Baterijski spremnici u FN sustavima

Knežević, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:191667

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

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

Sveučilišni studij

BATERIJSKI SPREMNICI U FN SUSTAVIMA

Završni rad

Tomislav Knežević

Osijek, 2022.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

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

Osijek, 26.08.2022.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Ime i prezime Pristupnika:	Tomislav Knežević
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4691, 22.07.2019.
OIB Pristupnika:	91769157875
Mentor:	Prof.dr.sc. Srete Nikolovski
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Baterijski spremnici u FN sustavima
Znanstvena grana rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak završnog rad:	Opisati principe rada baterijskih spremnika. Električne karakteristike nekih konkretnih baterijskih sustva. Modelirati jednostavni sustav baterije i FN elektrane. (Tomislav Knežević)
Prijedlog ocjene 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: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	26.08.2022.
Datum potvrde ocjene od strane Odbora:	21.09.2022.

Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	*Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.*
	Datum:

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 21.09.2022.

Ime i prezime studenta:	Tomislav Knežević
Studij:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	4691, 22.07.2019.
Turnitin podudaranje [%]:	9

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Baterijski spremnici u FN sustavima**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Srete Nikolovski

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. BATERIJSKI SPREMNICI ENERGIJE 2

2.1. Olovne baterije 6

2.2. Nikal-kadmijske baterije 7

2.3. Nikal-metal-hibridne baterije 8

2.4. Litij-ionske baterije 10

2.5. Litij-polimerske baterije 11

2.6. Srebro-oksidne baterije 12

2.7. Nikal-vodikova baterija 14

2.8. Cink-bromidne baterije 15

2.9. Vanadij redoks baterije 16

2.10. Natrij-sumpor baterija 18

2.11. Natrij-nikal-kloridne baterije 20

3. FOTONAPONSKI SUSTAV 21

4. MODEL BATERIJSKOG SPREMNIKA U FN SUSTAVU 25

5. ZAKLJUČAK 28

6. SAŽETAK 29

7. ABSTRACT 29

8. LITERATURA 30

1. UVOD

Elektroenergetski sustavi u svome početku temeljili su se isključivo na neobnovljivim izvorima energije. Razvojem tehnologije i porastom svijesti o zaštiti okoliša dolazi do promjene u strukturi elektroenergetskih sustava. Nastoji se što više energije dobiti iz obnovljivih izvora energije. Najveći čimbenici koji utječu na razvoj obnovljivih izvora energije su: nedovoljna proizvodnja električne energije zbog nedovoljne količine neobnovljivih izvora energije, smanjenje stakleničkih plinova, stvaranja ozonskih rupa te drugih negativnih utjecaja na klimu. Obnovljivi izvori energije su: kinetička energija vjetra, Sunčeva energija, biomasa, geotermalna energija, potencijalna energija vode, potencijalna energija plime i oseke. Obnovljivi izvori energije unatoč mnogobrojnim prednostima imaju i svoje nedostatke. Najveći nedostatak predstavlja njihova promjenjiva i nestalna priroda, ne pružaju konstantnost i kontinuiranost kao neobnovljivi izvori energije. Zbog toga još uvijek nije moguće osloniti se samo na obnovljive izvore u potpunosti. Jedo od rješenja promjenjive prirode obnovljivih izvora je pohrana energije u baterijske spremnike. Pohrana energije i danas predstavlja jedan od većih probleme energetskih sustava i česta je tema mnogobrojnih istraživanja. Razvoj tehnologije, električnih automobila, obnovljivih izvora energije značajno je povećao upotrebu i razvoj baterijskih spremnika. Pohrana energije u baterijske spremnike povezane u veće sustave još uvijek nije isplativa zbog nedostataka baterijskih spremnika kao što su ograničeni životni vijek i relativno visoke cijene. Ali baterijski spremnici u fotonaponskim sustavim danas se sve više koriste.

1.1. Zadatak završnog rada

U završnom radu potrebno je opisati principe rada baterijskih spremnika, električne karakteristike nekih konkretnih baterijskih sustava. Potrebno je modelirati jednostavni sustav baterije i fotonaponske elektrane.

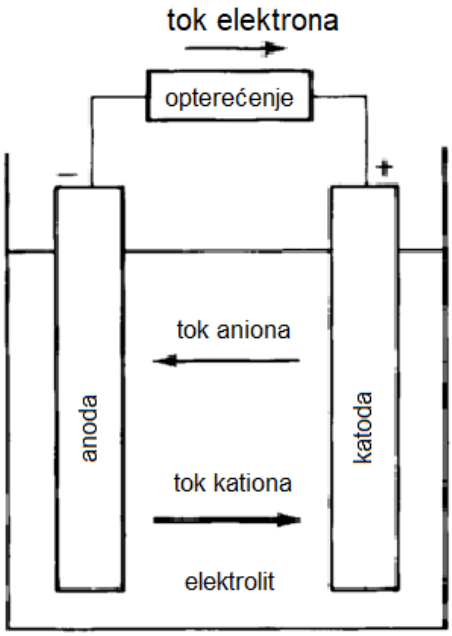
2. BATERIJSKI SPREMNICI ENERGIJE

U ovom poglavlju opisane su osnovne karakteristike baterijskih spremnika te osnovni tipovi baterijskih spremnika. Baterija je uređaj koji pretvara kemijsku energiju sadržanu u njezinim aktivnim materijalima izravno u električnu energiju pomoću redoks reakcija. Punjenje punjivih baterijskih spremnika predstavlja povratni proces koji podrazumijeva prijenos elektrona s jednog materijala na drugi kroz električni krug. Osnovna elektrokemijska jedinica baterijskog spremnika je članak. Baterija se sastoji od jednog ili više ovih članak povezanih serijski, paralelno ili oboje kombinirano, ovisno o željenom izlaznom naponu i kapacitetu. [1]

Članak se sastoji od tri glavna dijela, a to su:

1. Anoda ili negativna elektroda – predaje elektrone vanjskom krugu i dolazi do oksidacije tijekom elektrokemijske reakcije
2. Katoda ili pozitivna elektroda – prihvaća elektrone iz vanjskog kruga i dolazi do redukcije tijekom elektrokemijske reakcije.
3. Elektrolit – ionski vodič – osigurava medij za prijenos naboja unutar članka između anode i katode. Elektrolit je obično tekućina, a neke baterije koriste čvrste elektrolite.

Za vrijeme pražnjenja članak je spojen na vanjsko opterećenje, elektroni teku iz anode koja je oksidirana, preko vanjskog opterećenja na katodu koja prihvaća elektrone i katoda se reducira. Električni krug se zatvara u elektrolitu strujanjem aniona i kationa na anodi, odnosno katodi. [1]



Slika 2.1 Elektrokemijski rad članka (pražnjenje) [1]

Primjer reakcije pražnjenja može se zapisati:

Negativna elektroda: anodna reakcija (oksidacija)

$$Zn \rightarrow Zn^{+2} + 2e \tag{2-1}$$

Pozitivna elektroda: katodna reakcija (redukcija)

$$Cl_2 + 2e \rightarrow 2Cl^- \tag{2–2}$$

Ukupna reakcija:

$$Zn + Cl_2 \rightarrow Zn^{+2} + 2Cl^-(ZnCl_2) \tag{2-3}$$

Za vrijeme punjenja u članku tok je obratan i oksidacija se odvija na anodi, koja je pozitivna, a redukcija se odvija na katodi koja je negativna.

Neativna elektroda: katodna reakcija (redukcija)

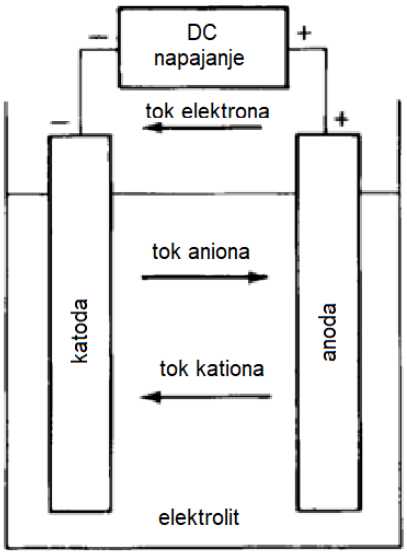
$$Zn^{2+} + 2e \rightarrow Zn \tag{2-4}$$

Pozitivna elektroda: anodna reakcija (oksidacija)

$$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e \tag{2-5}$$

Ukupna reakcija:

$$Zn^{2+} + 2Cl^- \rightarrow Zn + Cl_2 \tag{2-6}$$



Slika 2.2 Elektrokemijski rad članka (punjenje) [1]

Procesi koji se odvijaju u baterijama su jako složeni i znanstvenici rade na tome da usavrše baterijske spremnike i njihove karakteristike. Proces punjenja i pražnjenja baterijskih spremnika nije u potpunosti reverzibilan i dolazi do smanjenja performansi baterijskih spremnika zbog promjena u strukturnom sastavu materijala i kemijskih reakcija. Zbog toga kombiniraju se različiti materijali različitih performansi kako bi se postigli najbolji rezultati. Kombiniraju se materijali koji daju najveći kapacitet, najveći napon i koji su najlakši. Najvažnije veličine koje opisuju baterijske spremnike su napon, kapacitet i specifična energija.

Napon je određen vrstama aktivnih materijala sadržanih u članku. Može se odrediti izračunom i ekperimentalno. Izračunom se određuje iz potencijala elektroda članka.

Anoda (oksidacijski potencijal) + katoda (redukcijski potencijal) = standardni potencijal članka

Npr. $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$ -(-0.76 V) (2-7)

$Cl_2 \rightarrow 2Cl^- - 2e$ 1.36 V

E^0= 2.12 V

Napon članka ovisi i o drugim čimbenicima kao što je temperatura.

Kapacitet članka ovisi o količini aktivnih materijala u članku. Izražava se kao ukupni elektricitet uključen u kemijsku reakciju, a definira se u amper-satima. Teoretski kapacitet elektrokemijskog članka, utemeljen samo na aktivnim materijalima koji sudjeluju u elektrokemijskoj reakciji, izračunava se iz ekvivalentne težine reaktanata. Voda, elektrolit ili bilo koji drugi materijal koji može biti uključen u reakciju članka nisu uključeni u izračun.

Npr. $Zn + Cl_2 \rightarrow ZnCl_2$ (2-8)

(0.82 Ah/g) (0.76 Ah/g)

1.22 g/Ah + 1.32 g/Ah = 2.54 g/Ah ili 0.394 Ah/g

Kapacitet članka može se također uzeti u obzir na bazi energije(vat-sat), uzimajući napon i količinu električne energije u obzir. Ova teoretska energetska vrijednost je maksimalna vrijednost koju može isporučiti određeni elektrokemijski sustav:

Vat-sat (Wh) = napon (V) * amper-sat (Ah)

Baterijske spremnike možemo podijeliti na primarne i sekundarne, ovisno o njihovoj mogućnosti punjenja. [1]

Primarni baterijski spremnici se nakon pražnjenja izbacuju iz upotrebe jer se ne mogu lako i učinkovito ponovno napuniti. Neke primarne baterijske spremnike moguće je puniti ali nakon punjenja neće poprimiti maksimalan kapacitet, te punjenje može biti opasno i mora se izvoditi u kontroliranim uvjetima. Primarne baterije su prikladan, obično jeftin i lagan izvor napajanja za prenosive elektroničke i električne uređaje. Opće prednosti primarnih baterija su dobar vijek trajanja, visoka gustoća energije pri niskim do umjerenim stopama pražnjenja, jednostavno korištenje i održavanje.

Sekundarni baterijski spremnici imaju mogućnost ponovnog punjenja te vraćanja u početno stanje prolazeći kroz njih strujom suprotnog smjera od struje pražnjenja. Upotreba sekundarnih baterijskih spremnika je široka i danas sve više raste. Koristi se kod napajanja električnih uređaja (mobilni telefoni, laptopi itd.), također razvojem električnih vozila povećala se potražnja i razvoj sekundarnih baterija. Sekundarne baterije karakterizira visoka brzina pražnjenja, ravne krivulje pražnjenja, visoke gustoće snage i dobre performanse pri niskim temperaturama. U fotonaponskim sustavima koriste se sekundarne baterije i one se mogu podjelitit prema materijalu od kojeg su izrađene. Prema tome razlikujemo više tipova sekundarnih baterijskih spremnika, a to su:

- Standardne baterije- $\begin{cases} \text{olovne baterije} \\ \text{nikal} - \text{kadmijske baterije} \end{cases}$

- Moderne baterije- $\begin{cases} \text{nikal} - \text{metal} - \text{hibridne baterije} \\ \text{litij} - \text{ionske baterije} \\ \text{litij} - \text{polimerske baterije} \end{cases}$

- Posebne baterije- $\begin{cases} \text{srebro} - \text{oksidne baterije} \\ \text{nikal} - \text{vodikove baterije} \end{cases}$

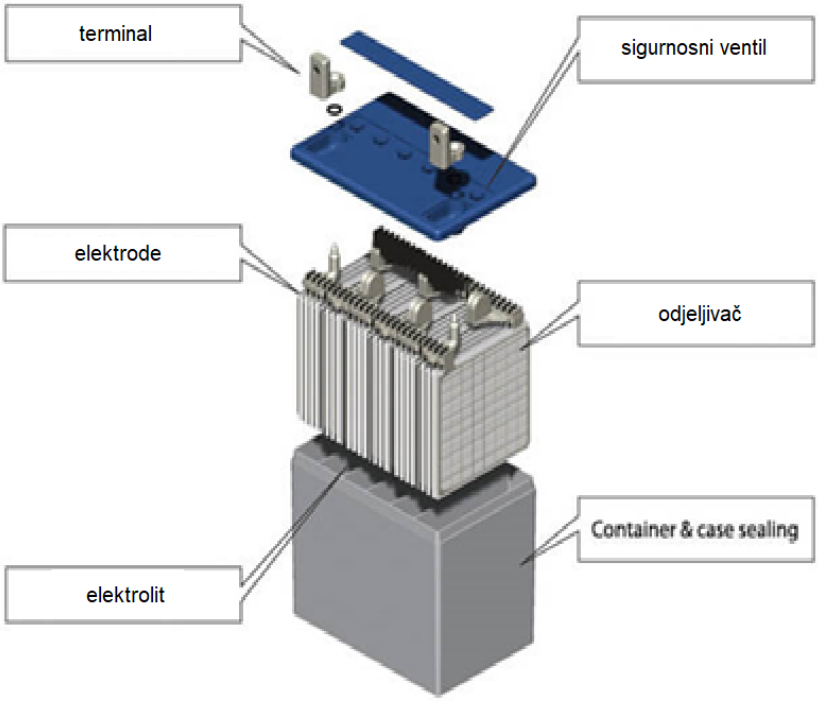
- Protočne baterije- $\begin{cases} \text{cink} - \text{bromidne baterije} \\ \text{vanadij redoks baterije} \end{cases}$

- Baterije za visoku temperaturu- $\begin{cases} \text{natrij} - \text{sumpor baterije} \\ \text{natrij} - \text{metalkloridne baterije} \end{cases}$

2.1. Olovne baterije

Olovne baterije su prva vrsta punjivih baterija. Njegova proizvodnja i upotreba nastavlja rasti zbog sve većeg broja električnih i hibridnih vozila. Olovne baterije predstavljaju 40 do 45% prodajne vrijednosti svih baterija u svijetu. Ovaj se tip baterijskih spremnika također intenzivno koristi u telefonskim sustavima, komunikacijskim uređajima, sustave rasvjete u nuždi, izvor energije za opremu za rudarstvo itd. Široka upotreba ovih baterija rezultat je niske cijene i jednostavnosti u proizvodnji, a i dalje pruža dobre performanse i životne karakteristike.

Olovne baterije sastoje se od elektrolita, odjeljivača, elektrode, posude, sigurnosnog ventila i drugih sporednih dijelova.



Slika 2.3 Struktura olovne baterije [2]

Elektroda je dizajnirana u obliku rešetke koja je izrađena od olova i aktivnog materijala. Rešetka je neophodna za provođenje električne struje i za ravnomjernu distribuciju struje na aktivnom materijalu. Rešetke su izrađene iz olovnih legura, najčešće od legure olova i antimona. Aktivni materijal je materijal u ćeliji koji aktivno sudjeluje u kemijskoj reakciji tijekom punjenja ili pražnjenja. Aktivni elementi olovne kiseline su:

1. Olovni dioksid (PbO_2)- tvori pozitivni aktivni materijal
2. Spužvasto olovo- tvori negativni aktivni materijal
3. Razrijeđena sumporna kiselina (H_2SO_4)- koristi se kao elektrolit

Odjeljivač čine tanki listovi nevodljivog materijala, koji su postavljeni između pozitivne i negativne elektrode kako bi ih izolirali jedan od drugog. Odjeljivači mogu biti izrađeni od drveta, celuloze, gume, stakla itd. [3]

Nazivni napon članka olovne baterije je 2 V. Krajnji ili granični napon kod umjerenog pražnjenja je 1,75 V po članku, ali može se kretati i do 1 V po članku pri iznimno visokim brzinama pražnjenja pri niskim temperaturama.

Kemijska reakcija tijekom punjenja:

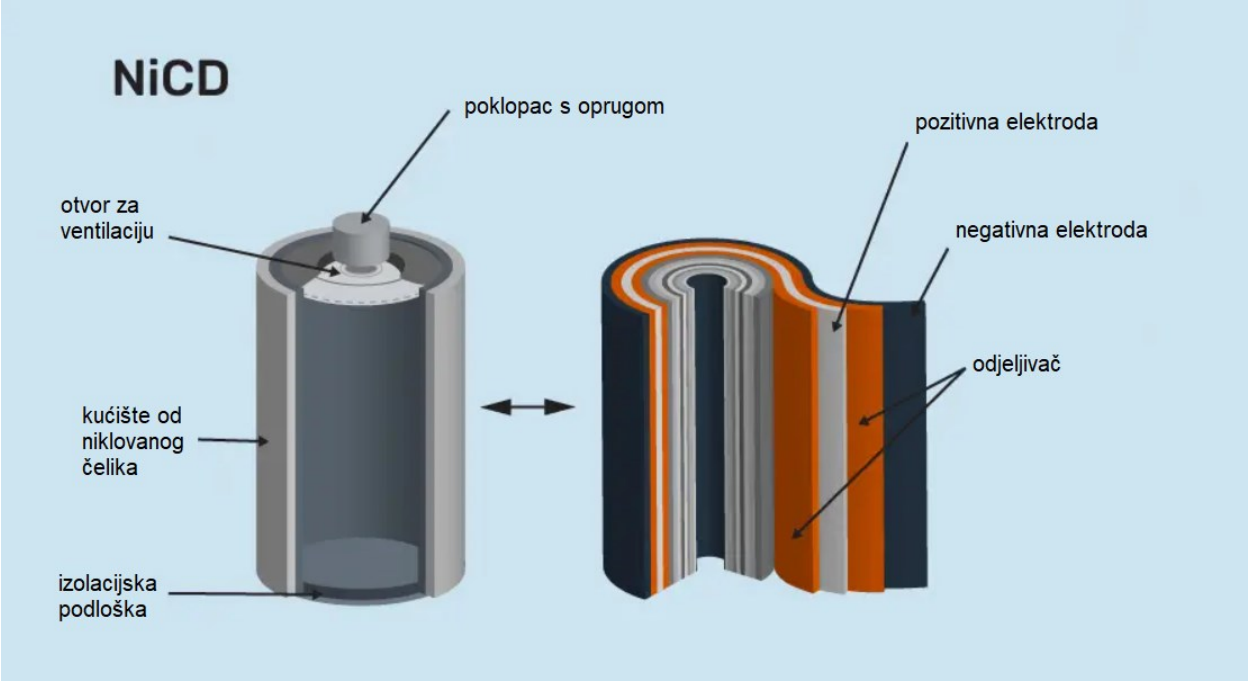
$$2PbSO_4 + 2H_2O \rightarrow Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \tag{2-9}$$

Reakcija pražnjenja je suprotna od reakcije punjenja. [1]

2.2. Nikal-kadmijske baterije

Nikal-kadmijske baterije su vrlo čvrste baterije dugog životnog vijeka, koja može učinkovito raditi pri relativno visokim brzinama pražnjenja i u širokom temperaturnom rasponu. Ima vrlo dobra svojstva zadržavanja naboja i može izdržati određenja mehanička oštećenja i električno "zlostavljanje" kao što su prekomjerno punjenje i kratki spoj. Ovaj tip baterija također zahtjeva malo održavanja. Nedostatci nikal-kadmijske baterije su:

- niska gustoća energije
- viša cijena od olovnih baterija
- sadrže kadmij koji je toksičan.



Slika 2.4 Strukutra nikal-kadmijske baterije [4]

Nikal-oksid premaz služi kao katoda. Iznad sloja nikal-oksida nalazi se sloj KaOH koji služi kao separator. Ovaj sloj separatora mora biti mokar ili vlažan. Njegov cilj je osigurati kemijsku reakciju s potrebnim OH negativnim ionima. Kadmij se nalazi iznad sloja separatora i on služi kao anoda.

Kemijska reakcija punjenja:

$$2Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2 \rightarrow 2NiOOH + 2H_2O + Cd \qquad (2\text{-}10)$$

Reakcija pražnjenja je suprotna reakciji punjenja

Prilikom pražnjenja trovalentni nikal-okisd hidroksid se reducira u dvovalentni nikal hidroksid s potrošnjom vode. Metalni kadmij se oksidira i nastaje kadmijev hidroksid.

Litijev hidroksid se često dodaje u elektrolit za poboljšani životni vijek ciklusa i rad na visokim temperaturama. [5]

2.3. Nikal-metal-hibridne baterije

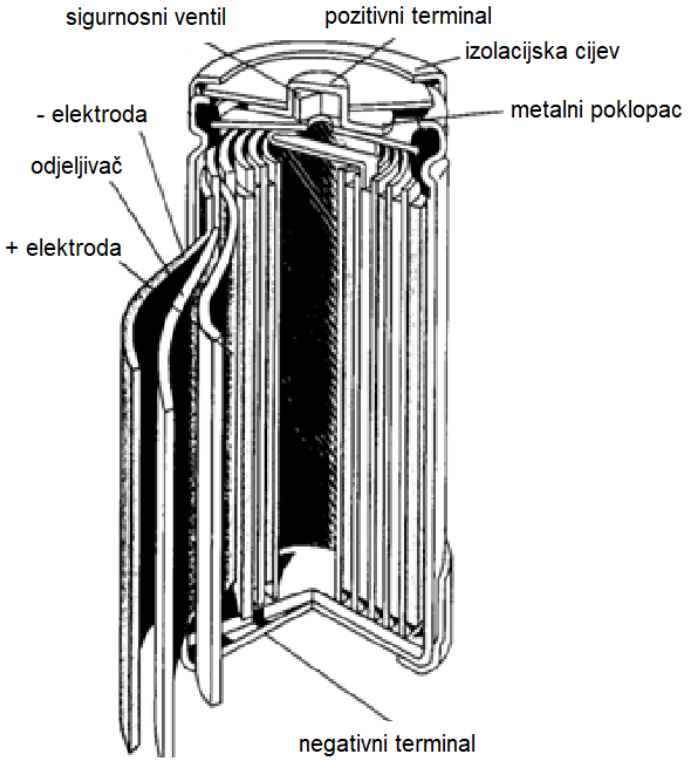
Nikal-metal-hibridna baterija je relativno nova tehnologija sa sličnim karakteristikama kao kod nikal-kadmijske karakteristike. Osnovna razlika je da nikal-metal-hibridna baterija koristi vodik, apsorbiran u metalnoj leguri, umjesto kadmija korištenog u nikal-kadmijskim baterijama. Metal-hibridna elektroda ima veću gustoću energije od kadmijeve elektrode. Stoga količina negativne elektrode koja se koristi u nikal-metal-hibridnom članku može biti manja nego od one koja se koristi u nikal-kadmij članku. To omogućuje veći volumen za pozitivnu elektrodu, što rezultira većim kapacitetom i dužim životnim vijekom. Također nikal-metal-hibridna baterija ne sadrži kadmij, pa se smatra ekološki prihvatljivijom od nikal-kadmij baterije. Nikal-metal-hibridne baterije su manje tolerantne na prekomjerna punjenja u odnosu na nikal-kadmij baterije, te zahtijevaju kontrolu granične vrijednosti punjenja.

Glavni dijelovi nikal-metal-hibridne baterije su pozitivna elektroda koja sadrži nikal hidroksid kao svoj glavni aktivni materijal, negativna elektroda koja se uglavnom sastoji od legura koje apsorbiraju vodik i separator. Elektrolit je sadržan unutar pora elektroda i separatora. Osnovna struktura identična je onoj kod nikal-kadmij baterija.

Životni vijek nikal-metal-hibridnih baterija, kao i kod svih punjivih baterija ovisi o mnogim uvjetima kojima je baterija bila izložena, kao što su:

- Temperatura tijekom punjenja i pražnjenja
- Struja punjenja i pražnjenja
- Način kontrole punjenja
- Izloženost prekomjernom punjenju i pražnjenju

- Dubina pražnjenja

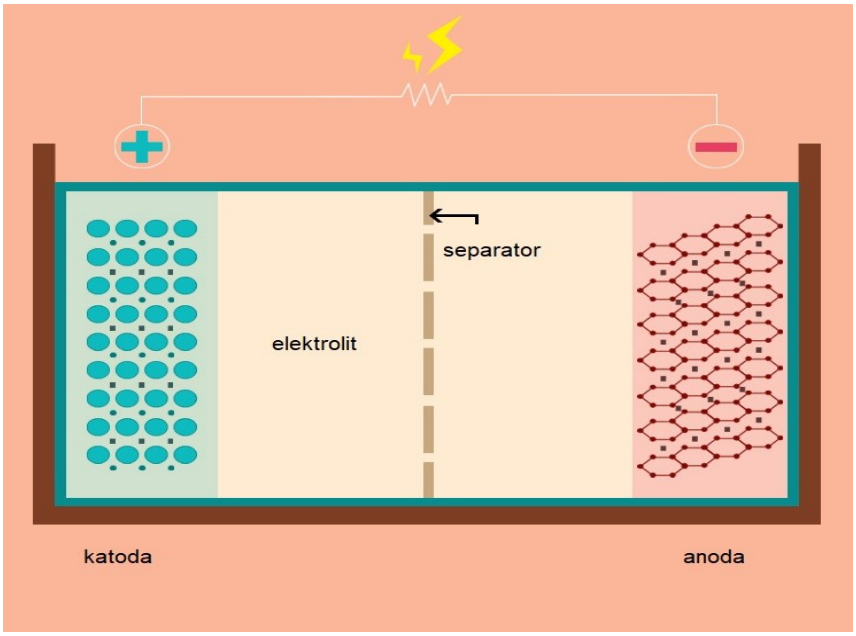


Slika 2.5 Struktura nikal-metal-hibridne baterije [1]

Obično pod standardnim ciklusom punjenja-pražnjenja može se postići oko 500 ciklusa. Postupno smanjenje u kapacitetu proizlazi iz povećanja unutarnjeg otpora članka zbog manjih promjena u strukturama elektroda i gubitka elektrolita ili isušivanja članka. Za optimalan i maksimalan vijek trajanja, nikal-metal-hibridna baterija bi trebala raditi blizu sobne temperature. Rad na ekstremnim temperaturama tijekom punjenja i pražnjenja negativno će utjecati na njezine performanse. Visoke temperature utjecat će tako da će doći do ispuštanja plina i eventualno elektrolita kroz sigurnosni ventil, također visoka temperatura dovodi i do propadanja separatora i drugih materijala u članku. Životni vijek ciklusa može biti znatno duži ako se baterija puni ciklično na plićim punjenjima i pražnjenjima. [6]

2.4. Litij-ionske baterije

Litij-ionske baterije u usporedbi sa ostalom starijom tehnologijom baterija traju dulje, brže se pune i imaju veću gustoću snage za dulje trajanje baterije. Iz samo naziva baterija možemo zaključiti da su ioni litija glavna komponenta u elektrokemijskim reakcijama litij-ionskih baterija. Litij-ionska baterija se sastoji od anode, katode, separatora i dva strujna kolektora (pozitivni i negativni). Anoda i katoda pohranjuju litij. Elektrolit prenosi pozitivno nabijene litijeve ione od anode do katode i obrnuto kroz separator. Kretanje litijevih iona stvara slobodne elektrone u anodi koji stvaraju naboj na pozitivnom kolektoru struje. Električna struja zatim teče od strujnog kolektora kroz uređaj koji se napaja do kolektora negativne struje.



Slika 2.6 Struktura litij-ionske baterije [7]

Litij-ionske baterije zbog svojih značajnih prednostima nad ostalim baterijama zauzimaju jako važno mjesto među baterijskim spremnicima. Ovaj tip baterijskih spremnika sve se više koristi u električnim uređajima i električnim vozilima. U početku tijekom razvoja litij-ionskih baterija njihvu širu upotrebu ograničavala je relativno visoka cijena. Daljnjim razvojem i sve većom potražnjom za ovim tipom baterijskih spremnika povećala se i proizvodnja, a time se ujedno i smanjila cijena. Neke od prednosti litij-ionskih baterija su zapečaćen članak (nije potrebno održavanje), dug životni ciklus (veći od 1000 ciklusa), širok temperaturni raspon rada (punjenje na -20°C do 60°C, pražnjenje na -40°C do 65°C), dug vijek trajanja, niska stopa samopražnjenja, mogućnost brzog punjenja, visoka energetska učinkovitost, visoka specifična energija (približno

150 Wh/kg) i gustoća energije (približno 400 Wh/L) itd. Unatoč svim prethodno nabrojanim prednostima, kao i sve ni ovaj tip baterija nije savršen. Nedostatci litij-ionskih baterija su:

degradacija pri visokim temperaturama, potreba za zaštitnim krugom, visoka cijena , može doći do zagrijavanja i gubitka kapaciteta kada se prepuni.

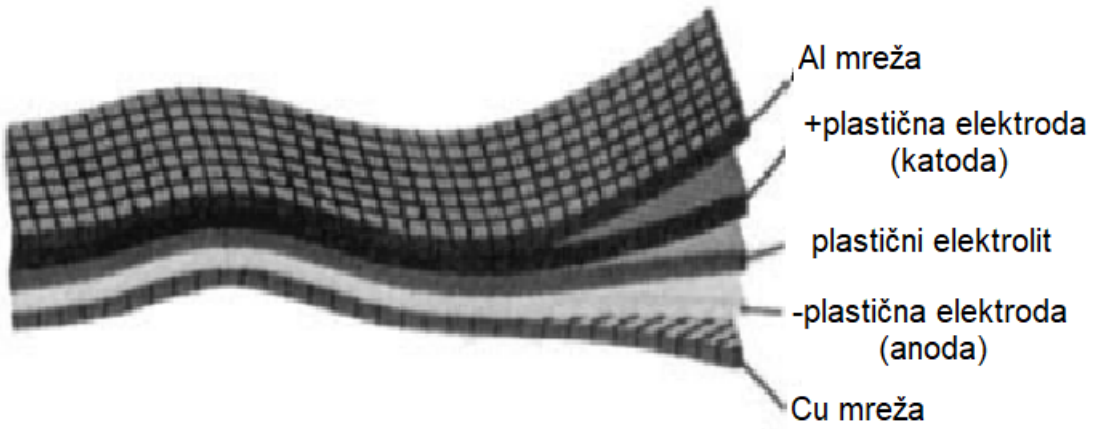
Članci litij-ionskih baterija proizvode se u tri oblika, a to su: cilindrični, vrećasti i pljosnati. Svaki od ovih oblika ima svoje prednosti i mane. Cilindrični članci imaju najnižu cijenu i najčešće se koriste u električnim vozilima, ali ovaj tip obično koristi čeličnu ili aluminijsku zaštitu, što ih čini teškim. U usporedbi sa cilindričnim litij-ionskim baterijama pljosnati tip ima manju težinu i relativno veću gustoću energije. Zbog svog oblika pljosnate baterije se koriste u električnim uređajima poput mobilnih telefona i laptopa. Vrećaste litij-ionske baterije imaju određeni stupanj fleksibilnosti. Kada se pojavi sigurnosni problem, baterija u vrećici će se ispupčiti i popucati, ali neće eksplodirati ili uzrokovati požar jer se plin ne može ispustiti. [7]

a) b) c)

Slika 2.8 Različiti oblici litij-ionskih baterija: a) cilindrični, b) pljosnati, c) vrećasti [7]

2.5. Litij-polimerske baterije

Litij- polimerske baterije pružaju performanse kao i Litij-ionske baterije, uključujući njihovu visoku specifičnu energiju i visoku gustoću energije. Razlika je u elektrolitu, kojeg u litij-polimreskim baterijama čini polimer. Zbog polimera kao elektrolita ove baterije su tanje i manjih dimenzija od litij-ionskih baterija. Ovaj tip baterija zog manje težine i manjih dimenzija koristi privlačan je za manje elektroničke uređaje. Nedostatak litij-polimerskih baterija je da su osjetljive na niske temperature. [1]



Slika 2.9 Struktura litij-polimerske baterije [1]

2.6. Srebro-oksidne baterije

Srebro-oksid baterija ima gustoću energije među najboljim od svih baterijskih sustava. Jednovalentna srebro-oksidna baterija će se prazniti pri ravnom, konstantnom naponu, pri i visokoj i niskoj struju. Baterija ima dug vijek trajanja, zadržavajući više od 95% svog početnog kapaciteta nakon jedne godine sobne temperature. Također relativno dobro radi pri niskim temperaturama, isporučivajući oko 70% svog nazivnog kapaciteta pri 0°C i 35%°C pri -20°C. Ove karakteristike omogućile su da srebro-oksidne baterije budu važan izvor mikronapajanja za elektroničke uređaje i opremu, kao npr. Satovi, kalkulatori, pomagala za sluh, kamere i druge uređaji koji zahtijevaju male, tanke baterije velikog kapaciteta koje se prazne konstantnim naponom. Korištenje ovog baterijskog spremnika u većim količinama ograničena je relativno visokom cijenom srebra. Dvovalentni srebrni oksid ima veći teorijski kapacitet i mogućnost isporuke oko 40% većeg kapaciteta u istoj veličini baterije u odnosu na jednovalentni srebrni oksid, ali ima nedostatak dvojne krivulje napona pražnjenja i veću nestabilnost u alkalnim otopinama. Prednosti srebro-oksidni baterija su: velika gustoća energije, dobra regulacija napona, ravna krivulja napona može se koristiti kao referentni napon, relativno dobre performanse na niskim temperaturama, dobra otpornost na udarce i vibracije, dobar životni vijek. Nedostatak ovih baterijskih spremnika je visoka cijena.

Članak srebro-oksidnih baterija sastoji se od tri aktivne komponente, a to su:

- Anoda-metalni cink u prahu
- Katoda-kompriminiran srebrov oksid
- Elektrolit-vodena otopina kalija ili natrijevog hidroksida s otopljenim cinkatima

Ukupna kemijska reakcija članka jednovalentog srebrovog oksida :

$$Zn + Ag_2O \rightarrow 2Ag + ZnO \tag{2-11}$$

Kemijska reakcija članka dvovalentnog srebrovog oksida sadrži dva koraka:

- Prvi korak: $Zn + AgO \rightarrow Ag_2 + ZnO$ (2-12)
- Drugi korak: $Zn + Ag_2O \rightarrow 2Ag + ZnO$ (2-13)

Cink se koristi za negativnu elektrodu u vodenim alkalnim baterijama zbog svog visokog polućelijskog potencijala, niske polarizacije i visoke granične gustoće struje. Njegova težina je prilično mala, što rezultira visokim teoretskim kapacitetom od 820 mAh/g. Niska polarizacija cinka omogućuje visoku učinkovitost pražnjenja od 85% do 95% (omjer korisnog kapaciteta prema teoretskom kapacitetu). Legure cinka podložne su koroziji, zbog toga cink se spaja s malim količinama žive (3 do 6%) kako bi se stopa korozije dovela u podnošljivu granicu.

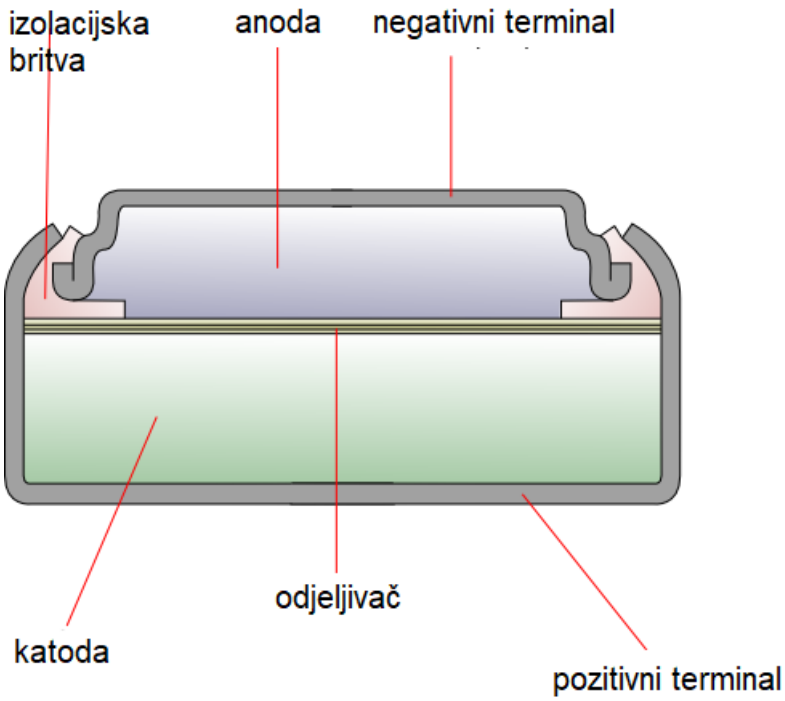
Srebrov oksid može biti u tri oksidacijska stanja:

- Jednovalentni (Ag20)
- Dvovalentni (AgO)
- Trovalentni ($Ag2O_3$)

Trovalentni srebrov oksid je nestabilan i ne koristi se za baterije. Jednovalenti je najstabilniji i najviše se koristi u proizvodnji baterija.

Elektrolit koji se koristi za članke srebro-oksidni baterija temelji se na 20% do 45% vodenih otopina kalijevog hidroksida ili natrijevog hidroksida. Cinkov oksid je otopljen u elektrolitu kako bi pomogao u kontroli otpuštanja cinka. Koncentracija cinkovog oksida varira od nekoliko posto do zasićene otopine.

Važna komponenta članka srebrova oksida je odjeljivač, koji mora spriječiti kratki spoj između elektroda, prelazak srebra na negativnu elektrodu, kretanje cinka i čuvati cjelovitost cinkove elektrode. Najčešće je izrađen od celuloze, sintetičkih vlaknastih obloga od najlona, polipropelina. [8]



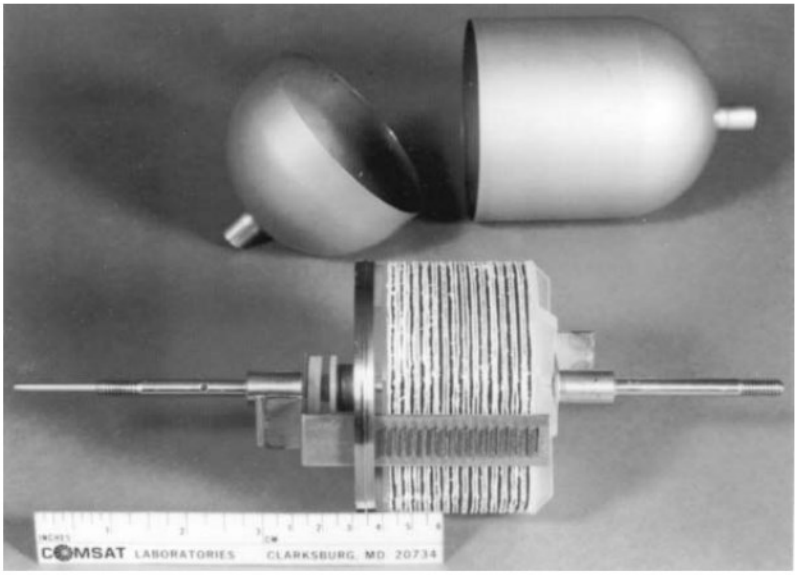
Slika 2.10 Struktura srebro-oksidne baterije [8]

2.7. Nikal-vodikova baterija

Nikal-vodikova baterija je hibrid koji kombinira tehnologiju baterije i gorivih ćelija. Nikal oksid čini pozitivnu elektrodu, a negativnu elektrodu čini vodik. Istaknute značajke ove hibridne nikal-vodikove baterije su dug životni vijek koji nadmašuje bilo koji drugi sekundarni baterijski sustav (oko 40000 ciklusa), visoka specifična energija u usporedbi s drugim vodenim baterijama, visoka gustoća snage i tolerancija na prekomjerno punjenje i pražnjenje. Upravo zbog tih značajki ovaj tip baterijskih spremnika koristi se u zrakoplovstvu, također kod satelita. Iako se nikal-vodikove baterije još uvijek usmjeravaju većinski na područje zrakoplovstva, vrše se istraživanja za dugotrajne samostalne fotonaponske sustave. Nedostatak ovih baterija je visoka cijena i mala volumetrijska gustoća energije.

Sinterirana pozitivna elektroda sastoji se od sinterirane porozne ploče od nikla koja je impregnirana s aktivnim materijalom nikal hidroksidom. Kao separator kod nikal-vodikovih članaka koristi se azbest i zicar (neobrađena pletena zicar tkanina).

Zatvoreni članci nikal-vodikove baterije sadrže plinoviti vodik pod tlakom unutar cilindrične tlačne posude. One se nazivaju stanicama individualnih tlačnih posuda, jer je svaka pojedinačna stanica sadržana unutar vlastite tlačne posude. Individualne tlačne posude se sastavljaju s jednom ili dvostrukom elektrodom unutar tlačne posude. [1]



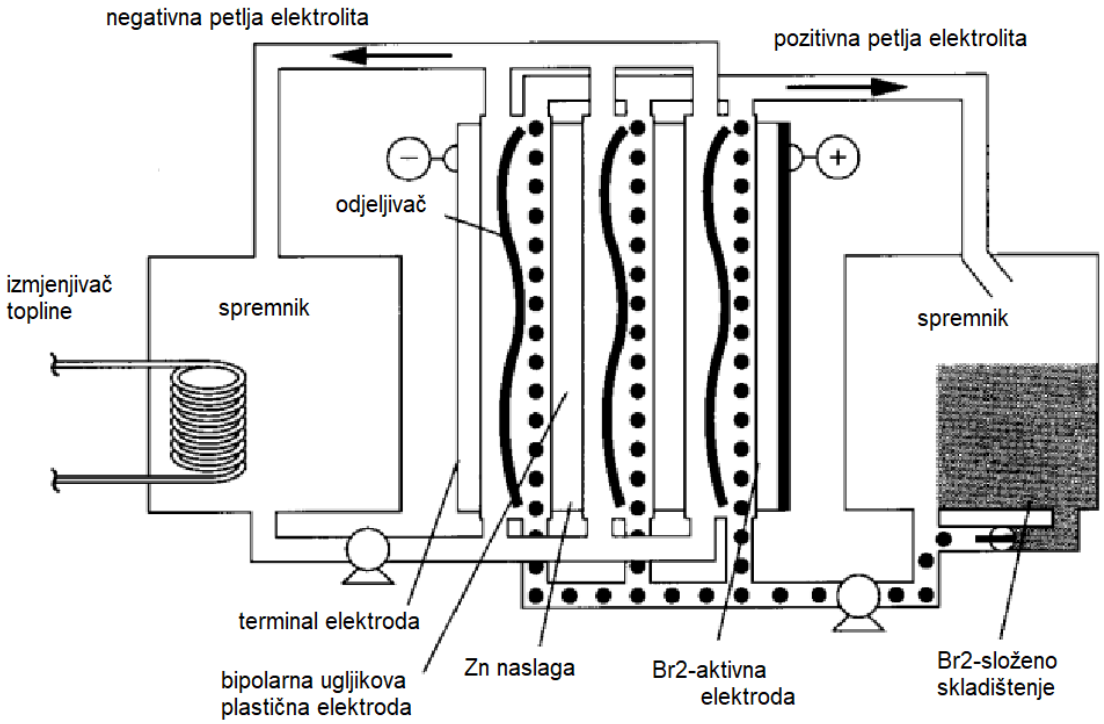
Slika 2.11 Primjer nikal-vodikove baterije [1]

2.8. Cink-bromidne baterije

Cink-bromidne baterije patentirane su prije više od 100 godina, ali razvoj ovih baterija bio je blokiran zbog dva razloga. Prvi problem predstavljala je sklonost cinka da formira dendrite nakon taloženja, a drugi problem stvarala je visoka topljivost broma u vodenom elektrolitu cink bromida. Dendritične naslage cinka mogu lako kratko spojiti stanicu, a visoka topljivost broma omogućuje difuziju i izravnu reakciju s cinkovom elektrodom, što rezultira samopražnjenjem članka. Predonsti cink-bromidne baterije su: dobra specifična energija i energetska učinkovitost, izrađena je od jeftinog i lako dostupnog materijala, može se reciklirati s malim utjecajem na okoliš, mogućnost brzog punjenja, rad na temperaturi okoline, 100% dubina pražnjenja ne oštećuje bateriju, već je poboljšava. Očekivan je razvoj ovih baterija u skoroj budućnosti.

Elektrokemijske reakcije koje pohranjuju i oslobađaju energiju odvijaju se u sustavu kojeg čine elektrode, separatori, vodeni elektrolit i spremnik za pohranu elektrolita. Elektrolit je vodena otopina cink bromida, koja cirkulira pomoću pumpi mimo površine obje elektrode. Površine

elektroda odvojene su mikroporoznom plastičnom folijom. Tako su prisutne dvije vrste struje elektrolita, jedna na pozitivnoj strani i jedna na negativnoj strani. [9]



Slika 3.12 Struktura cink-bromidne baterije [1]

2.9. Vanadij redoks baterije

Vanadij redoks baterija je tip protočne baterije. Protočna baterija je punjiva baterija u kojoj elektrolit teče kroz jednu ili više elektrokemijskih članaka iz jednog ili više spremnika. Jednostavnoj protočnoj bateriji jednostavno je povećati kapacitet pohrane energije povećanjem količine elektrolita pohranjenog u spremnicima. Elektrokemijski članci mogu biti električni spojene serijski ili paralelno, čime se određuje snaga protočnog baterijskog sustava. Protočne baterija svojim razvojem imaju vrlo svijetlu budućnost zbog svojih mnogobrojnih prednosti. Neke od prednosti ovog tipa baterijskih sustava su:

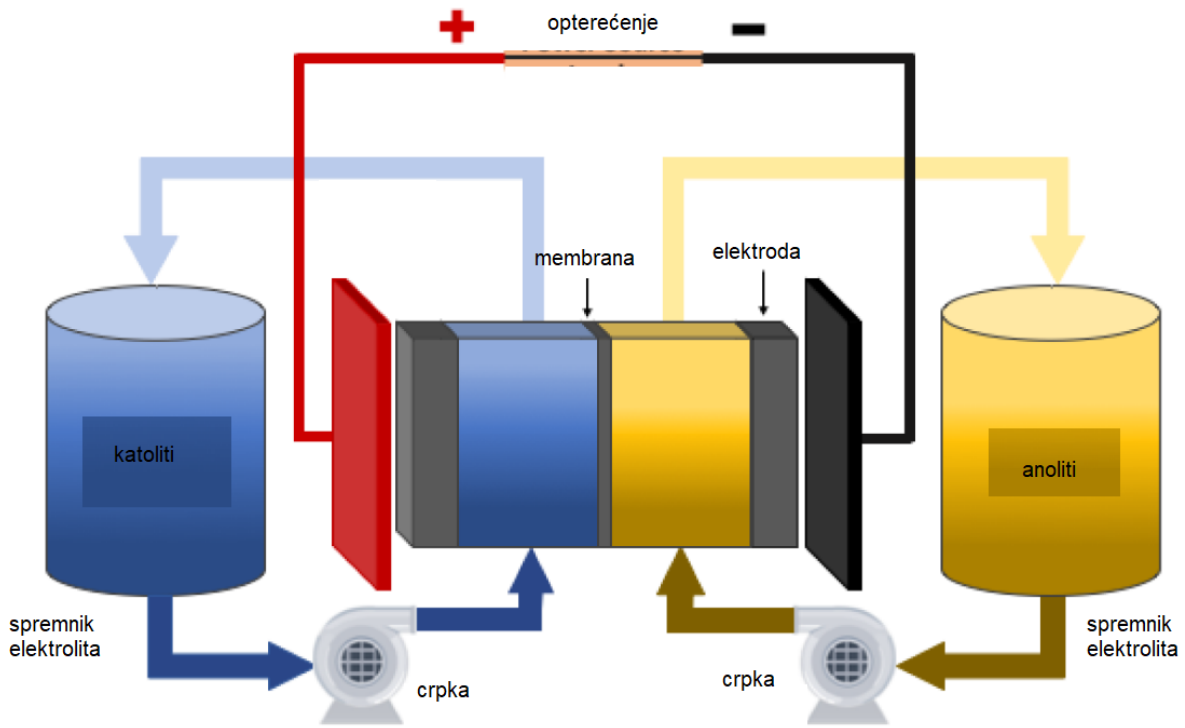
- Baterija može biti izrađena od jeftinih i lako dostupnih materijala, kao što su termoplast i materijali na bazi ugljika, mnogi dijelovi baterije mogu se reciklirati, elektroliti se mogu ponovno upotrijebiti što dovodi do niskih troškova posjedovanja.
- Materijali baterija imaju nisku zapaljivost i mali utjecaj na okoliš

- Elektroliti se mogu koristiti za upravljanjem toplinom baterije, smanjujući potrebu za složenim grijanjem ili hlađenjem baterijskog sustava.
- Prekomjerna punjenja i potpuno pražnjenje obično ne uzrokuje trajno oštećenje elektroda ili elektrolita
- Protoče baterije vrlo su prikladne za dugotrajno skladištenje energije
- Elektrokemijski članci dijele zajednički elektrolit, što omogućuje da svaki članak može biti u istom stanju napunjenosti.
- Ekstremno velik kapacitet

Nedostatak ovih baterija je niska energija gustoće i još uvijek visoka cijena.

Vanadij redoks protočna baterija je najrazvijeniji tip protočne baterije zbog njihove aktivne brste koja ostaje u otopini cijelo vrijeme tijekom ciklusa punjenja/pražnjenja, njihove velike reverzibilnosti i relativno velike izlazne snage. Vanadij rekod baterije imaju velik kapacitet što ih čine prikladnim za upotrebu u autonomnim sustavima. Prikladni su i za primjenu u sustavima s neprekidnim izvorima napajanja zbog svog vrlo brzog vremena odziva.

Vanadij rekos baterija sastoji se od sklopa nergetskih članaka u kojima su dva elektrolita odvojena membranom za izmjenu protona. Elektrode u vanadij rekos baterijama temelje se na ugljiku. Oba elektorlita su na bazi vanadija. Membrana predstavlja kritičnu komponentu, jer ioni vanadija imaju tendenciju prodrijeti kroz membranu i destabilizirati članak. Zbog toga što se prijelaz iona preko membrane ne može u potpunosti spriječitit dolazi do smanjenja kapaciteta. [10]



Slika 2.13 Struktura vanadij redoks baterije [10]

2.10. Natrij-sumpor baterija

Visokotemperaturne natrij-sumporne baterije koje rade na 300-350°C komercijalno su primjenjene za skladištenje i pretvorbu energije velikih razmjera. Njihovo široku primjenu sprječava zabrinutost za sigurnost. Međutim, natrij-sumporne baterije sobne temperature, s poboljšanim performansama imaju i veću sigurnost. Neke od prednosti natrij-sumpornih baterija su:

- Potencijalno niska cijena u odnosu na druge napredne baterije
- Dug vijek trajanja
- Visoka energija i dobra gustoća snage
- Visoka energetska učinkovitost
- Neosjetljiv na vanjske uvjete
- Fleksibilan rad
- Niske cijene materijala za izradu, nije potrebno održavanje
- Tekuće elektrode
- Visok napon članka
- Dobro funkcionira u širokom rasponu uvjeta(brzina, dubina, temperatura)

Tijekom pražnjenja, natrij (negativna elektroda) se oksidira stvarajući Na ione. Ovi ione se kreću kroz elektrolit i spajaju se sa sumporom koji se reducira u odjeljku pozitivne elektrode i tako tvore

natrijev pentasulfid. Natrijev pentasulfid se ne miješa s preostalim sumporom i tako nastaje dvofazna tekuća smjesa. Nakon što se potroši sva slobodna faza sumpora, natrijev pentasulfid progresivno se pretvara u jednofazne natrijeve polisulfide s progresivno višim sadržajem sumpora. Tijekom punjenja te se kemijske reakcije obrću.

Negativna elektroda:

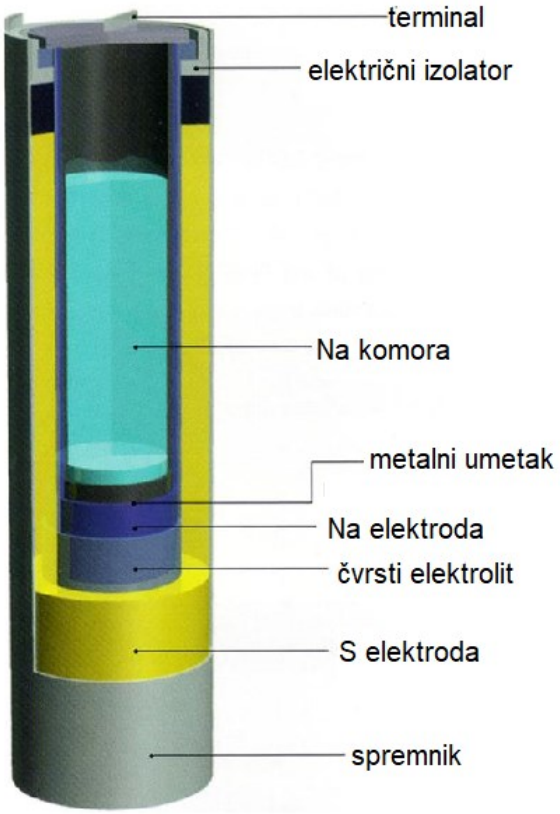
$$2Na \rightarrow 2Na^{+} + 2e^{-} \tag{2-14}$$

Pozitivna elektroda:

$$xS + 2e^{-} \rightarrow S_{x}^{-2} \tag{2-15}$$

Ukupni članak

$$2Na + xS \rightarrow Na_{2}S_{x} \tag{2-17}$$

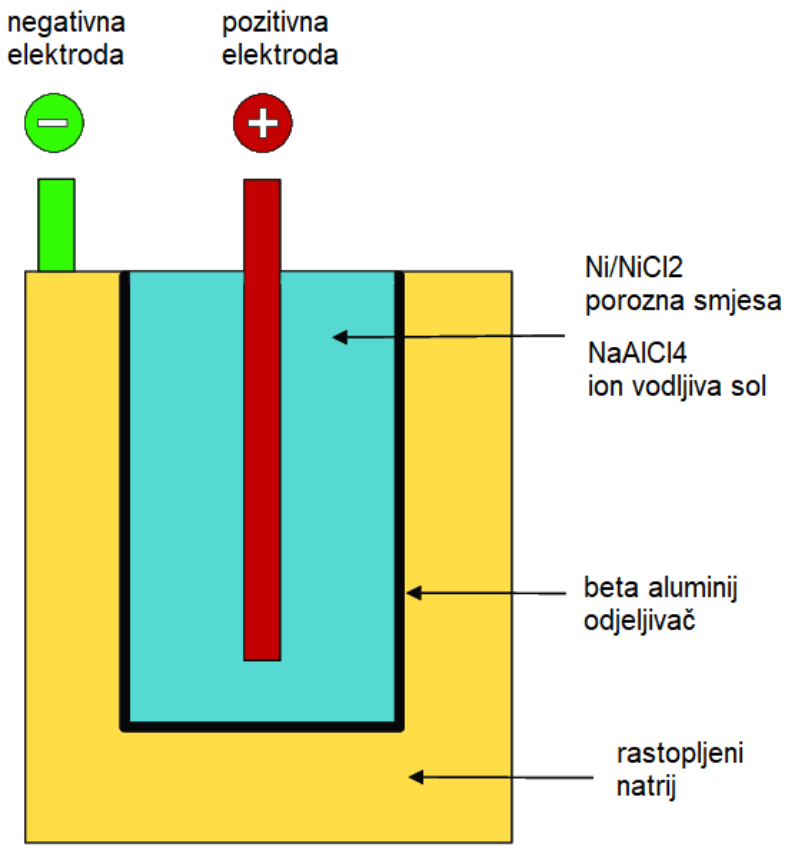


Slika 2.14 Struktura natrij-sumpor baterije [11]

2.11. Natrij-nikal-kloridne baterije

Desetljeće nakon natrij-sumpor baterije razvija se natrij-nikal-kloridna baterija. Ova tehnologija nudi potencijalno lakša rješenja za neke od razvojnih problema s kojima se u to vrijeme susrela natrij-sumpor baterija. U odnosu na natrij-sumporne baterije ovaj tip baterije ima neke prednosti:

- Viši napon otvorenog kruga članka 2,59 V (2,076 V natrij-sumpor)
- Širi raspon radnih temperatura
- Sigurniji produkt reakcije-egzotermne topline reakcije su niže
- Manje metalnih komponenti podložnih koroziji
- Pouzdan način kvara-ako elektrolit zakaže, natrij će reagirati sa sekundarnim elektrolitom i kratko spojiti članak
- Malo niža gustoća energije

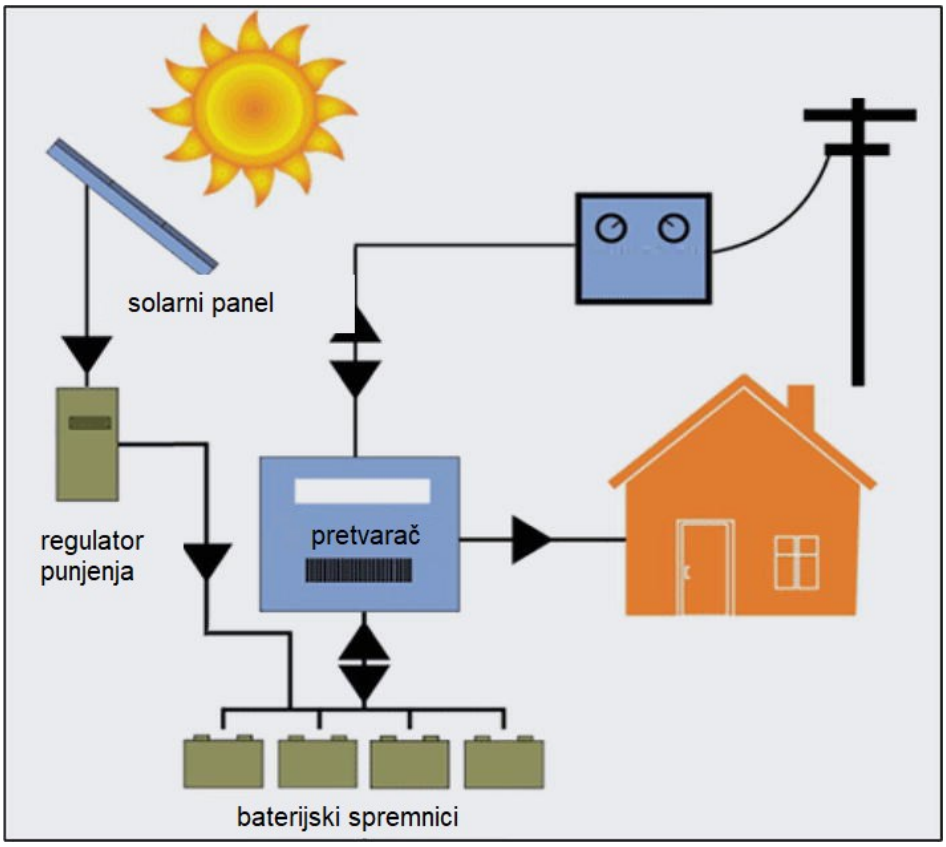


Slika 2.15 Struktura natrij-nikal-kloridne baterije [12]

3. FOTONAPONSKI SUSTAV

Fotonaponski sustav sastoji se od jedne ili više solarnih ploča koje koriste energiju Sunca kako bi proizveli električnu energiju. U posljednjih nekoliko godina fotonaponski sustavi doživjeli su veliki razvoj i sve veću upotrebu. Kako fotonaponski sustavi predstavljaju čist način proizvodnje električne energije ta činjenica omogućila je da se to područje još više istraži i da se povećaju ulaganja za daljnji razvoj. U početku visoke cijene ograničavale su upotrebu fotonaponskih sustava, ali danas korištenjem jeftinijih materijala smanjila se cijena, a time i povećala upotreba fotonaponskih sustava. Međutim unatoč pozitivnim stranama, postoje i negativne strane fotonaponskih sustava. Najveći nedostatak predstavlja ograničenje učinkovitosti solarnih ćelija. Teorijska granična učinkovitost solarne ćelije od kristalnog silicija iznosi oko 33%, dok komercijalno dostupni paneli imaju učinkovitost od samo 15%-23%.

Solarni fotonaponski sustavi pretvaraju sunčevu energiju u električnu energiju koristeći fotonaponski učinak. Fotonaponski učinak je proces u kojem poluvodički materijali stvaraju napon i struju kada su izloženi svijetlu. Ovaj se proces odvija unutar solarnih ćelija. Solarne ćelije izrađene su od polikristalnog ili monokristalnog silicija i mogu se spojiti u seriju ili paralelu kako bi se postigao željeni napon odnosno struja. Solarni panel čini određeni broj solarnih ćelija upakiranih u metalni okvir. U solarnom fotonaponskom sustavu, solarna ploča služi kao spremnik sunčeve energije i pretvara upadne fotone u električnu energiju. Energija koju proizvodi panel je istosmjerna struja. Tom istosmjernom strujom uglavnom se pune baterijski spremnici ili se ona pomoću pretvarača pretvara u izmjeničnu struju i dalje šalje u mrežu.

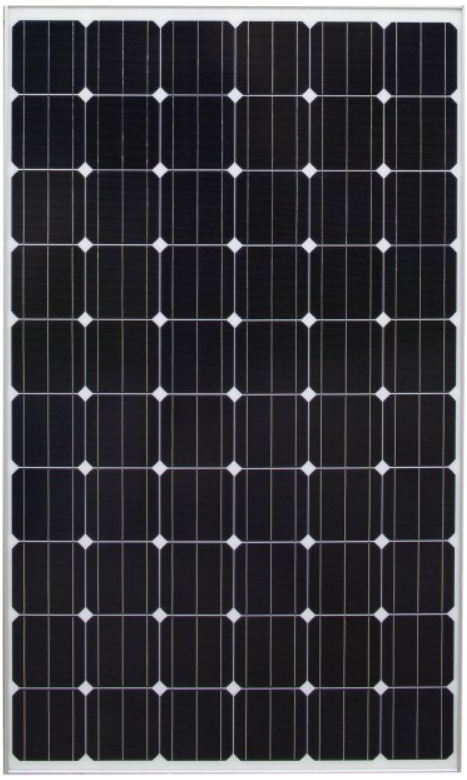


Slika 3.1 Primjer baterijskog spremnika u FN sustavu [13]

Dva su osnovna tipa kristalnih silicijskih fotonaponskih ćelija, a to su:

- Monokristalne
- Polikristalne

Monokristalne fotonaponske ćelije spadaju u prvu generaciju fotonaponskih ćelija. Izrađene su od rastaljenog silicija visoke čvrstoće, obično kristalnog silicija. Monokristalne FN ćelije koriste pločice debljine oko 0,3 mm izrezane iz monokristalnog silicija napravljenog korištenjem Czochralski proces (metoda rasta kristala koja se koristi za dobivanje monokristala poluvodiča, metala i soli). Monokristalne ćelije su skuplje za proizvodnju i obično imaju malo veću učinkovitost od 15%-22%. Iako su vrlo učinkovite monokromatkse ćelije su vrlo skupe zbog proizvodnih procesa koji se koriste za njihovu izradu.



Slika 3.2 Monokristalni fotonaponski panel [14]

Polikristalne fotonaponske ćelije pripadaju drugoj vrsti prve generacije solarnih ćelija. Izrađene su od režnja izrezanog iz bloka silicija. Ove fotonaponske ćelije sadrže više kristala silicija što olakšava proizvodnju pločica u kalupima od više kristala, što ih čini jeftinijim. Ovaj tip fotonaponskih ćelija malo je manje učinkovit od monokristalnih, ali tijekom posljednjih godina poboljšale su učinkovitost. Sada su konkurenti monokristalnim, ali su jeftiniji. Polikristalne solarne ćelije imaju nešto nižu učinkovitost od 13% do 15%, što rezultira većim pojedinačnim ćelijama i stoga nešto većim modulom.

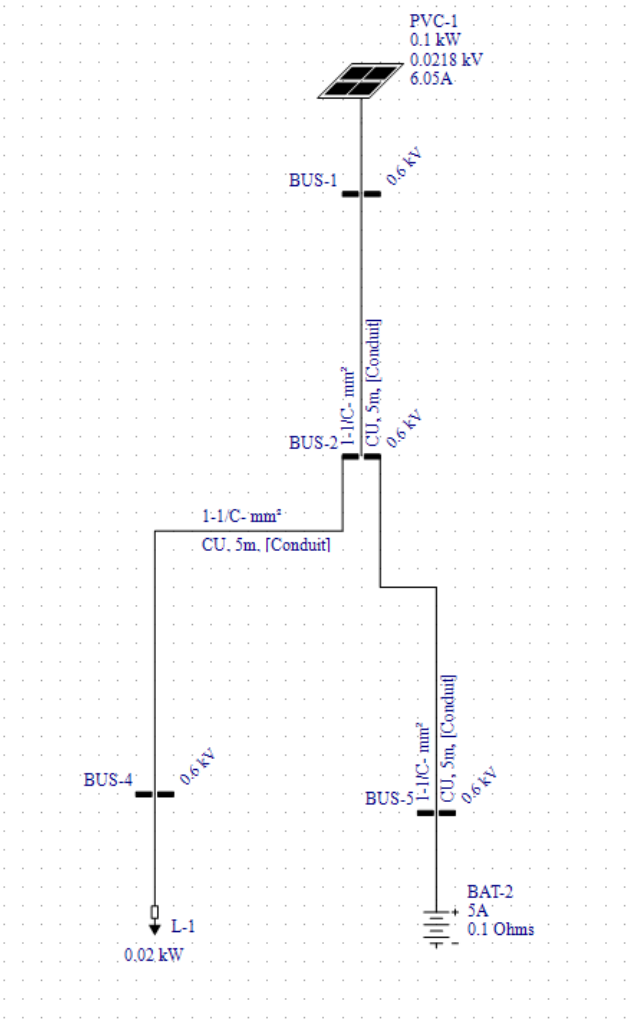
Slika 3.3 Polikristalni FN panel [14]

Amorfne silicijske solarne ćelije predstavljaju još jedan tip FN ćelija. Učinkovitost ovog tipa ćelija ima teorijsku granicu od oko 15%, a realizirana učinkovitost je oko 6% do 7%. Amorfne silicijske ćelije imaju svijetlu budućnost za proizvodnju velikih razmjera. Izrađene su od tankih slojeva nanesenih na podloge od stakla ili nehrđajućeg čelika, pa je potrebna i manja količina materijala za izradu. Ako se može postići učinkovitost od 10% na tankoslojnim ćelijama amorfnog silicija velike površine na jeftinim podlogama, onda bi to bio dobar pristup za proizvodnju jeftine električne energije.

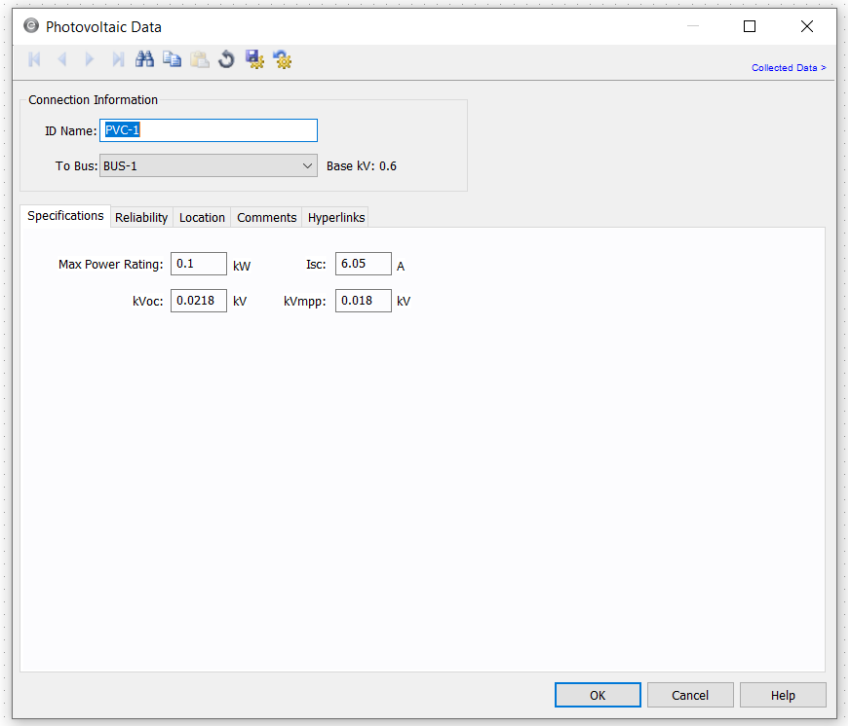
Slika 3.4 Amorfni silicijski panel [14g

4. MODEL BATERIJSKOG SPREMNIKA U FN SUSTAVU

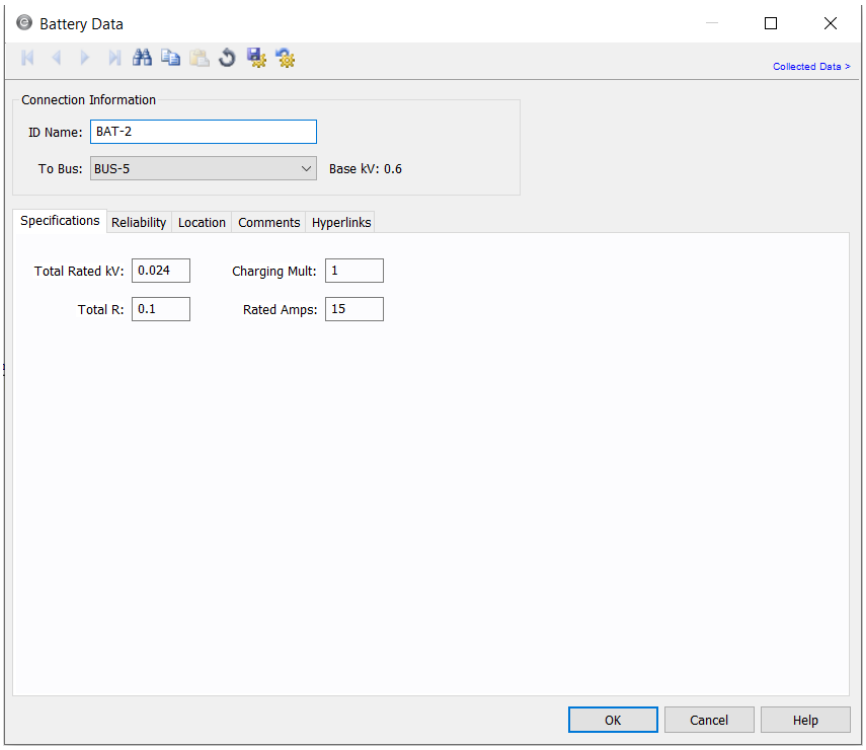
Model baterijskog spremnika u fotonaponskom sustavu napravljen je u programu EasyPower. EasyPower isporučuje kompletan izbor mogućih električnih softverskih alata za inteligentno projektiranje, analizu i nadzor elektroenergetskih sustava. Ovaj jednostavni model baterijskog spremnika u fotonaponskom sustavu sadržava jedan fotonaponski panel, baterijski spremnik i trošilo.



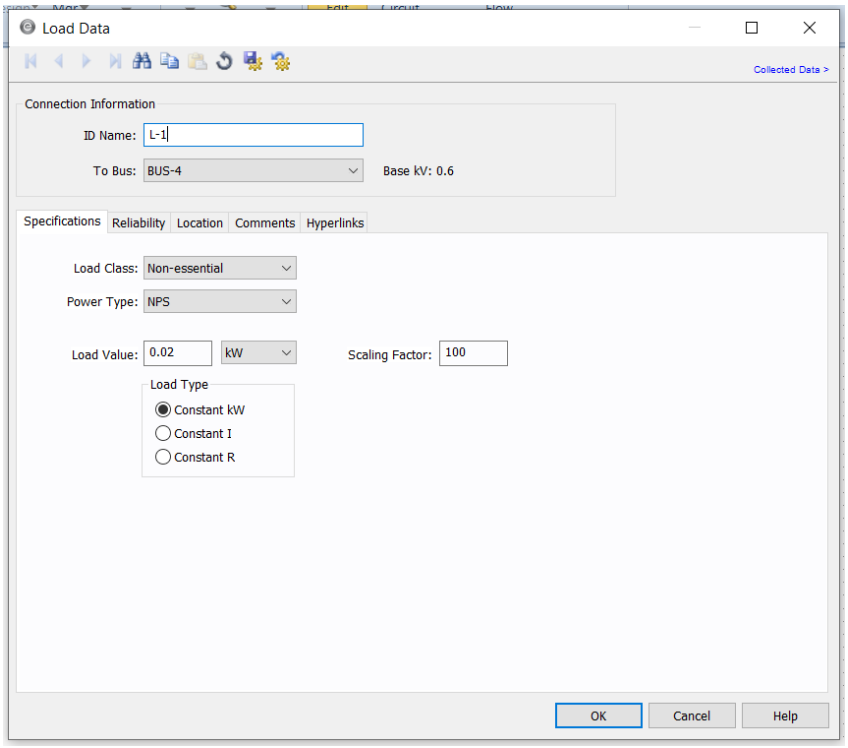
Slika 4.1 Model baterijskog spremnika u FN sustavu



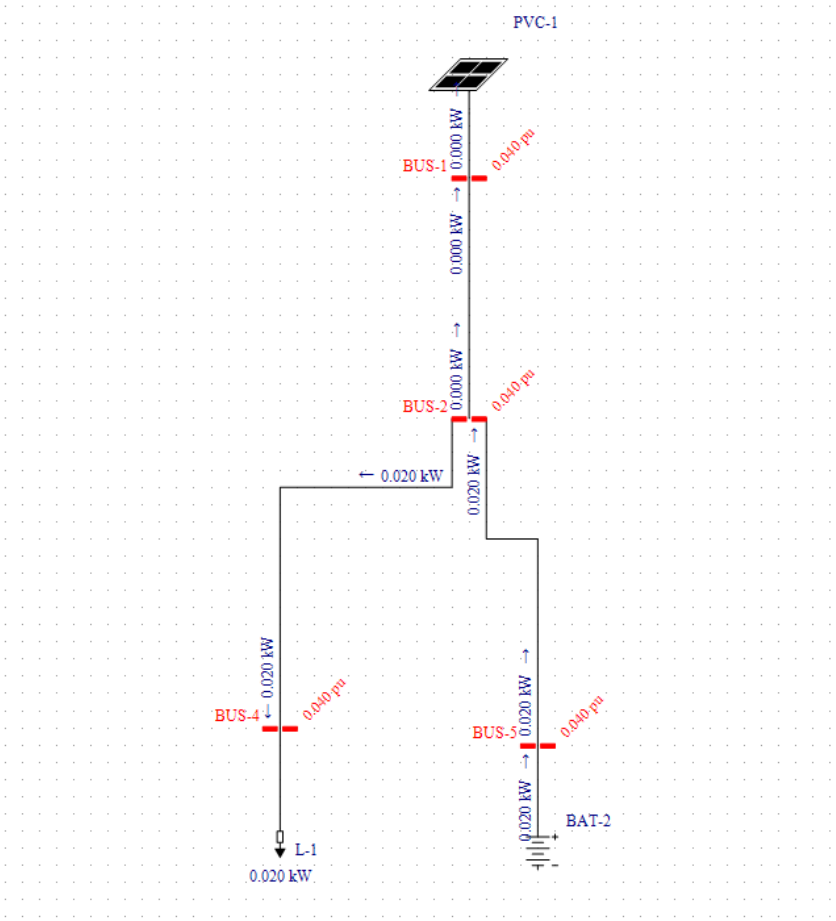
Slika 4.2 Dijalog okvir za fotonaponski panel



Slika 4.3 Dijalog okvir za baterijski spremnik



Slika 4.4 Dijalog okvir za potrošača (led reflektor)



Slika 4.5 Prikaz tokova snaga

Nakon pokretanja simulacije dobili smo tokove snaga. Tijekom dana fn panel puni baterijski spremnik, koji tijekom noći napaja trošilo (led reflektor). Iz slike vidimo tok snage od 20 W iz baterijskog spremnika do trošila.

5. ZAKLJUČAK

Baterijski spremnici u posljednjih nekoliko godina doživjeli su veliki napredak. Veliki problem električne energije ne predstavlja proizvodnja nego njezino skladištenje. Kako je potreba za skladištenjem električne energije porasla, tako je porasla i potreba za baterijskim spremnicima koji pohranjuju električnu energiju. Povećana potreba za baterijskim spremnicima povećala je i razvoj istih. Danas postoje različiti modeli baterijskih spremnika, izrađeni od različitih materijala kako bi se postigle najbolje karakteristike. Mnogi modeli još uvijek su u razvoju. Baterijski spremnici i dalje predstavljaju problem u svijetu energetike zbog svojih nedostataka. Također obnovljivi izvori energije danas zauzimaju sve više mjesta u energetici. Kako bismo zaštitili naš planet potrebna nam je što čišća energija koja minimalno šteti okolišu. Takav oblik energije možemo dobiti iz obnovljivih izvora energije. Sunčeva energije predstavlja vrlo važan izvor energije, jer Sunce predstavlja "nepresušan" izvor energije za ljudsko poimanje . Nažalost učinkovitost solarnih panela i solarne opreme i dalje nije dovoljno visoka da bi se neobnovljivi izvori energije zamijenili u potpunosti. Mnogi znanstvenici rade na tom problemu kako bi unaprijedili opremu za sunčevu energiju i nadamo se da će u skoroj budućnosti pokriti još veće područje energetike. Iako solarna energija nije savršena danas se primjenjuje u mnogim područjima. Kao primjer možemo uzeti prethodno obrađen model baterijskog spremnika u fotonaponskom sustavu. On omogućava rasvjetu područja kojem je nedostupna energetska mreža. Tijekom dana fn panel koristi sunčevu energiju koja puni baterijski spremnik, te tijekom noći led reflektor koristi pohranjenu energiju u bateriji kako bi osvijetlio određeno područje.

6. SAŽETAK

Temu ovog rada predstavljaju baterijski spremnici u fotonaponskom sustavu. U radu su opisani osnovni principi rada baterijskih spremnika (punjenje i pražnjenje), različiti tipovi baterija izrađeni od različitih materijala. Za svaki tip baterijskog spremnika navedene su prednosti i nedostaci, te njihovo područje primjene. Ukratko je opisan i fotonaposnki sustav. U tom poglavlju opisani su osnovni i najčešće korišteni tipovi fotonaponskih modula, zajedno sa svojim prednostim i nedostacima. U radu se nalazi i prikaz jednostavnog modela baterijskog spremnika u fotonaponskom susatvu. Model je napravljen u programu EasyPower.

7. ABSTRACT

Subject of this paper represent batteries in photovoltaic system. Basic principles of work of batteries are being discribed in this paper (charge and discharge), different types of batteries are built from different materials. Adventages and disadventages are stated for each type of battery and also their field of use. Photovoltaic system is also discribed shortly. Basic and most used types of photovoltaic modules are discribed in that chapter together with their adventages and disadventages. A view of simple model of battery in photovoltaic system is also shown inside the paper. The model is made in the EasyPower program.

8. LITERATURA

[1] D. Linden i T. R. , Handbook of batteries, New York: McGraw Hill Professional, 2001.

[2] »STUDY MATERIAL,« 5 17 2020. [Mrežno]. Available: https://studymateriall.com/lead-acid-battery-construction-and-working-principle-battery/. [Pokušaj pristupa 20 5 2022].

[3] 1. Advances in Chemical Engineering, »ScienceDirect,« [Mrežno]. Available: https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/lead-acid-battery. [Pokušaj pristupa 20 5 2022].

[4] S. M. Insights, »openPR,« [Mrežno]. Available: https://www.openpr.com/news/2694074/nickel-cadmium-batteries-market-forecast-2030-analysis-of. [Pokušaj pristupa 22 5 2022].

[5] B. Shumm, »Britannica,« [Mrežno]. Available: https://www.britannica.com/technology/battery-electronics/Alkaline-storage-batteries. [Pokušaj pristupa 22 5 2022].

[6] P. T. Moseley, C. K. Dyer i Z. Ogumi, »Encycloppedia of Electrochemical Power Sources,« Elsevier Science, 2009.

[7] »Samsung,« [Mrežno]. Available: https://www.samsungsdi.com/column/technology/detail/55272.html. [Pokušaj pristupa 26 5 2022].

[8] F. Torabi i P. Ahmadi, »Simulation of Battery System: Foundamentals and applications,« Academic Press, 2019.

[9] »ScienceDirect,« 21 8 2020. [Mrežno]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004220305356. [Pokušaj pristupa 28 5 2022].

[10] A. Clemente i G. A. Ramos, »MDPI,« 24 9 2020. [Mrežno]. Available: https://www.mdpi.com/2079-9292/9/10/1567. [Pokušaj pristupa 2 6 2022].

[11] A. Bito, »SEMANTIC SCHOLAR,« 12 6 2005. [Mrežno]. Available: https://www.semanticscholar.org/paper/Overview-of-the-sodium-sulfur-battery-for-the-IEEE-Bito/d813e3c071fd448d2e4bd6447d048baf6acb7a11. [Pokušaj pristupa 3 6 2022].

[12] I. Mexis, »ResearchGate,« 7 2020. [Mrežno]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Sodium-nickel-chloride-battery_fig2_342929492. [Pokušaj pristupa 3 6 2022].

[13] E. Davidson i R. Reddy, »Intechopen,« 27 8 2021. [Mrežno]. Available: https://www.intechopen.com/chapters/78294. [Pokušaj pristupa 25 7 2022].

[14] »SolarReviews,« 29 12 2021. [Mrežno]. Available: https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels. [Pokušaj pristupa 25 7 2022].