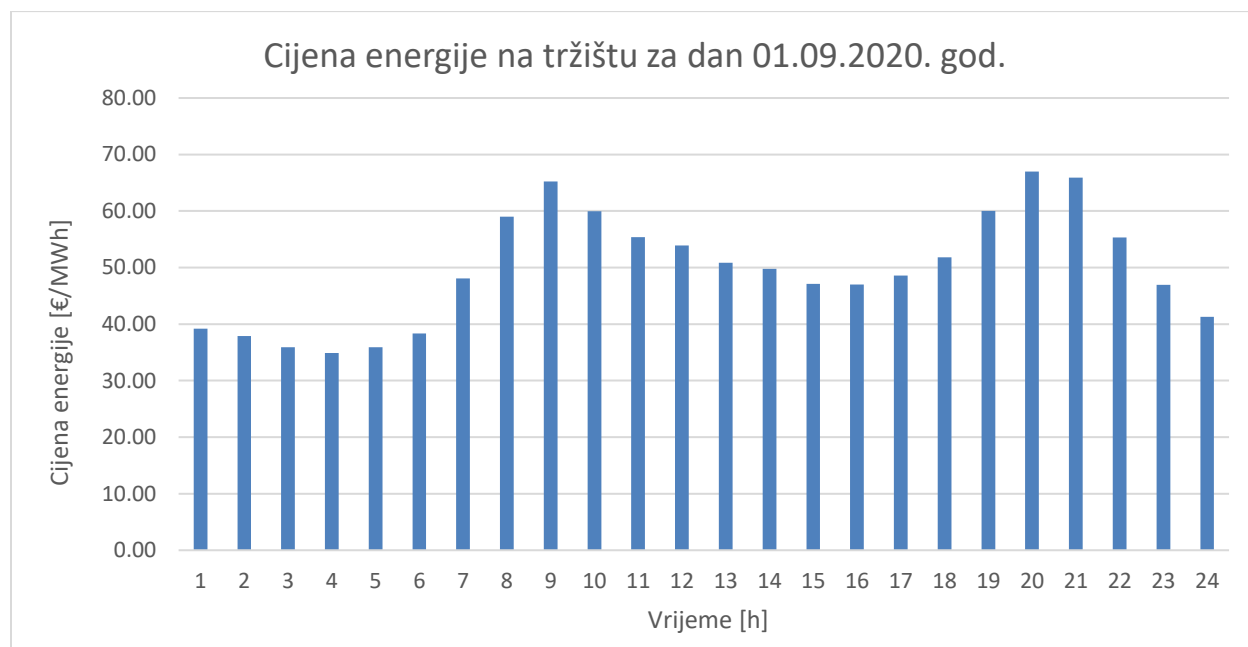
- $SOC_{min}$  – minimalno stanje napunjenosti baterijskog spremnika
- $SOC_{max}$  – maksimalno stanje napunjenosti baterijskog spremnika

## 5. REZULTATI SIMULACIJE

Matematički model opisan u 4. poglavlju je obrađen u programskom paketu Matlab, te su rezultati simulacije obrađeni u Excelu.

### 5.1. Opis scenarija

U programskom paketu Matlab izvršena je simulacija matematičkog modela baterijskog spremnika s obzirom na tržišne uvjete. Na slici 5.1 izražene su cijene energije na tržištu za svaki sat za dan 01.09.2020. god.



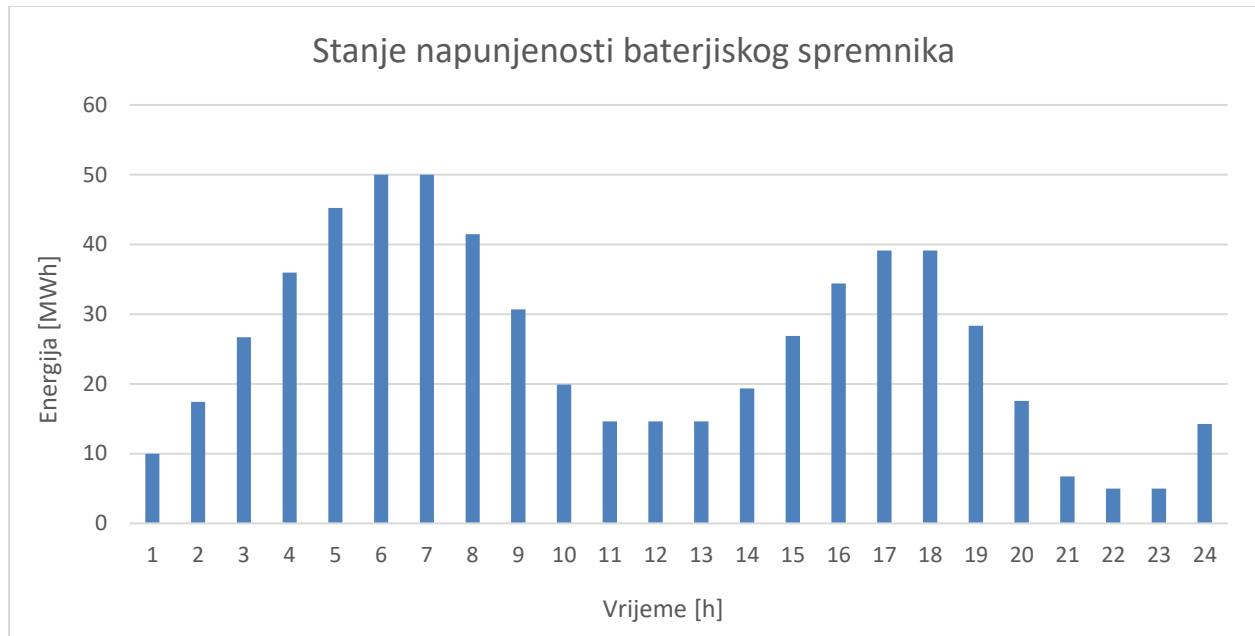
Slika 5.1 Cijena energije na tržištu za dan 01.09.2020. god. [13]

Pri simulaciji je korišten baterijski spremnik kapaciteta 50 MWh s ograničenjem pražnjenja na 5 MWh. Početno stanje napunjenosti pri početku simulacije je 10 MWh. Punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika se vrši kroz 3 segmenta, uz maksimalnu snagu punjenja od 10 MW. Svaki segment punjenja/pražnjenja se odvija pri određenoj snazi i efikasnosti te su vrijednosti za pojedine segmente sljedeće:

1. Segment: Maksimalna snaga punjenja/pražnjenja je 5 MW uz efikasnost od 95%
2. Segment: Maksimalna snaga punjenja/pražnjenja je 3 MW uz efikasnost od 92%
3. Segment: Maksimalna snaga punjenja/pražnjenja je 2 MW uz efikasnost od 88%

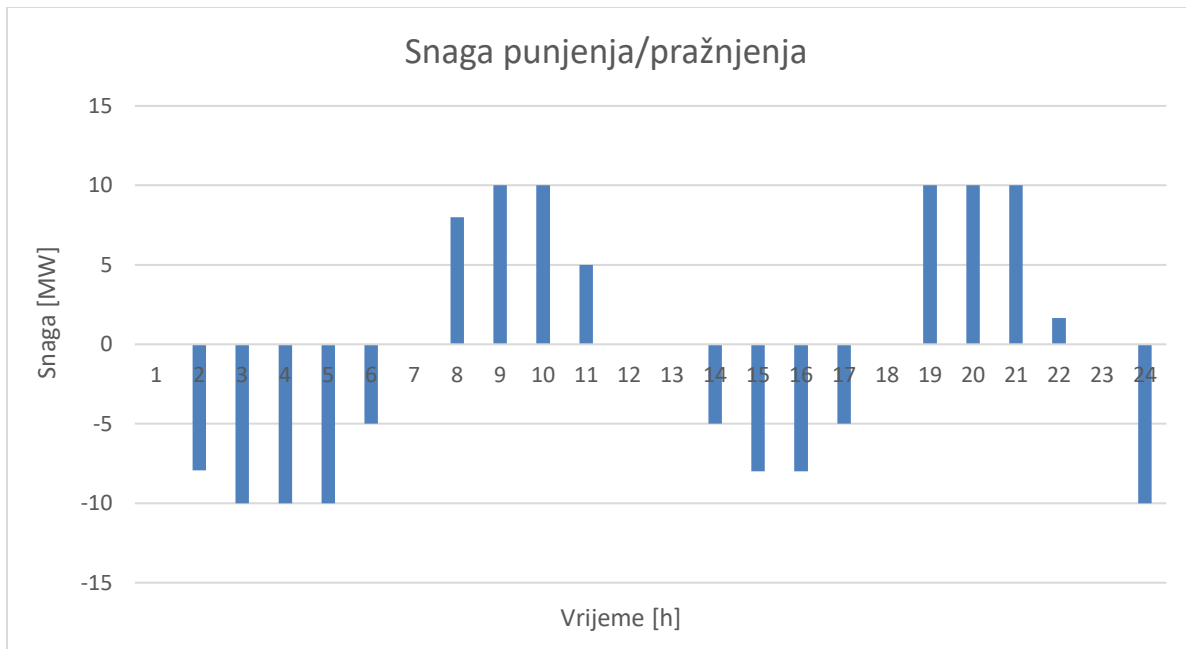
## 5.2. Rezultati

Ako se obrati pažnja na slike 5.1 i 5.2, da se zamijetiti da količina spremljene energije unutar spremnika značajno ovisi o pretpostavljenoj cijeni energije na tržištu. Pri nižim cijenama se teži izvršiti punjenje (kupovina energije) baterijskog spremnika, a zatim kada u kasnijim satima cijena na tržištu naraste, spremljena energija se iskorištava (prodaja energije) te se na taj način ostvaruje profit.



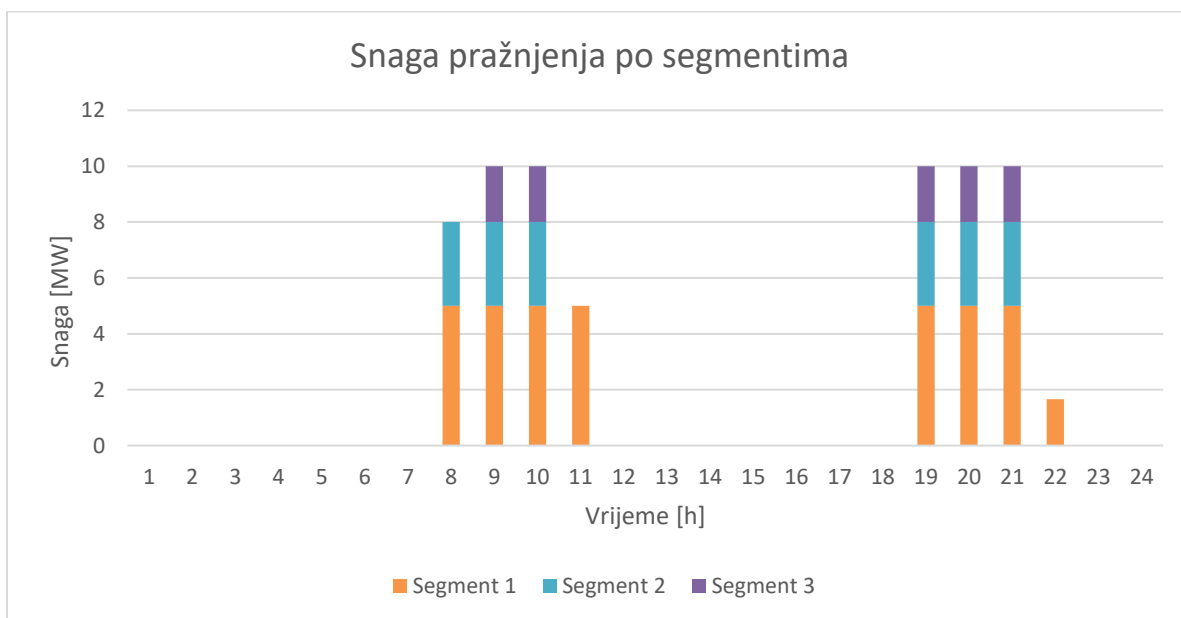
Slika 5.2 Stanje napunjenosti baterijskog spremnika

Koliko će se brzo spremnik energije prazniti ili puniti ovisi o snazi punjenja/pražnjenja spremnika prikazanoj na slici 5.3. Kada dođe do skoka cijene na tržištu, koristi se maksimalna snaga punjenja/pražnjenja kako bi se spremnik mogao što više napuniti ili isprazniti. Pri malim promjena u cijeni energije dolazi do malih ili nikakvih promjena u snazi punjenja/pražnjenja, tj. energija spremljena u spremnik se ne koristi.



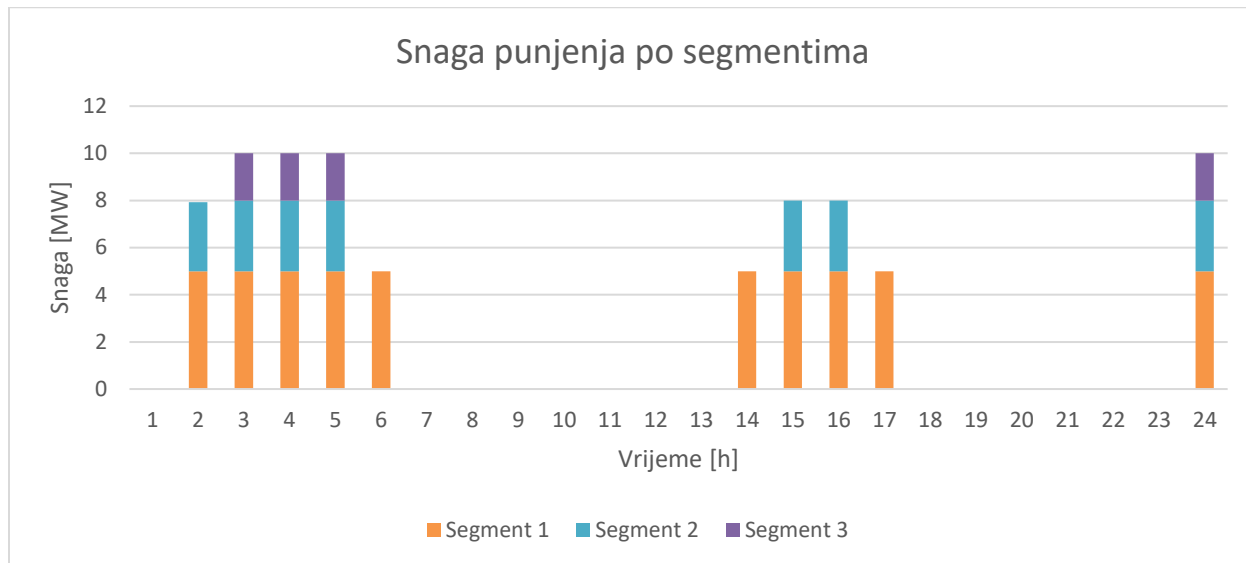
Slika 5.3 Snaga punjenja/pražnjenja baterijskog spremnika

Na slikama 5.4 i 5.5 su dane vrijednosti snaga punjenja/pražnjenja spremnika energije po segmentima. Jedino fizički moguće rješenje je da se segmenti slijedno redom popunjavaju što je osigurano kroz definiranje veće efikasnosti punjenja/pražnjenja prvog u odnosu na drugi segment, odnosno drugog u odnosu na treći segment.



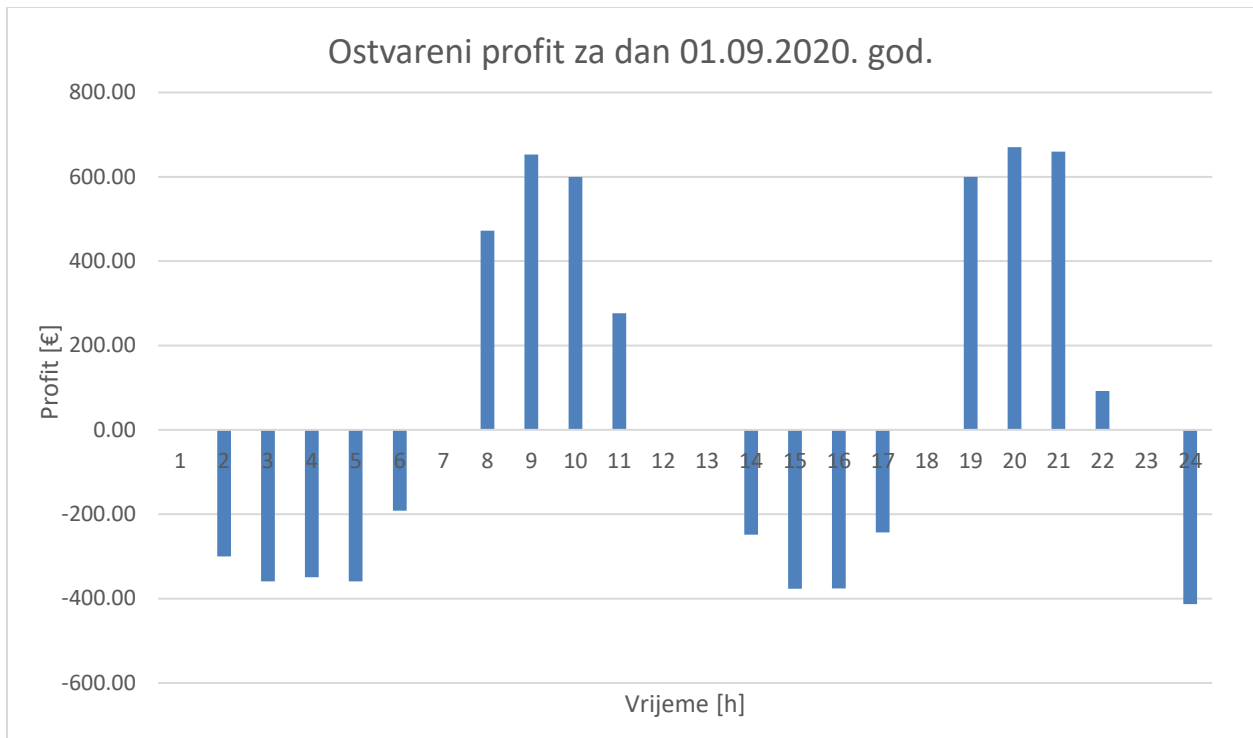
Slika 5.4 Snaga pražnjenja baterijskog spremnika po segmentima

Efikasnost kojom se baterijski spremnik puni ili prazni može imati značajan utjecaj na zaradu jer o efikasnosti ovisi udio energije koji će se zapravo uspjeti spremiti unutar baterije ili iskoristiti iz baterije.



Slika 5.5 Snaga punjenja baterijskog spremnika po segmentima

Na slici 5.6 prikazana je ostvarena dobit ili trošak za svaki sat za dan 01.09.2020. god. Ukupni ostvareni profit za promatrani dan izračunava se prema izrazu (4-1) te iznosi 805,36 € (trenutni tečajni odnos EUR/HRK iznosi 7,53732). Važno je napomenuti da se u zadnjih par sati spremnik puni ili prazni ovisno o pretpostavljenoj cijeni tržišta za sljedeći dan. Ako se pretpostavlja porast cijene za prvih par sati sljedećeg dana, pa čak i za čitav dan, težit će se napuniti baterijski spremnik u zadnjih par sati jednoga dana. Utrošeni resursi u zadnjih par sati rada spremnika će biti na taj način kompenzirani profitom koji će se ostvariti sljedećeg dana.



Slika 5.6 Ostvareni satni profit za promatrani dan



## 6. ZAKLJUČAK

Zbog svakodnevnog napretka u tehnologiji dolazi do sve veće upotrebe spremnika energije. Baterijski spremnici se koriste u alatima, kućnim uređajima i aparatima, električnim vozilima, ali i kao spremnici energije za obnovljive izvore energije. Zbog toga dolazi do potrebe za razvojem baterijskih spremnika. Eksperimentira se s različitim materijalima te se nastoje proizvesti efikasni spremnici energije s malom masom i velikim kapacitetom. Nažalost, mnoge tehnologije još nisu dostupne za upotrebu u praksi. Značajan utjecaj na korištenje baterijskog spremnika ima cijena spremnika te njegove performanse i potreba za održavanjem. Međutim, zbog povećanja obima proizvodnje baterijskih spremnika, dolazi do značajnog pada cijene te time i veće mogućnosti za korištenje baterijskih spremnika.

Kroz opisani model baterijskog spremnika te rezultate simulacije istog, primjećuje se da snaga kojom se baterija puni ili prazni te efikasnosti tih procesa mogu imati značajan utjecaj na trgovanje na tržištu električne energije. Osim toga, i sam kapacitet spremnika je iznimno važan jer što se više energije koja se trenutno ne koristi u sustavu uspije spremiti u spremnik, to je više energije kasnije moguće iskoristiti kada je to zaista potrebno. Obraćanjem pažnje na cijenu energije na tržištu, može se ta energija iskoristiti u vrijeme kada je to potrebno i time ostvariti profit.

## **7. SAŽETAK**

U ovom radu su opisani osnovni dijelovi svakog baterijskog spremnika, kemijske reakcije koje se događaju unutar njih, tipovi baterijskog spremnika i njihove prednosti i nedostaci. Osim toga opisane su i načini (metode) punjenja i pražnjenja baterijskih spremnika, utjecaj stanja napunjenosti, dubine pražnjenja i radne temperature na baterijske spremnike. Opisani su i pojedini tipovi punjivih baterijskih spremnika, njihove prednosti i nedostaci te njihova područja primjene. Prikazana je optimizacija baterijskog spremnika u ovisnosti o potrebama na tržištu te rezultati simulacije rada spremnika za promatrani dan.

## **8. ABSTRACT**

This paper describes the basic parts of every battery, the chemical reactions that take place inside of them, the types of batteries and their advantages and disadvantages. Also it describes the ways (methods) of charging and discharging batteries, the influence of the state-of-charge, the depth of discharge and the operating temperature of batteries are described. Some types of rechargeable batteries, their advantages and disadvantages and their area of application are also described. The optimization of a battery storage system, depending on the needs on the market, are presented and the results of the simulation for the battery storage system operation for the observed day.

## 9. REFERENCE

- [1] D. Linden, Handbook of Batteries, 4. izdanje, New York: McGraw-Hill, 2011.
- [2] L. W. Juang, »Online Battery Monitoring for State-of-Charge and Power Capability Prediction,« [Mrežno]. Available: Dostupno na: <https://www.semanticscholar.org/paper/Online-Battery-Monitoring-for-State-of-Charge-and-Juang/c01f01b686cb8241b8ee3d112b637b0693bca045> , Pristup ostvaren 23.08.2020. god..
- [3] »DOE Explains...Batteries , Dostupno na: <https://www.energy.gov/science/doe-explainsbatteries> , Pristup ostvaren 25.08.2020. god.«.
- [4] E. Lamaire-Potteau, M. Perrin, S. Genies, »Charging methods,« u *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Elsevier, 2009, pp. 413-423.
- [5] D.U. Sauer, »Charge-Discharge curves,« u *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Elsevier, 2009, pp. 443-451.
- [6] H.J. Bergveld, D. Danilov, P.H.L. Notten, V. Pop, P.P.L. Regtien, P.H.L. Notten, »Adaptive state-of-charge determination,« u *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Elsevier, 2009, pp. 459-477.
- [7] B. Sundén, »Battery technologies ; Thermal management of batteries,« u *Hydrogen, Batteries and Fuel Cells*, Elsevier, 2019, pp. 57-79 ; 93-110.
- [8] K. Thoubboron, »Energysage, Depth of discharge (DoD): What does it mean for your battery, and why is it important? , Dostupno na: <https://news.energysage.com/depth-discharge-dod-mean-battery-important/> , Pristup ostvaren 08.09.2020. god.«.

- [9] International Electrotechnical Commission, »Electrical Energy Storage,« 12 09 2019. [Mrežno]. Available: <https://basecamp.iec.ch/download/iec-white-paper-electrical-energy-storage/> Pristup ostvaren 05.08.2020. god..
- [10] N. Kularatna, »Rechargeable battery technologies: an electronic engineer's view point,« u *Energy Storage Devices for Electronic Systems*, Elsevier, 2015, pp. 29-61.
- [11] A. Berrueta, I.S. Martín, P. Sanchis, A. Ursúa, »Lithium-ion batteries as distributed energy storage systems for microgrids,« u *Distributed Energy Resources in Microgrids*, Elsevier, 2019, pp. 143-183.
- [12] Y. Zhen, Y. Li, »Redox flow battery,« u *Studies in Surface Science and Catalysis*, Elsevier, 2019, pp. 385-413.
- [13] »CROPEX , Dostupno na : <https://www.cropex.hr/hr/trgovanja/dan-unaprijed-trziste/rezultati-dan-unaprijed-trzista.html> , Pristup ostvaren 03.09.2020. god.«.

## 10. ŽIVOTOPIS

Ilija Jukić rođen je 21.08.1997. godine u Travniku. Završio je Osnovnu školu „Žepče“ u Žepču te upisuje Tehničko – obrtničku školu u Katoličkom školskom centru „Don Bosco“ u Žepču, smjer Mehatronika. Nakon srednje škole upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, te pohađa preddiplomski studij Elektrotehnike, smjer Elektroenergetika. Nakon završetka preddiplomskog studija nastoji upisati diplomski studij.

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

Od stranih jezika poznaje engleski u govoru i pismu.

---

Ilija Jukić