

BATERIJE BUDUĆNOSTI: TEHNOLOŠKE INOVACIJE U KONTEKSTU ZELENE TRANZICIJE / BATTERIES OF THE FUTURE: TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN THE CONTEXT OF THE GREEN TRANSITION

Hamza Šehović¹, Bekir Fulan¹, Anel Ikanović², Semir Nurkić³

¹IUT, Fakultet politehničkih nauka Travnik, Aleja Konzula – Meljanac bb, 72270 Travnik, BiH

²RMU “Banovići” d.d Banovići, BiH

³JU MSŠ Banovići, Banovići, BiH

e-mail: hamza.sehovic@gmail.com, bekir.fulan@gmail.com, anel.ikanovic@hotmail.com,
semir.nurkic.ing@gmail.com

Pregledni članak

<https://www.doi.org/10.58952/zr20251401069>

UDK / UDC 621.35:620.9:504.05

Sažetak

Element koji se široko primjenjuje kod upotrebe električne energije je u svakom slučaju baterija. Baterija kao element, koji smješta višak energije za kasniju upotrebu, našla je svoj pravi smisao u novije doba. Razvojem električnih automobila a posebno razvojem novih izvora električne energije. I u jednom i u drugom primjeru zahtijevaju se baterije koje imaju veoma veliki kapacitet, odnosno koje mogu apsorbovati pa potom vratiti veliku količinu apsorbirane energije. Na ovaj način se kod električnih automobila ostvaruje prvi zahtjev a to je domet vožnje. Drugi zahtjev, nije nimalo jednostavniji, odnosi se na brzinu prihvatanja skladištenja energije. Oba ova zahtjeva su prisutna kod bilo koje upotrebe baterija u današnje doba. Zbog tog je nauka pristupila dizajniranju novih tipova baterija, koji se u potpunosti razlikuju od tradicionalno korištenog tip olovne baterije. Više puta umnoženi kapaciteti novih baterija i njihove realne mogućnosti su stvorile “zvijeri” sa kojima se treba znati ponašati i koje treba znati upravljati. U današnje doba upravljanje se prepušta čipovima, odnosno računarima, tako da običan korisnik i ne vidi gore pomenute probleme.

Ključne riječi: baterije, inovacije, tehnologije

JEL klasifikacija: Q33, Q55 i Q42

Abstract

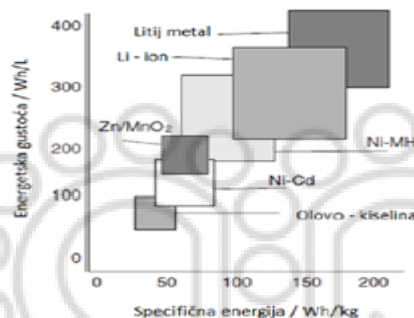
The element that is widely used in the use of electricity is in any case the battery. The battery as an element that stores excess energy for later use has found its true meaning in recent times. With the development of electric cars and especially the development of new sources of electricity. In both cases, batteries with a very large capacity are required, that is, which can absorb and then return a large amount of absorbed energy. In this way, the first requirement is achieved for electric cars, which is the driving range. The second requirement, which is not at all simpler, refers to the speed of accepting energy storage. Both of these requirements are present in any use of batteries today. Because of this, science has begun to design new types of batteries, which are completely different from the traditionally used type of lead battery. The many times multiplied capacities of new batteries and their real capabilities have created “beasts” that need to be known to behave and which need to be known to be managed. Nowadays, management is left to chips, or computers, so that the ordinary user does not even see the problems mentioned above.

Keywords: batteries, innovations, technologies

JEL classification: Q33, Q55 i Q42

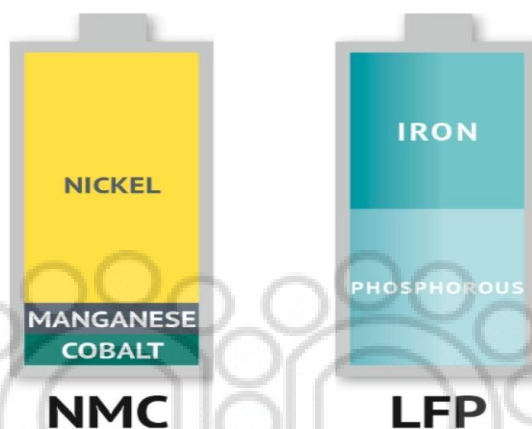
UVOD

Nagli razvoj baterija za skladištenje električne energije doveo je do zasićenosti tržišta informacijama, tako da i čovjek koji prati ovu tematiku ne može reći šta se zbiva. Taj skokoviti razvoj se najbolje vidi na sljedećoj slici:



Slika 1. Prikaz razvoja baterija sa njihovim glavnim karakteristikama

Dakle polazeći od olovne baterije kao osnove koja je jako raširena u upotrebi, vide se nevjerovatne razlike u povećanju energetske gustoće i specifične energije novih baterija. Ta povećanja su višestruka, a sam razvoj je koristio razne vrste spojeva, materijala i hemijskih rastvora dok se danas nije došlo da spojevi sa litijumom daju najbolje performanse. Dva navedena uslova visokog kapaciteta i brzog punjenja, u ovom trenutku jedino zadovoljavaju baterije koje su izrađene na bazi litijuma. U današnje doba su se iskristalisala dva tipa baterija koja su najprihvatljivija i koja najbolje zadovoljavaju gore navedene uslove, a to su LFP i NMC baterija. Pored ova dva uslova treba napomenuti i sljedeće, da je broj ciklusa punjenja kod ovih baterija povećan sa 500 – 800 kod olovnih baterija na cca 3.000 kod litijum - jonskih baterija, što se direktno odrazilo na životni vijek baterije. Osim gore pomenutog, jedana od važnih činjenica je skladištenje litijum - jonskih baterija, koje se može obaviti bez problema i ako su one ispražnjene, što nije bio slučaj kod olovnih baterija, koje bi u tom slučaju bile uništene. Razlog je takozvano “curenje” baterije koje u vrlo kratkom vremenu olovnu bateriju dovodi do “dubokog” pražnjenja, odnosno uništenja, što nije slučaj kod litijum - jonskih baterija. Kod ovih baterija preporuka je da se skladištenje baterije i njen transport obavlja u ispražnjenom stanju (cca 35% kapaciteta). Zbog sigurnosnih razloga ove baterije se u zadnje vrijeme opremaju elektronikom koja prati stanje baterije i može da upozori ako je to potrebno. Inače treba napomenuti da su sve baterije dosta osjetljive na temperaturu prilikom upotrebe a specijalno kod skladištenja. Litijeve baterije su osjetljive i na temperaturu prilikom punjenja, zbog prihvatanja velike količine energije kod “brzog” punjenja, pa su NMC baterije danas opremljene sistemom ventilatora kojim se održava temperatura baterije. Kod ovih baterije, prilikom punjenja, temperatura baterije ne bi trebala da pređe vrijednost od 35 °C. U našim krajevima, posebno u ljetnom periodu temperatura okoline tokom sunčanog dana prelazi pomenutu vrijednost, pa bi se u tom smislu trebalo izbjegavati “brzo” punjenje ovih baterija u tom periodu. “Brzo” punjenje bi se trebalo obavljati u noćnim satima ili ako je potrebna energija onda puniti samo djelimično, da se ne pregrije baterija, čime se utiče na životni vijek baterije. Lagana punjenja u principu se mogu obavljati ali baterija ne bi trebala biti izložena suncu. Danas tehnološki najrazvijenija i najupotrebljavanija su dva tipa baterija LFP i NMC. Zbog svojih prednosti veoma su zastupljeni u današnjoj industriji, kod električnih vozila a posebno bi se trebala napomenuti njihova primjena u skladištenju električne energije kod obnovljivih izvora.



Slika 2. Slikovni odnos procenta učešća pojedinih elemenata u litijum – jonskoj bateriji

1. OSNOVNE PERFORMANSE I SVOJSTVA BATERIJE

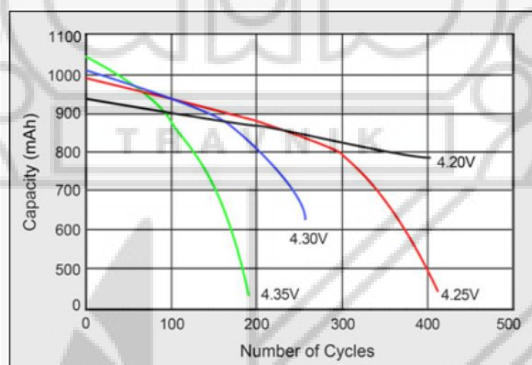
- Specifična energija - Jedinica izražavanja je Wh/kg je jedna od bitnih jedinica kod odabira adekvatne baterija. Ako se želi velika snaga baterije onda se lako može doći i do težine baterija. Pa u slučaju da se radi o automobilima jako je bitno, zbog potrošnje energije smanjiti ukupnu težinu automobila. Težina baterije u električnim automobilima nije zanemariva, pa se zahtjeva i pojačana konstrukcija za nošenje baterije, tako da ne rijetko ukupna težina manjeg automobila dostiže težinu od 2000 kg.
- Energetska gustoća - Jedinica izražavanja je Wh/l čime se direktno definišu gabariti potrebne baterije. Ako je smještaj baterije u neki stambeni objekat, to sigurno neće biti problem. Međutim ako bateriju treba smjestiti u automobil tako da se ostavi slobodnog prostora za putnike, situacija se mijenja.
- Napon baterije - Jedinica za izražavanje napona baterije je V. Prema izabranim komponentama se definiše potrebni napon ili se moraju dograditi sklopovi za prilagođenje napona i struje.
- Specifična snaga - Ova osobina se izražava jedinicom W/kg, i definiše mogućnost baterije da obavi zahtjevani rad.
- C – factor - Daje nam informaciju kojom brzinom baterija može isprazniti/napuniti kompletan svoj kapacitet. Na primjer 1C nam označava brzinu pražnjenja baterije za jedan sat, a 2C brzinu pražnjenja baterije za pola sata.
- Cijena baterije - Jedan od najbitnijih faktora je cijena baterije. U cijenu baterije treba računati ulaznu cijenu baterije, održavanje baterije i vijek trajanja iste.
- Dug život - Dug život baterije je direktno vezan sa brojem ciklusa punjenja. Litijum – jonske baterije imaju nesumljivo najveći broj ciklusa, ali treba biti oprezan da se ta prednost ne uništi nestručnim rukovanjem.
- Sigurnost - Sigurnost da ne dođe do zapaljenja baterije je danas postignuta tehnološkim napretkom u konstrukciji same baterije. Kod NMC baterija postoji i dodatni sistem zaštite, tako da se ove baterije svrstavaju u sigurne elemente.
- Široki radni opseg - Baterije najbolje rade na sobnoj temperature, ali LFP baterije su tako napravljene da mogu raditi u širokom rasponu temperatura.
- Toksičnost - Baterije NMC mogu imati veliki uticaj na ekologiju ako se ne odlažu pravilno. Razlog je postojanje teških metala u sastavu katode ovog tipa baterije. LFP može imati mnogo blaži uticaj.

2. LFP BATERIJA

Ova baterija spada u veliku familiju litijum-jonskih baterija. Njena specifičnost je da joj je katoda izrađena od litijum-željeznog fosfata. Prvenstvena namjena je u industriji i skladištenju viška električne energije posebno kod obnovljivih izvora energije. Koriste se i u automobilske industriji ali prvenstveno za autobuski saobraćaj, a rijede kod malih električnih automobila.

2.1 PREDNOSTI

- **Duži životni vijek:** Od svih litijum – jonskih baterija LFP baterije imaju najduži životni vijek. Broj ciklusa ove baterije se broji u hiljadama, zbog čega spadaju u jednu od najisplativijih vrsta baterija. Obzirom da se koriste za skladištenje energije u industriji, treba biti oprezan sa naponom punjenja. U slučaju da dođe i do relativno malog povećanja napona punjenja to će jako uticati na životni vijek baterije, što se vidi sa dijagrama:



Slika 3. Uticaj napona punjenja na smanjenje broja ciklusa punjenja

- **Povećana sigurnost:** Saglasno svojoj konstrukciji LFP baterije posjeduju karakteristiku visoke termičke stabilnosti, čime je smanjen rizik od pregrijavanja i zapaljenja.
- **Mogućnosti brzog punjenja:** LFP baterije dozvoljavaju brza punjenja bilo da se radi o skladištenju viška energije ili da se radi o aplikacijama koje se koriste kod električnih automobila.
- **Širok raspon radnih temperatura:** Posljedica posjedovanja karakteristike visoke termičke stabilnosti omogućuje ovim baterijama da se koriste u širokom rasponu temperatura okoline.
- **Ekološka prihvatljivost:** Baterije LFP su ekološki prihvatljivije jer ne sadrže kobalt, ali se i one moraju pravilno skladištiti da ne dođe do neželjenih problema.

2.2 NEDOSTACI

- **Manja gustina energije:** Ovo znači da LFP baterija može pohraniti manje energije po litru zapremine u odnosu na većinu drugih baterija a posebno u odnosu na NMC bateriju. Samim tim su povećani gabariti baterije u odnosu na NMC bateriju "istih" električnih karakteristika.
- **Smanjena specifična snaga:** Već je napomenuto da ove baterije mogu brzo pohraniti veliku količinu električne energije, ali je problem što ne mogu izvršiti brzo oslobađanje pohranjene energije, tako da neke posebne zahtjeve kod automobilske industrije ne mogu da zadovolje.
- **Ograničena dostupnost:** Dostupnost je direktna posljedica cijene, koja je posljedica tehnologije proizvodnje. Nadamo se da će poboljšanja u tehnologiji dovesti do masovnije upotrebe.

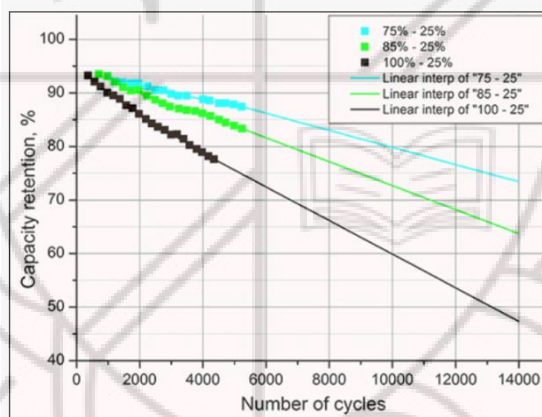
- **Veća veličina i težina:** Već je napomenuto da LFP baterije su veće gabaritima od NMC baterije, što samim tim uslovljava i povećanje težine, a što je u svakom slučaju problem kod nestacionarnih baterija. Povećani gabariti dovode do problema u aplikacijama gdje se ima ograničen prostor.
- **Ograničenja napona:** Izlazni napon ćelije LFP baterije se razlikuje od iznosa većine izlaznih napona drugih litijum – jonskih ćelija, što im ograničava širu upotrebu, zbog potreba prilagođavanja.

3. NMC BATERIJA

NMC je takođe jedna od baterija iz familije litijum-jonskih baterija. Kod ove baterije se za izgradnju katode koriste nikl, mangan i kobalt, u određenom procentualnom iznosu od koga zavise karakteristike baterije. Prvenstvena namjena ovih baterija je kod električnih vozila, pametnih telefona, laptopa, medicinske opreme, odnosno svugdje gdje je potrebna velika snaga s tim da gabariti baterije budu što je moguće manji. Sličan problem je i kod satelitske tehnike.

3.1 PREDNOSTI

- **Visoka gustoća energije:** Glavna odlika NMC baterije je visoka gustoća energije odnosno da se u gabaritno malu bateriju može pohraniti velika količina energije.
- **Produžen životni vijek:** Dug životni vijek je druga bitna karakteristika NMC baterije. Pravilnom upotrebom može da zadovolji veliki broj aplikacija koje se odnose na punjenja ili pražnjenja. Uticaj pražnjenja litijum – jonskih baterija na njihov životni vijek je prikazano na sljedećem dijagramu:



Slika 3. Uticaj pražnjenja baterije na njen životni vijek

Iz dijagrama se vidi da će baterija zadržati najduži vijek trajanja ako se održava u rasponu od 25 – 75% napunjenosti. Svako daljnje proširenje opsega će uticati na skraćanje životnog vijeka baterije.

- **Svestranost:** Obzirom na gore pomenute osobine, već danas je NMC baterija u širokoj upotrebi, od potrošačke elektronike pa do električnih automobila koji postavljaju izuzetno teške zahtjeve u pogledu energije.
- **Mogućnosti brzog punjenja:** NMC baterije je moguće brzo puniti a samim tim smanjiti vrijeme čekanja do ponovne upotrebe baterije, što povećava zadovoljstvo korisnika.
- **Poboljšana stabilnost:** Svakodnevno poboljšavanje tehnologije NMC baterije dovelo je do tog da ova baterija ima dobru termičku stabilnost, odnosno smanjenu mogućnost pregrijavanja, što nas ne oslobađa obaveze vođenja računa o sigurnosti.

3.2 NEDOSTACI:

- **Cijena:** Jedna od najskupljih litijum – jonskih baterija je NMC baterija. Njena cijena jako utiče na cijenu električnih automobile, ali napretkom tehnologije dolazi do opadanja cijene, tako da se očekuje da će u skorašnje vrijeme cijene električnih automobile postati pristupačnije.
- **Ograničeni životni vijek na visokim temperaturama:** Vijek trajanja NMC baterije je dug, ali na njega jako utiče nepravilno korištenje baterije. Osnovni problem čini izlaganje visokim temperaturama što uzrokuje visoka temperature okoline na koju se nepažnjom može dodati i temperature brzog punjenja baterije. Ovako povećana temperature će sigurno uticati na životni vijek NMC baterije.
- **Sigurnosni problemi:** Iako se NMC baterije općenito smatraju sigurnima, bilo je termičkih problema i sigurnosnih problema, prvenstveno kada su oštećene ili kada se sa njima nije pravilno radilo.
- **Uticaj na životnu sredinu:** U svom sastavu NMC baterija ima kobalt, koji jako utiče na okolinu ako se ne postupa pravilo sa skladištenjem ili reciklažom baterije.
- **Smanjenje napona:** Smanjenje napona NMC baterije neće dovesti do uništenja baterije, samo će dovesti do postepenog smanjenja kapaciteta i performansi.

4. KOJU BATERIJU ODABRATI LFP ILI NMC

Za pravilan odabir baterije potrebno je poznavati objekt sa svim njegovim karakteristikama, gdje će se primjeniti baterija. Kako se to radi date su osnovne smjernice:

Tabela 1. Uporedna analiza LFP i NMC litijum-jonskih baterija

		LFP	NMC
1	Vrsta aplikacije	• Skladištenje električne energije u industriji i kod solarnih elektrana • Dug životni vijek • Izdržljivost	• Prenosna elektronika • Laptopi • Električni automobili • Medicinska oprema • Satelitska oprema
2	Gabariti	• Veliki gabariti • Velika težina	• Manji gabariti • Manja težina
3	Cijena	• Relativno visoka	• Visoka
4	Potreba za snagom	• Ne trpe velika udarna opterećenja	• Predviđene su za velika udarna opterećenja
5	Uslovi okoline	• Mogu izdržati velike varijacije vanjske temperature	• Opremljene su ventilatorima za rješavanje problema visokih temperatura
6	Sigurnost	• Visoka sigurnost	• Opremljene su dodatnom opremom za ispunjavanje ovog uslova
7	Ekologija	• Potencijalno manje štetne	• Visoko rizične

U konačnici, izbor između LFP i NMC baterija ovisit će o balansiranju sigurnosti, energetske potrebe, troškova i ekoloških razmatranja za svaki specifični slučaj upotrebe.

ZAKLJUČAK

Cijena električnih automobila je danas dosta visoka u odnosu na cijenu konvencionalnih automobila sa unutrašnjim sagorijevanjem, na što utiče cijena baterije. Međutim tehnološki napredak u proizvodnji baterija dovodi i do smanjenja cijena baterija. Tako 2007 godine cijena baterije po kWh je iznosila 1.300 dolara, dok je 2012 godina pala na 300 dolara, a 2022 godine je dostigla cijenu od 125 dolara. Pad cijena baterija se već danas osjeti jer na ulicama imamo sve više električnih automobila sa jedne strane a sa druge strane imamo sve kvalitetniju električnu energiju iz obnovljivih izvora energije. Za ovu činjenicu trebamo zahvaliti sve većoj upotrebi baterija koje uspješno rješavaju problem propada kod obnovljivih izvora energije.

LITERATURA

- [1] <https://batteryuniversity.com/article/bu-603-how-to-calibrate-a-smart-battery#googlevignette>
- [2] <https://batteryuniversity.com/article/bu-808-how-to-prolong-lithium-based-batteries>
- [3] https://www.researchgate.net/publication/303890624_Modeling_of_Lithium-Ion_Battery_Degradation_for_Cell_Life_Assessment.
- [4] <https://batteryuniversity.com/article/bu-706-summary-of-dos-and-donts>
- [5] https://www.google.com/url?q=https://www.ufinebattery.com/blog/lfp-vs-nmc-battery-what-is-the-difference/&source=gmail&ust=1744796460725000&usg=AOvVaw3uoS_49sg8DnZgw46o0clP
- [6] <https://www.lithiumbatterytech.com/hr/exploring-pros-and-cons-of-lfp-batteries/>
- [7] Metikoš-Husković, Elektrohemija, Zagreb 2000.
- [8] Julien, C.; Mauger, A.; Vijh, A.; Zaghbi, K. Lithium Batteries: Science and Technology. 1st ed. Springer, 2016.