

# RAZVOJ BATERIJE I TRENDOMI PRIMJENE U SVAKODNEVNOM ŽIVOTU

---

**Spajić, Toni**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac  
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:874500>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-17**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied  
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PRIJEDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

TONI SPAJIĆ

**Razvoj baterije i trendovi primjene u  
svakodnevnom životu**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2023.

Karlovac University of Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering  
Professional study of Mechatronics

TONI SPAJIĆ

# **Development of the battery technology and usage trends**

Final paper

KARLOVAC, 2023.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PRIJEDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

TONI SPAJIĆ

**Razvoj baterije i trendovi primjene u  
svakodnevnom životu**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr. sc. Anamarija Kirin

KARLOVAC, 2023.



**VELEUČILIŠTE  
U KARLOVCU**  
Karlovac University  
of Applied Sciences

## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47-843-510  
Fax. +385 - (0)47-843-579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni/specijalistički studij: Mehatronika  
(označiti)

Usmjerenje: /

Karlovac, 2023.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Toni Spajić

Matični broj:

Naslov: Razvoj baterije i trendovi primjene u svakodnevnom životu

Opis zadatka:

U završnom radu opisati nastanak baterija, način rada i njihovu primjenu. Navesti vrste baterija i usporediti ih. Koristiti se stručnom literaturom, radnim materijalima, zakonima i pravilnicima, ostalom stručnom literaturom i konzultirati se s mentorom. Završni rad izraditi sukladno Pravilniku VUKA-e.

Zadatak zadan:  
07/23.

Rok predaje rada:  
09/23.

Predviđeni datum obrane:  
09/23.

Mentor:  
dr. sc. Anamarija Kirin

Predsjednik Ispitnog povjerenstva

## SAŽETAK

Tema ovog rada je razvoj baterije i trendovi primjene u svakodnevnom životu. Značajnost teme leži u tome što je baterija sve prisutnija u životu svakog čovjeka. Pogledamo li, svaki čovjek posjeduje bar pet uređaja koji imaju neku vrstu baterije. Inovatori svakodnevno stvaraju uređaje u kojima glavnu ulogu ima baterija. Može se reći da baterija ima značajnu povijest, ali još značajniju budućnost. Kroz poglavlja ćemo se upoznati s baterijom, kako je nastala, tko je njen začetnik, gdje se primjenjuje i zašto se sve više koristi. Navode se najpopularnije vrste baterija i opisuju prednosti i nedostaci pojedinih baterija. Također, prikazan je način rada i primjena danas.

Ključne riječi: baterija, razvoj baterije, alkalne, li-ion baterije, olovne baterije, Alessandro Volta, anoda, katoda, nikal-kadmij.

## **SUMMARY**

The topic of this final paper is the development of the battery and trends in its use in everyday life. The importance of the topic lies in the fact that the battery is increasingly present in the life of every person. If we look, every person owns at least five devices that have some kind of battery. Every day, innovators create devices in which the main role is played by the battery. It can be said that the battery has a significant history, but an even more significant future. Through the chapters, we will learn about the battery, how it was created, who is its originator, where it is used and why it is used more and more. The most popular types of batteries are listed and the advantages and disadvantages of individual batteries are described. Also, there is presented the mode of operation and application today.

Keywords: battery, battery development, alkaline, li-ion batteries, lead batteries, Alessandro Volta, anode, cathode, nickel-cadmium.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. POČETCI BATERIJE .....	2
3. VRSTE BATERIJA .....	5
4. PRINCIP RADA BATERIJE .....	8
5. OLOVNO-KISELINSKA BATERIJA .....	10
6. BATERIJE NA BAZI NIKLA .....	12
<b>6.1. Nikal-kadmij</b> .....	12
<b>6.2. Nikal-metal-hidrid</b> .....	13
7. LITIJ - IONSKA BATERIJA.....	15
<b>7.1. Dijelovi litij ionske baterije</b> .....	16
7.1.1. Katoda .....	17
7.1.2. Anoda .....	17
7.1.3. Elektrolit.....	18
7.1.4. Separator .....	18
<b>7.2. Li-ion baterije na tržištu</b> .....	19
8. USPOREDBA OLOVNE I LITIJ-IONSKE BATERIJE .....	22
9. ZAKLJUČAK.....	25
LITERATURA.....	26



## POPIS SLIKA

Slika 1. Bagdadska baterija [2] .....	2
Slika 2. Poprečni presjek bagdadske baterije i njene komponente [2] .....	2
Slika 3. Prva Voltina baterija [3] .....	3
Slika 4. Daniellov članak [4] .....	3
Slika 5. Prva punjiva baterija [5] .....	4
Slika 6. Primarne baterije najčešće korištene u kućanstvima [7] .....	5
Slika 7. Primjer sekundarnih baterija [8] .....	6
Slika 8. Shematski prikaz građe alkalne baterije i njen presjek [10] .....	9
Slika 9. Presjek olovne baterije, odnosno današnjeg automobilskog akumulatora [11].	11
Slika 10. NiCd baterije [13] .....	13
Slika 11. NiMH baterija [13] .....	14
Slika 12. Litij - ionska baterija [15] .....	16
Slika 13. Komponente litij ionske ćelije [15] .....	17
Slika 14. Prikaz potražnje Li-ion baterija na svjetskom tržištu [18] .....	19
Slika 15. Predviđena potražnja komponenti baterije [19] .....	20
Slika 16. Predviđeni rast kapaciteta baterija [19] .....	20
Slika 17. Predviđeni rast primjene baterija po branšama [19] .....	21
Slika 18. Iskoristivost energije iz olovnih i litij-ionskih baterija [20] .....	22
Slika 19. Olovna baterija u usporedbi s li-ion baterijom pri pražnjenju od 20 kWh [11].	23
Slika 20. Kapacitet olovne baterije ovisno o intenzitetu pražnjenja [20] .....	23
Slika 21. Kapacitet litij-ionske baterije ovisno o intenzitetu pražnjenja [20] .....	24
Slika 22. Ovisnost kapaciteta i napona o struji pražnjenja olovne i litij ionske baterije [20] .....	24

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Prednosti i ograničenja NiCd baterija [13].....	12
Tablica 2. Prednosti i ograničenja NiMH baterija [13].....	13

## 1. UVOD

Baterija je izum koji je promijenilo svijet. Iako ponekad toga nismo svjesni, baterije se nalaze svugdje oko nas. Sva tehnologija u sebi ima neku vrstu baterije. Danas ne možemo bez baterija pa je stoga od iznimne važnosti nastaviti istraživati i razvijati bateriju kako bi se poboljšala njihova energetska gustoća, trajnost, sigurnost i održivost. Tijekom 19. i 20. stoljeća, baterije su se neprestano poboljšavale. Razvijene su razne vrste baterija poput olovnih akumulatora, nikal-kadmijevih baterija, litij-ionskih baterija i mnogih drugih koje će se spomenuti u nastavku rada.

Danas postoji veliko iščekivanje da će tehnologija baterija napraviti još jedan skok s novim modelima koji će imati kapacitet za pohranjivanje energije generirane pomoću solarnih ili vjetroelektrana te mogućnost korištenja te energije u kućanstvima za svakodnevni život ili u poduzećima.

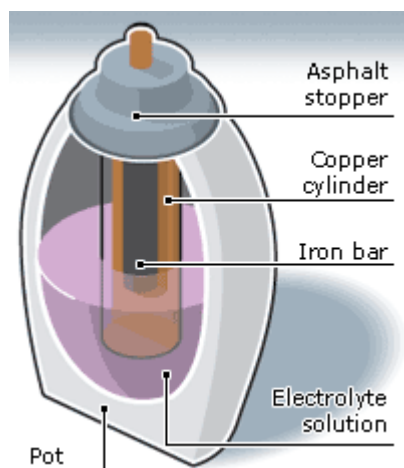
## 2. POČETCI BATERIJE

Baterije su danas toliko sveprisutne da su nam gotovo nevidljive. Ipak, one su imale važnu ulogu u prošlost, ali imat će je i u budućnosti. Baterija je uređaj koji pohranjuje kemijsku energiju i ona se pretvara u električnu energiju. Zapravo, baterije su mali kemijski reaktori, s reakcijom koja proizvodi energetske elektrone, spremne za protok kroz vanjski uređaj. [1]

Godine 1749. prvi put upotrijebljen je izraz baterija, kada je američki znanstvenik Benjamin Franklin izveo eksperiment s električnom koristeći skup povezanih kondenzatora. Međutim prema izvorima prva baterija datira oko 250 godina prije Krista i zove se „Bagdadska baterija“ (slika 1.). Bagdadska baterija naziv je za skup od tri artefakta koji su pronađeni zajedno: keramički lonac, bakrena cijev i željezna šipka (slika 2.). [2]



Slika 1. Bagdadska baterija [2]



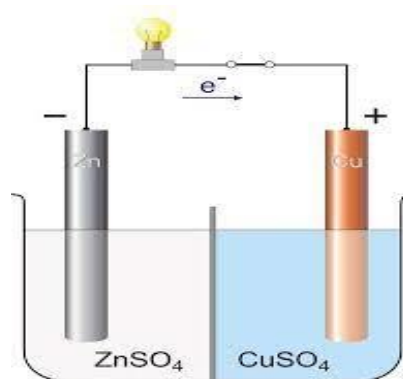
Slika 2. Poprečni presjek bagdadske baterije i njene komponente [2]

Godine 1800. talijanski fizičar Alessandro Volta izumio je prvu bateriju (slika 3.). Dobio ju je tako što je složio diskove od bakra (Cu) i cinka (Zn) međusobno odvojene tkaninom natopljenom slanom vodom. Žice spojene na bilo koji kraj snopa proizvodile su kontinuiranu stabilnu struju. Svaka ćelija (skup od Cu i Zn diska i slane vode) proizvodio je 0,76 Volta (V). Višekratnik ove vrijednosti dobiva se prema broju ćelija koje su naslagane zajedno. [3]



Slika 3. Prva Voltina baterija [3]

Nakon Voltine baterije, slijedili su daljnji razvoji u tehnologiji baterija. Michael Faraday je pridonio razumijevanju elektrokemije, a John Daniell je 1836. godine izumio Daniellov članak (slika 4.), koji je bio znatno pouzdaniji od Voltine baterije. [4]



Slika 4. Daniellov članak [4]

Godine 1859. godine, otkrivena je prva punjiva baterija (slika 5.) kojoj je glavna mana bila veličina i težina, izumio ju je Gaston Planté. Danas se takva baterija koristi kao akumulator današnjih automobila. Ujedno je to i najstariji primjerak punjive baterije. [5]



*Slika 5. Prva punjiva baterija [5]*

Današnje baterije dolaze u različitim veličinama. Male baterije nalazimo u satovima i sličnim uređajima, dok velike baterije služe za pohranjivanje energije solarnih elektrana ili trafostanica. Baterije su sastavljene od različitih kemikalija koje stvaraju napone u ćelijama uobičajenog raspona od 1,0 do 3,6V. Spajanjem ćelija u seriju povećava se napon, dok paralelan spoj ćelija povećava jakost struje. Napredak u tehnologiji baterija omogućio je njihovu primjenu u raznim područjima, poput elektronike u izradi prijenosnih uređaja, električnih vozila i obnovljive energije. [6]

### 3. VRSTE BATERIJA

Postoji više podjela baterija od kojih je jedna na primarne i sekundarne baterije. Primarne baterije (slika 6.) dizajnirane su da posluže za jednokratnu upotrebu i ne mogu se ponovno puniti, te nakon pražnjenja nije moguće obnoviti njihov kapacitet. Obnova kapaciteta tj. punjenje ovih baterija nije moguće jer kemijska reakcija unutar baterije nije dvosmjerna. Ukoliko ih pokušamo puniti, najčešće će se dogoditi da baterija eksplodira ili da se tekućina izlije iz baterije. Zbog toga se baterije bacaju i zamjenjuju novima. [7]

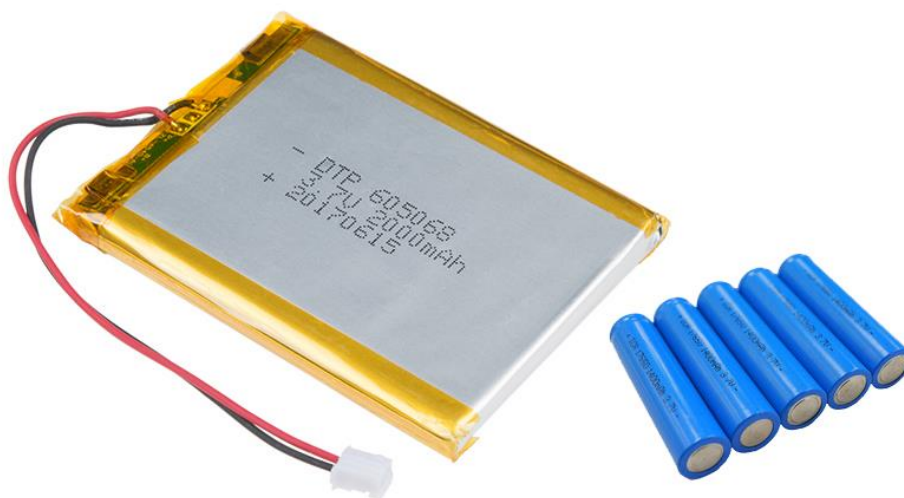
Neke od primarnih baterija su:

- Alkalne baterije: koriste alkalni elektrolit, obično kalijev hidroksid (KOH). Alkalne baterije pružaju stabilnu snagu i duže trajanje u odnosu na neke druge primarne baterije. Nama poznatije po oznakama; AA (R6), AAA (R03), C (R14), D (R20) baterije.
- Cink-karbon baterije: jeftinije su od alkalnih baterija, ali imaju manji kapacitet. Često se koriste u uređajima s niskom potrošnjom energije, kao što su daljinski upravljači, ručne svjetiljke, igračke i slično.
- Srebro-oksud baterije: vrlo su pouzdane i često se koriste u medicinskim uređajima, satovima i drugim aplikacijama koje zahtijevaju dugotrajno napajanje.
- Cink-živine baterije: poznate kao živin-oksud baterije, koriste amalgam cink i živu. Ove baterije imaju visoku energetska gustoću i koriste se u područjima za fotografiju, svjetlosnim indikatorima i medicinskoj opremi. [7]



Slika 6. Primarne baterije najčešće korištene u kućanstvima [7]

Sekundarne baterije (slika 7.), odnosno punjive baterije, dizajnirane su da se mogu puniti te koristiti više puta. Nakon pražnjenja, povezivanjem na izvor napajanja obnavlja se njen kapacitet za pohranu električne energije. Prednost sekundarnih baterija je ponovno punjenje koje smanjuje potrebu za stalnom zamjenom baterija i štedi resurse. Prilikom punjenja kemijski spojevi u anodi i katodi se obnavljaju, a električna energija se pohranjuje. U ovom radu bazirat ćemo se na sekundarnim baterijama zbog sveobuhvatne primjene i budućnosti koju nam nude. [7]



Slika 7. Primjer sekundarnih baterija [8]

Neke od sekundarnih baterija su:

- Litij-ionske baterije: vrlo su popularne i sa širokim poljem primjene, uključujući pametne telefone, prijenosna računala, električne automobile itd. Glavne prednosti su visoka gustoća energije, dug vijek trajanja i niska stopa pražnjenja.
- Nikal-kadmij baterije (NiCd): imaju manju gustoću energije od litij-ionskih baterija, i prednost im je u sposobnosti pražnjenja i izdržljivosti. Zbog njihovog sastava, upotreba im je sve manja zbog toksičnosti kadmija.
- Nikal-metal-hidrid baterije (NiMH): unaprijeđena su verzija NiCd baterija jer imaju veću gustoću energije i smanjen negativan utjecaj na okoliš. Koristimo ih u prijenosnim elektronskim uređajima, električnim alatima, hibridnim automobilima itd.



- Litij-polimerne baterije (Li-Po): Litij-polimerne baterije su slične litij-ionskim baterijama, ali imaju fleksibilno kućište. Današnja svakodnevna upotreba je u mobilnim uređajima, bežičnim slušalicama, dronovima, električnim biciklima, itd.
- Olovno-kiselinske baterije: još poznatije kao akumulatori, punjive su baterije koje se najčešće koriste u vozilima s unutarnjim izgaranjem. Specifične su zbog sposobnosti pružanja visoke struje te niskih cijena zbog čega su široko rasprostranjene.
- Litij-željezo-fosfat baterije (LiFePO<sub>4</sub>): ističu se po svojoj pouzdanosti, dugom vijeku trajanja i stabilnosti. Koriste se u industriji za sigurnosne sustave, električne automobile, viličare, električne bicikle, itd. [8]

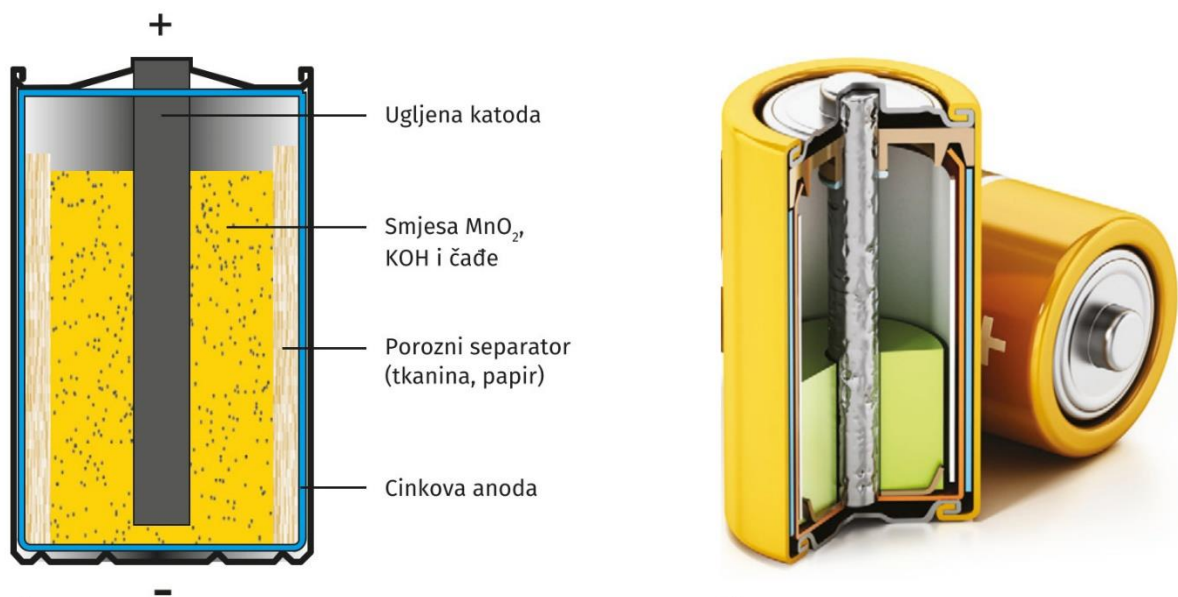
## 4. PRINCIP RADA BATERIJE

Da bismo mogli razumjeti kako bateriju, potrebno je najprije objasniti kako funkcionira elektricitet. Prvo, elektricitet je protok elektrona u krugu. Baterije mogu pružiti silu guranja koja pomiče elektrone kroz krug. Elektroni se žele vratiti svom izvoru i oni će odmah krenuti bilo kojim mogućim putem da to postignu. Baterije proizvode istosmjernu struju, što znači da elektroni teku samo u jednom smjeru: od negativnog prema pozitivnom polu. Električna energija koju dobivamo iz utičnica u svojim domovima daje izmjeničnu struju i drugačije je od električne energije koju daje baterija. S izmjeničnom strujom, elektroni kontinuirano teku naprijed i natrag. Ako pogledamo dio bakrene žice, unutar žice, nalazimo atome bakra. U središtu atoma imamo protone i neutrone. Protoni su pozitivno nabijeni, a neutroni su neutralni, dakle nemaju naboj. Oko njih kruže elektroni. Elektroni su negativno nabijeni. Neki od tih elektrona mogu se slobodno kretati prema drugim atomima. Oni će se prirodno kretati između drugih atoma, ali u nasumičnim smjerovima. Međutim potrebni su nam elektroni koji se kreću u istom smjeru, a njih ćemo dobiti osiguravanjem razlike napona tako što ćemo dodati novi izvor energije kao što je baterija. [9]

Ion je atom koji ima nejednak broj elektrona i protona. Atom ima neutralan naboj kada ima isti broj protona i elektrona jer su protoni pozitivno nabijeni, a elektroni negativno nabijeni, pa su u ravnoteži. Ako atom ima više elektrona nego protona, onda je to negativan ion i obrnuto. Kada je u pitanju napon, koristimo se voltmetrom za mjerenje razlike napona između dvije različite točke. Ako mjerimo razliku preko baterije, dobit ćemo 1,5 V. Ali ako bismo mjerili isti kraj, onda bi dobili 0 V i u tom slučaju nema razlike. [9]

S obzirom na prethodno objašnjenje elektriciteta i kemijskih reakcija možemo reći da je baterija uređaj koji se koristi za pohranjivanje energije za kasniju upotrebu kada nam zatreba. Koristimo baterije za napajanje malih električnih uređaja kao što je svjetiljka, mobitel, laptop. Energija se pohranjuje kao kemijska energija i može se pretvoriti u električnu energiju kada nam je potrebna. Baterija se sastoji od tri dijela, a to su anoda (-), katoda (+) i elektrolit. Ako pogledamo jednostavan krug baterije i žarulje, potrebno nam je puno elektrona koji će protjecati kroz nju. Baterija će osigurati potisnu silu koja omogućuje protok elektrona kroz žarulju. Potrebno je povezati bateriju u strujni krug njenim pozitivnim i negativnim polovima. Baterija može potiskivati elektrone samo određeno vrijeme, iako to vrijeme ovisi o tome koliko je energije pohranjeno unutar baterije i koliko je opterećena. Kada govorimo o opterećenju u električnom krugu, mislimo

na bilo koju komponentu koja zahtijeva električnu energiju za rad. To mogu biti otpornici, LED diode ili istosmjerni motori. Neke se baterije mogu ponovno puniti, ali tipična alkalna baterija u kućanstvu ne može. Na slici 8. prikazan je shematski prikaz i poprečni presjek alkalne baterije. Baterija obično ima plastični omot koji izolira bateriju. Također reći će nam važne informacije kao što su kapacitet i napon te koji je kraj pozitivan, a koji negativan. Pozitivan kraj je poznat kao katoda i imaće proširenu površinu koja strši prema van. Negativan kraj je poznat kao anoda. Ova dva terminala su međusobno električno izolirana. Ispod omota nalazimo glavno kućište koje je obično izrađeno od čelika i presvučeno je niklom. Ono drži sve unutarnje komponente na mjestu i sprječava njihovu interakciju s elementima atmosfere kao što su zrak i voda. Unutar kućišta imamo više slojeva različitih materijala. Ti materijali su posebno odabrani jer njihove kemijske reakcije stvaraju određene razine napona i struje. [10]



Slika 8. Shematski prikaz građe alkalne baterije i njen presjek [10]

## 5. OLOVNO-KISELINSKA BATERIJA

Olovna kiselina jedna je od najstarijih i najčešće korištenih kemijskih resursa za pohranu energije danas. Olovno-kiselinska baterija je pouzdana baterija, ali pati od kratkog životnog ciklusa postižući samo 300–500 ciklusa u standardnoj olovno-kiselinskoj bateriji. Olovne baterije dobile su svoje ime po kombinaciji olovnih ploča koje čine anodu i katodu te elektrolita, sumporne kiseline u koji su uronjene. Danas je olovno-kiselinska baterija, zbog svoje velike snage, standardna baterija koja se koristi za pokretanje motora, osvjetljenje ili paljenje. Rana električna vozila također su koristila olovnu kiselinu jer je to bila najdostupnija i najjeftinija baterija na tržištu. Olovna kiselina također se često koristi u rezervnim stacionarnim energetske aplikacijama gdje težina i veličina nisu problem, a cijena je izuzetno važna. Olovni akumulator (slika 9.) sastoji se od skupine olovnih ploča ili olovnih rešetki koje su obložene pastom od crvenog olova i sumporne kiseline. Ploče se zatim spajaju u seriju i uranjaju u otopinu kiseline koja djeluje kao elektrolit. Pozitivne ploče su tipično izrađene od olovnog dioksida, dok su negativne ploče izrađene od "spužvastog" olova. Pločasti ili rešetkasti oblici određuju materijal poput antimona, kositra, kalcija ili selena za olovnu masu kako bi poboljšali proizvodni proces i kvalitetu. Time se dodala snaga povijesno slabim strukturama olovnih ploča. Ploče su najčešće odvojene plastičnim pregradom za odvajanje pozitivnih od negativnih ploča kako bi se spriječio kratki spoj. Obično postoji neparan broj ploča i svaka druga ploča je spojena u seriju. Jedna polovica čini pozitivni pol (katoda), a ostatak ploča čini negativni pol (anode).

[11]

Aktivni materijal u pločama (olovo) apsorbira sumpor iz kiselog elektrolita tijekom pražnjenja, a zatim se sumpor vraća u elektrolit kada se baterija puni. Tijekom vremena ovaj proces ima tendenciju uzrokovati ljuštenje aktivnog materijala na pločama i nakupljanje na dnu baterije. Takav proces ograničava vijek trajanja tradicionalnih olovnih baterija. Zbog toga je većina olovnih baterija dizajnirana s dodatnim prostorom na dnu ćelija za skupljanje oljuštenog materijala kako bi se spriječio slučajni kratki spoj između anoda. Drugi izazov s tradicionalnom olovnom kiselinom je stvaranje plina do kojeg dolazi kada kiselina reagira s olovom. Stvaranje plina dovodi do potrebe za čestim testiranjem elektrolita i potrebu za servisiranjem i ponovnim punjenjem baterije. Druga vrsta olovno-kiselinske baterije koja je u novije vrijeme uvedena na tržište je olovno-kiselinska baterija s apsorbiranim staklom (AGM). Glavna razlika između tradicionalne olovne kiseline i AGM je što se u AGM bateriji koristi spužvasti separator od staklo-plastike za zadržavanje

elektrolita. Time se izbjeglo potapanje olovnih ploča u sumporni tekući elektrolit. Na taj način se smanjuje mogućnost curenja i prolijevanja kiselih elektrolita. AGM se stoga može "zapečatiti" jer se plinovi ponovno apsorbiraju u podlogu od staklo-plastike. A kako su zabrtvljene, nema potrebe za servisiranjem baterija. AGM baterija spada u kategoriju ventilski reguliranih olovnih baterija (VRLA). Sve baterije u ovoj kategoriji su zapečaćene i mogu rekombinirati plinove natrag u elektrolite. Ova kategorija olovno-kiselinskih baterija također se često naziva zabrtvljenima ili bez održavanja. [11]



Slika 9. Presjek olovne baterije, odnosno današnjeg automobilskog akumulatora [11]

## 6. BATERIJE NA BAZI NIKLA

Tijekom 50-ih godina prošlog stoljeća prijenosni uređaji skoro u potpunosti su se oslanjali na nikal-kadmij (NiCd). Nešto kasnije, 1990-ih nikal-metal-hidrid (NiMH) preuzima vladavinu. Došlo je do zamjene zbog ekoloških propisa i toksičnosti NiCd, a danas se koristi samo za posebne primjene. [6]

### 6.1. Nikal-kadmij

Nikal-kadmijevu (NiCd) bateriju (slika 10.) izumio je 1899. godine švedski izumitelj Waldemar Jungner. Pripada prvoj generaciji punjivih baterija, a njena tehnološka rješenja bila su dobra osnova svim ostalim vrstama. Dugi niz godina ova vrsta baterije korištena je za dvosmjerne radio uređaje, medicinsku opremu i video kamere. Svoje uspjehe ostvaruje zbog visokog unutarnjeg otpora te je postala jedna od najizdržljivijih i najotpornijih baterija. Učinak pamćenja dovodi do gubitka kapaciteta ovih baterija te im je potrebno omogućiti povremene cikluse pražnjenja. [12]

Tablica 1. Prednosti i ograničenja NiCd baterija [13]

Prednosti	Robustan, velik broj ciklusa uz pravilno održavanje
	Jedina baterija koja se može puniti iznimno brzo uz mala naprezanja
	Dugi vijek trajanja; mogu se skladištiti u ispražnjenom stanju
	Jednostavno skladištenje
	Cijena
	Dobre performanse na niskim temperaturama
	Dostupne u različitim veličinama i izvedbama
Nedostatci	Relativno niska specifična energija u usporedbi s novijim sustavima
	Učinak pamćenja; potrebno je periodično potpuno isprazniti bateriju
	Kadmij je toksičan metal
	Složen postupak zbrinjavanja baterije
	Visoko samopražnjenje; potrebno ponovno punjenje nakon skladištenja
	Napon ćelije 1,20 V; zahtijeva puno ćelija za postizanje visokog napona



Slika 10. NiCd baterije [13]

## 6.2. Nikal-metal-hidrid

Istraživanja nikal-metal-hidrida (NiMH) počela su 1967. godine. Danas NiMH (slika 11.) daje 40% višu specifičnu energiju od standarda NiCd, ali je ipak osjetljivija i teža za punjenje. [13]

Ovom vrstom baterije proizvođači nastoje potrošače privući i povećati korištenje punjivih baterija u odnosu na alkalne baterije, zbog toga ih proizvode u AA i AAA veličinama. Zbog visokog nivoa samopražnjenja ova vrsta baterije potrošačima se pokazuje kao loš izbor. Nakon par tjedana uređaj bi bio kompletno ispražnjen. [13]

Tablica 2. Prednosti i ograničenja NiMH baterija [13]

Prednosti	30-40% veći kapacitet od standardnih NiCd
	Manje sklona pamćenju za razliku od NiCd
	Jednostavno skladištenje i transport; ne podliježe strogim regulativama
	Ekološki prihvatljiv; sadrži samo blage toksine
	Sadržaj nikla čini recikliranje isplativim
	Širok temperaturni raspon
Nedostatci	Ograničeni vijek trajanja; preveliko pražnjenje smanjuje vijek trajanja
	Zahijeva složeni algoritam punjenja
	Osjetljiva na preopterećenja
	Stvara veliku temperaturu tijekom brzog punjenja i pražnjenja
	Visoko samopražnjenje
	Kulonova učinkovitost samo oko 65% (99% s Li-ionom)
	Ne apsorbira dobro opterećenja



Slika 11. NiMH baterija [13]



## 7. LITIJ - IONSKA BATERIJA

Od baterija se zahtijeva što duži životni vijek, puno ciklusa punjenja i u konačnici brzo punjenje. Zbog toga na svakom koraku susrećemo litij-ionske baterije (slika 12.). Iako ih možda fizički ne vidimo, skrivene su u uređajima naše svakodnevice. Njihova napredna tehnologija koristi litijeve ione kao glavnu komponentu. Litijevi ioni prelaze s negativne elektrode na pozitivnu i obrnuto tokom punjenja. One dolaze u raznim oblicima, a najčešće smo ih mogli vidjeti u mobilnim telefonima kod kojih su se baterije mogle odstraniti. [14]

Kemijski sastav, performanse, cijena i sigurnosne karakteristike razlikuju se od vrste litij-ionskih baterija. Većina Li-ion ćelija koristi interkalacijske spojeve kao aktivne materijale. Anoda ili negativna elektroda najčešće je grafit, dok se sve više koristi i silicij-ugljik. Ćelije se mogu proizvesti tako da daju prioritet gustoći energije ili snage. [15]

Ručna elektronika uglavnom koristi litij polimer baterije (s polimernim gelom kao elektrolitom), litij kobalt oksid ( $\text{LiCoO}_2$ ) za katodu i grafitne anode, koji zajedno nude visoku gustoću energije. Litij željezo fosfat ( $\text{LiFePO}_4$ ), litij mangan oksid i litij nikal mangan kobalt oksid ( $\text{LiNiMnCoO}_2$  ili NMC) mogu ponuditi dulje živote i mogu imati bolju brzinu. [15]

Litij-ionske baterije mogu predstavljati sigurnosnu opasnost ako nisu pravilno projektirane i proizvedene. Ćelije imaju zapaljive elektrolite i u slučaju da su oštećene ili neispravno napunjene mogu dovesti do eksplozija i požara. Velik je napredak postignut u razvoju i proizvodnji sigurnih litij-ionskih baterija. Litij-ionske potpuno čvrste baterije se razvijaju kako bi se uklonio zapaljivi elektrolit. Npropisnim recikliranjem baterije može se stvoriti otrovni otpad i velika mogućnost opasnosti od požara. [15]



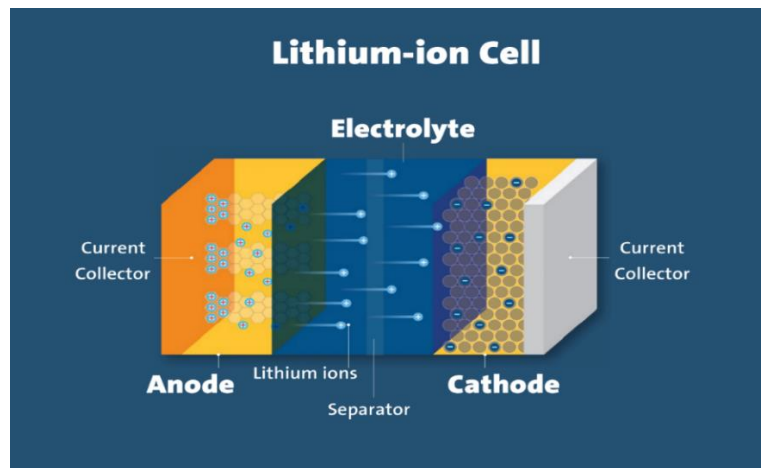
Slika 12. Litij - ionska baterija [15]

### 7.1. Dijelovi litij ionske baterije

Svaka baterija napravljena je od pet elemenata koji su navedeni i objašnjeni u ovom poglavlju. U nastavku su opisani dijelovi baterija s naglaskom na litij ionske baterije (slika 12.).

Dijelovi su:

- Katoda – pozitivna elektroda;
- Anoda – negativna elektroda;
- Elektrolit – tekućina koja provodi elektricitet;
- Separator – odvaja dvije elektrode ali ipak propušta litijeve ione da prelaze s jedne na drugu stranu
- Sakupljači struje – Vodljivi elementi koji se nalaze na krajevima dviju elektroda i koje prenose električnu struju između baterije i potrošača/izvora napajanja [15]



Slika 13. Komponente litij ionske ćelije [15]

### 7.1.1. Katoda

Katodni materijali općenito su izrađeni od litija. Katode na bazi kobalta  $\text{LiCoO}_2$  idealne su zbog visokog kapaciteta naboja, visokog napona pražnjenja, volumetrijskog kapaciteta i niskog samopražnjenja. Neka ograničenja su visoka cijena materijala, niska toplinska stabilnost i toksičnost. [16]

Manganove katode  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  su atraktivne jer je mangan jeftiniji. Mogao bi se koristiti za izradu učinkovitije i dugotrajnije baterije ako bi se savladala njegova ograničenja. Ograničenja uključuju tendenciju otapanja mangana u elektrolitu tijekom ciklusa što dovodi do loše stabilnosti katode, odnosno pad kapaciteta baterije. [16]

Najčešće su katode na bazi kobalta, ali istražuju se i drugi materijali s ciljem snižavanja troškova i poboljšanja životnog vijeka ćelija. [16]

### 7.1.2. Anoda

Negativne elektrode tradicionalno se izrađuju od grafita i drugih ugljičnih materijala iako se sve više koriste noviji materijali na bazi silicija. U 2016. godini 89% litij-ionskih baterija sadržavalo je grafit (43% umjetni i 46% prirodni), 7% sadržavalo je amorfni ugljik (meki ili tvrdi ugljik), 2% sadržavalo je litij-titanat (LTO) i 2% sadržavalo je silicij. [16]

Ovi se materijali koriste jer ih ima u izobilju, električki su vodljivi i mogu interkalirati litijeve ione za pohranjivanje električnog naboja sa skromnim povećanjem volumena (~10%).

Grafit je dominantan materijal zbog svog niskog interkalacijskog napona i izvrsnih performansi. Predloženi su različiti alternativni materijali s većim kapacitetima, ali obično imaju više napone što smanjuje gustoću energije. Niski napon je ključni zahtjev za anode, inače je višak kapaciteta beskoristan u smislu gustoće energije. [16]

### 7.1.3. Elektrolit

Elektrolit služi kao katalizator koji bateriju čini vodljivom zbog kretanja iona od katode do anode i obrnuto pri pražnjenju. Ioni su električki nabijeni atomi koji su izgubili ili dobili elektrone. Elektrolit baterije sastoji se od topljivih soli, kiselina ili drugih baza u tekućem i krutom stanju. Elektrolit također dolazi u obliku polimera, kao što je čvrsta keramika i rastaljene soli. Elektrolit je obično litijeva sol u organskom otapalu. [16]

### 7.1.4. Separator

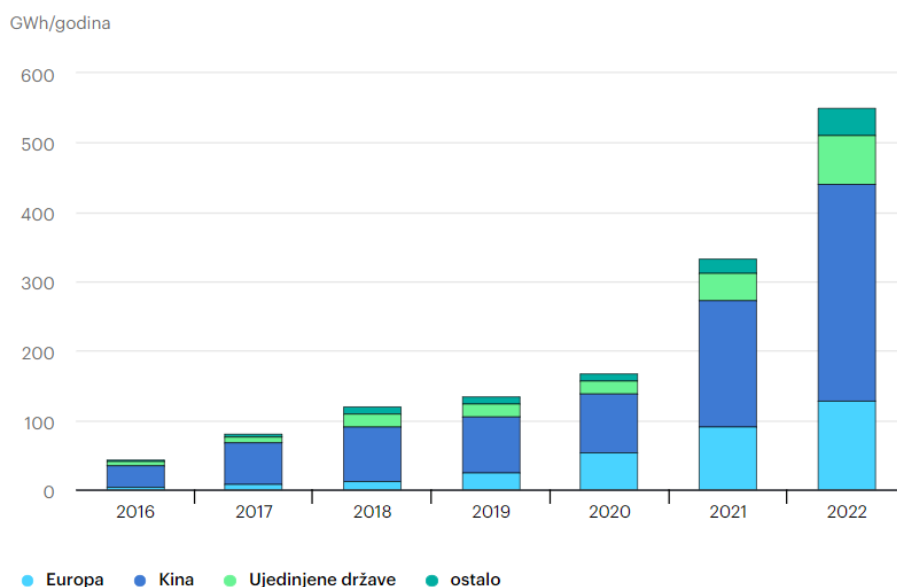
Separator baterije stvara barijeru između anode i katode dok omogućuje izmjenu litijevih iona s jedne strane na drugu. Materijali od kojih su separatori izrađeni: celuloza, netkana tkanina, celofan i drugi. Separator treba biti što tanji kako ne bi stvarao mrtvi volumen. Njihova uobičajena debljina je 25,4  $\mu\text{m}$  i seže do čak 12  $\mu\text{m}$  bez značajnog mijenjanja svojstva stanice. Separator s elektrolitom samo u modernom Li-ionu čini 3% sadržaja stanice. [16]

Kod pretjerane topline dolazi do gašenja, odnosno zatvaranjem pora separatora. Polietilenski (PE) separator se topi kada jezgra dosegne 130°C. Time se zaustavlja kretanje iona. Bez ove karakteristike, grijanje u pokvarenoj ćeliji moglo bi dosegnuti krajnju toplinsku točku i dovesti do otvorenog plamena. [16]

## 7.2. Li-ion baterije na tržištu

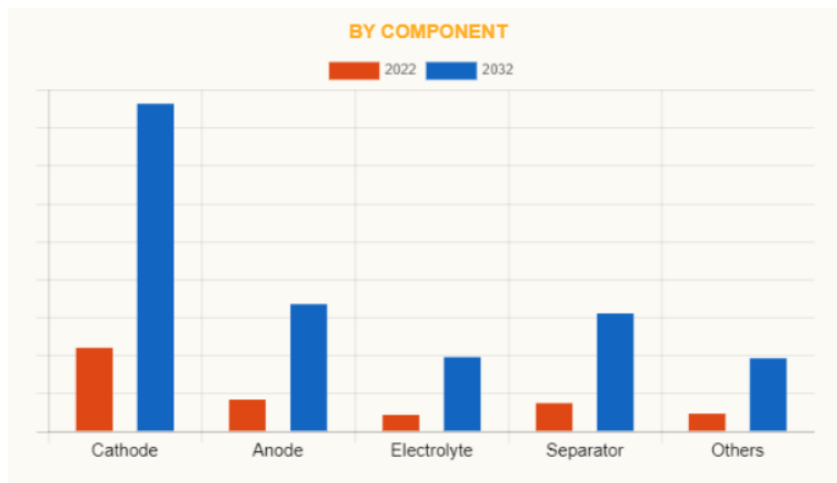
Današnju ponajveću potražnju za baterijama stvara automobilska industrija. Velike primjene litija uzrokuju cjenovni rast sirovine. Kroz dvije godine cijena litija porasla je deset puta. Situacija će biti takva dok se ne pronađu nova nalazišta litija i time se pokrije potražnja, slika 14. prikazuje te razmjere. [17]

U 2021. godini potražnja za litij ionskim baterijama bila je oko 330 GWh. Prvenstveno kao rezultat rasta prodaje električnih automobila. Međutim u 2022. godini potražnja je porasla za 65% što je iznosilo 550 GWh. Samo u Kini potražnja za baterijama električnih vozila porasla je za 70%. [18]



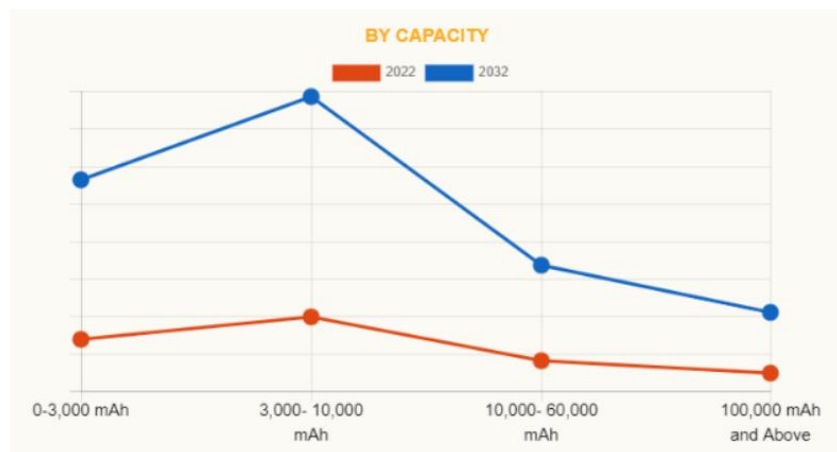
Slika 14. Prikaz potražnje Li-ion baterija na svjetskom tržištu [18]

Promatrajući komponente baterije (slika 15.), katoda je postala globalni lider stjecanjem gotovo polovice tržišnog udjela litij-ionskih baterija u 2022. Globalni pomak prema električnoj mobilnosti bio je značajan pokretač tržišta katoda. Potražnja za visokoučinkovitim katodnim materijalima s poboljšanom gustoćom energije i dužim životnim vijekom raste. [18]



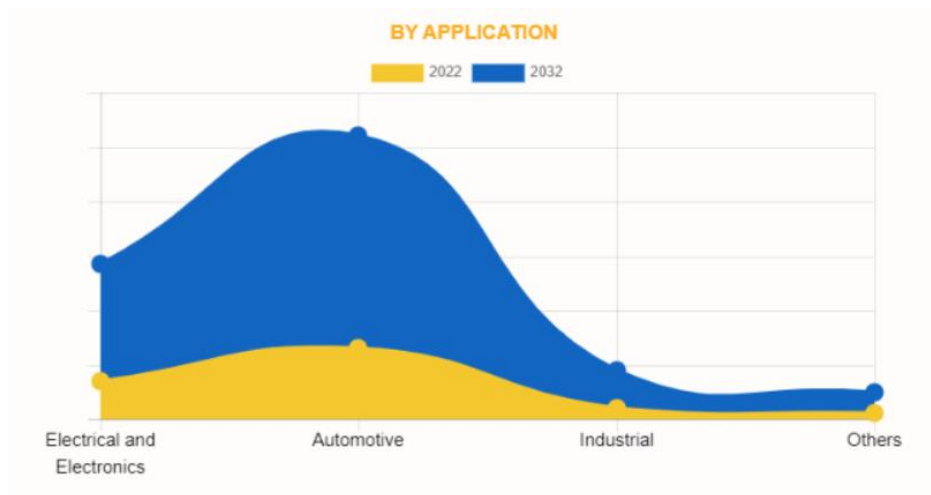
Slika 15. Predviđena potražnja komponenti baterije [19]

Promatrajući kapaciteta baterija (slika 16.), segment od 3.000-10.000 mAh pojavio se kao najveći tržišni udio u 2022. Porast potražnje za prijenosnom elektronikom, npr. pametnim telefonima, stvara priliku za kompaktne i lagane baterije. Osim toga, rast sektora obnovljive energije traži rješenja za pohranu energije čineći ove baterije prikladnima za pohranu i opskrbu čistom energijom. [19]



Slika 16. Predviđeni rast kapaciteta baterija [19]

Na temelju primjene baterija (slika 17.), automobilski segment zauzeo je najveći tržišni udio u 2022. Porast potražnje za električnim vozilima pokreće tržište litij-ionskih baterija u automobilskim aplikacijama. Rast tržišta litij-ionskih baterija uzrokovale su i države svojim poticajima za električne automobile. [19]



Slika 17. Predviđeni rast primjene baterija po branšama [19]

## 8. USPOREDBA OLOVNE I LITIJ-IONSKE BATERIJE

Usporedba koju ćemo prikazati između olovnih i litij-ionskih baterija odnosi se na upotrebu dviju vrsta za sustav solarnog napajanja. Odnosno pohranu energije proizvedene solarnim panelima. Da bi trajala dovoljno dugo, olovna se baterija smije prazniti samo do polovice svojeg kapaciteta, dok se litij-ionska baterija može bez oštećenja i ubrzanog starenja isprazniti do kraja. Iz tih dviju različitih baterija jednakog nazivnog kapaciteta i jednako napunjenih, ne može se u jednom ciklusu pražnjenja iscrpiti jednaka količina energije. Li-ionska baterija nudi u tom ciklusu znatno više energije (slika 18.). [11]



Slika 18. Iskoristivost energije iz olovnih i litij-ionskih baterija [20]

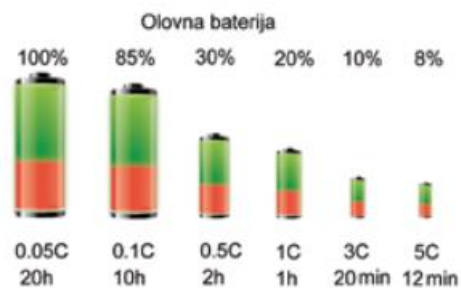
Na slici 19. prikazan je slučaj kad želimo 10 sati napajati trošilo od 2 kW i iz baterije moramo iscrpiti 20 kWh energije. Uz napon baterije od 48 V, litij-ionskoj bateriji trebat će 400 Ah ( $50 \text{ V} \times 400 \text{ Ah} = 20 \text{ kWh}$ ) jer ju možemo isprazniti do kraja. Da bismo dobili 20 kWh iz olovne baterije treba nam 48 V baterija nazivnog kapaciteta 800 Ah. Nju smijemo isprazniti samo do polovice (50% kapaciteta) kako joj ne bismo ugrozili životni vijek. Za istu raspoloživu energiju od 20 kWh olovna baterija ima masu 1360 kg, dok je masa Li-ionske baterije svega 336 kg. Što bi teoretski značilo da je li-ion baterija četiri puta lakša. [11]





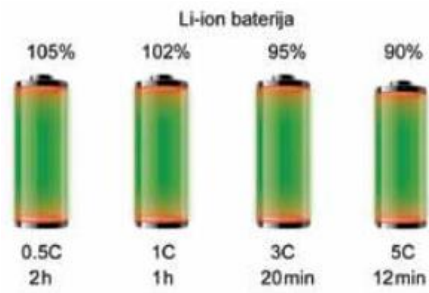
Slika 19. Olovna baterija u usporedbi s li-ion baterijom pri pražnjenju od 20 kWh [11]

Slika 20. prikazuje ovisnost kapaciteta baterije o trajanju pražnjenja odnosno struji pražnjenja. Olovna baterija nazivnih podataka 100 Ah 12 V C20 označava kapacitet izražen u Ah, napon izražen u V i ima oznaku C20. To znači da se ona može prazniti 20 sati strujom od 5 A ( $20 \text{ h} \times 5 \text{ A} = 100 \text{ Ah}$ ). Dakle, brojka 20 iz oznake C20 označuje 20 h pražnjenja. Struja pražnjenja je pri tome: kapacitet baterije  $C / 20$  pa kažemo da se baterija prazni s 0.05 C (npr:  $100 \text{ Ah} / 20 \text{ h} = 5 \text{ A}$ ). Olovna baterija u našem primjeru (nazivnih 100 Ah pri struji pražnjenja 0,1 C), može dati samo 85% kapaciteta, tj. 85 Ah. Ako tu istu bateriju praznimo s 1 C, dakle sa 100 A, tada ona može dati samo 20% nazivnog kapaciteta tj. samo 20 Ah. Praznimo li je s 5C, dakle s 500 A, tada ona može dati svega 8% nazivnog kapaciteta, tj. samo 8 Ah. Vidljivo je da kapacitet napunjene olovne baterije (100%) uvelike zavisi o struji pražnjenja. [11]

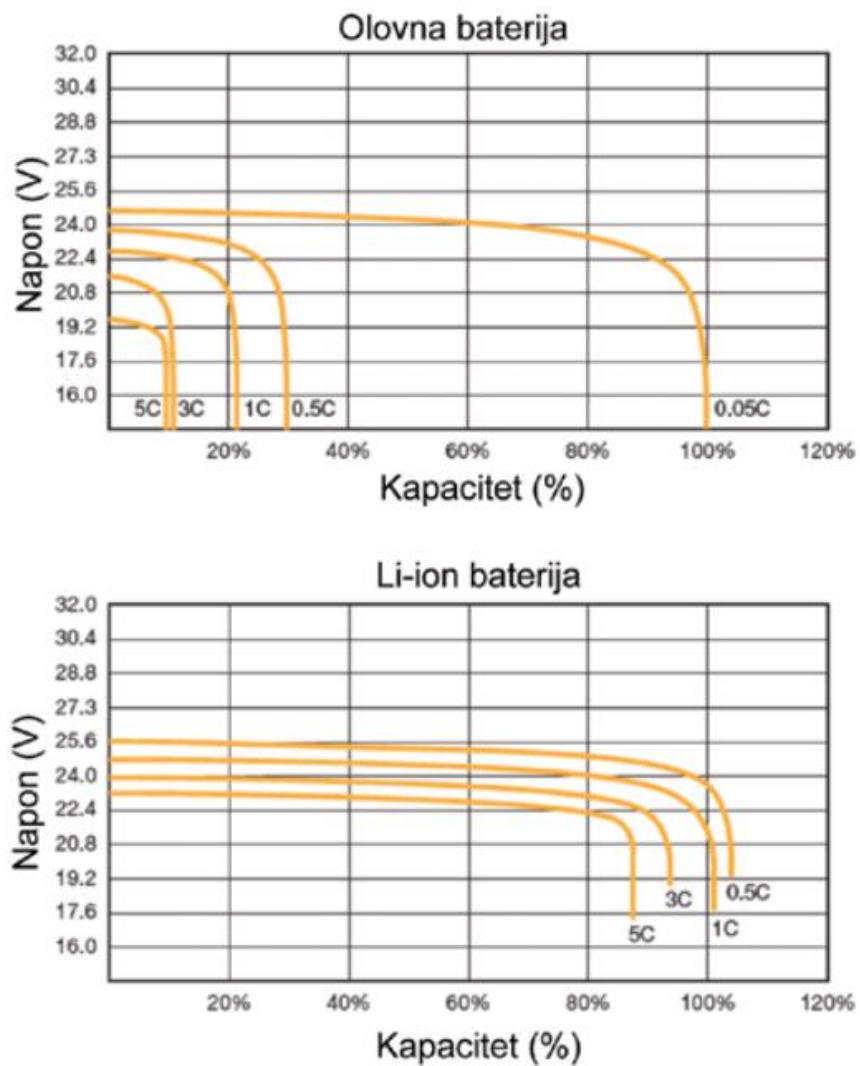


Slika 20. Kapacitet olovne baterije ovisno o intenzitetu pražnjenja [20]

Lako je uočiti koliko je mala ovisnost kapaciteta li-ion baterije o struji pražnjenja. To je vrlo važna karakteristika. Li-ion baterija (slika 21.) s nazivnih 100 Ah imat će pri pražnjenju od 100 A stvarni kapacitet od 102 Ah, a struju od 100 A davat će stvarnih 1,02 h. Olovna baterija nazivnih podataka 100 Ah C20 imala bi pri pražnjenju sa 100 A stvarni kapacitet od svega 20 Ah, a struju od 100 A mogla bi davati tek 12 minuta ( $20 \text{ Ah} / 100 \text{ A} = 0,2 \text{ h} = 12 \text{ min}$ ) Dakle, početno napunjena Li-ion baterija daje 100 A tijekom 1,02 h, a jednako napunjena olovna baterija davat će 100 A - svega 12 minuta. Kapacitet olovne baterije smanjuje se pri povećanju struje pražnjenja, a litij-ionske baterije gotovo se ne mijenja (slika 22.). Očekuje li se u nekom sustavu veće pražnjenje, dakle pražnjenje s većim strujama, tada masa potrebne olovne baterije neizbježno raste. [20]



Slika 21. Kapacitet litij-ionske baterije ovisno o intenzitetu pražnjenja [20]



Slika 22. Ovisnost kapaciteta i napona o struji pražnjenja olovne i litij ionske baterije [20]

## 9. ZAKLJUČAK

Baterije su ključne komponente moderne elektronike i energetske efikasnosti. Njihova tehnologija se stalno razvija kako bi se poboljšao kapacitet, dugotrajnost i ekološka održivost.

Treba napomenuti da su baterije odigrale ključnu ulogu u razvoju prenosivih uređaja, kao i električnih vozila, čime su doprinijele smanjenju emisija štetnih plinova. Međutim, izazovi poput ograničenih resursa za proizvodnju baterija i potrebe za unaprjeđenjem tehnologije recikliranja ostaju pred nama kako bismo ostvarili održivu energetska budućnost.

Baterije su također promijenile način na koji komuniciramo, radimo i zabavljamo se putem mobilnih uređaja i drugih elektronskih uređaja. Njihova evolucija ka većem kapacitetu i manjoj veličini omogućila je razvoj inovativnih tehnologija, kao što su bespilotne letjelice, pametni satovi i mnoge druge. Međutim, istraživanje i razvoj u svijetu baterijske tehnologije i dalje igraju ključnu ulogu kako bismo rješavali izazove vezane za skladištenje i dostupnost energije u budućnosti.

Različiti tipovi baterija nude raznovrsne prednosti i karakteristike koje su od velikog značaja za različite primjene. Klasične alkalne baterije su pouzdane i široko dostupne za svakodnevnu upotrebu, dok litij-ionske baterije dominiraju prenosivim uređajima zahvaljujući visokoj gustoći energije.

Važno je naglasiti da svaki tip baterije ima svoje ograničenje u smislu kapaciteta, dugotrajnosti i ekološkog utjecaja. Izbor baterije ovisi o specifičnim potrebama i prioritetima svake primjene.

## LITERATURA

- [1] Jose Alarco And Peter Talbot: *The history and development of batteries*; <https://phys.org/news/2015-04-history-batteries.html>; pristupljeno 26.07.2023.
- [2] BBC: *Riddle of 'Baghdad's batteries'*; <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/2804257.stm>; pristupljeno 26.07.2023.
- [3] Pistoia, Gianfranco: *Batteries for Portable Devices*. Elsevier, (2005).
- [4] Britannica: *John Frederic Daniell*; <https://www.britannica.com/technology/Daniell-cell>; pristupljeno 05.08.2023.
- [5] Britannica: *Gaston Planté*; <https://www.britannica.com/biography/Gaston-Plante>; pristupljeno 05.08.2023.
- [6] Webstaurantstore: *Types of Batteries*; <https://www.webstaurantstore.com/guide/923/batteries-buying-guide.html>; pristupljeno 07.08.2023.
- [7] Pcchip: *Baterije – vrste, tehnologija izrade i način rada*; <https://pcchip.hr/ostalo/tech/baterije-vrste-tehnologija-izrade-i-nacin-rada/>; pristupljeno 07.08.2023.
- [8] Engr Fahad: *What is battery? Types of battery, Primary and Secondary cell*; <https://www.electronicclinic.com/what-is-battery-types-of-battery-primary-and-secondary-cells/>; pristupljeno 07.08.2023.
- [9] Paul Evans: *How a Battery Works*; <https://theengineeringmindset.com/how-batteries-work/>; pristupljeno 10.08.2023.
- [10] Enciklopedija: *Elektroliti*; <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=17622>; pristupljeno 10.08.2023.
- [11] John Warner: *The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design*, Elsevier, (2015.)
- [12] Tycorun: *Detailed comparison on nickel-metal hydride vs lithium ion AA batteries*; <https://www.tycorun.com/blogs/news/detailed-comparison-on-nickel-metal-hydride-vs-lithium-ion-aa-batteries>; pristupljeno 20.08.2023.
- [13] Nick Power: *DIY Lithium Batteries*, Nick Power, (2020.)

- [14] JB Battery: *Li-ion Battery*; <https://www.lithiumbatterychina.com/li-ion-battery/>; pristupljeno 20.08.2023.
- [15] Kevin Clemens: *Rising Lithium Costs Threaten Grid-Scale Energy Storage*; <https://eepower.com/news/rising-lithium-costs-threaten-grid-scale-energy-storage/#>; pristupljeno 20.08.2023.
- [16] Cary M. Hayner, Xin Zhao, and Harold H. Kung: *Materials for Rechargeable Lithium-Ion Batteries*; <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-chembioeng-062011-081024>; pristupljeno 22.08.2023.
- [17] Hrvoje Prpić, Iva Ralica: *Tema: Litij-ionske baterije i njihova budućnost?*; <https://www.strujnikrug.hr/kakve-su-litij-ionske-baterije-i-koja-je-njihova-buducnost/>; pristupljeno 22.08.2023.
- [18] IEA: *Global EV Outlook 2023*; <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>; pristupljeno 22.08.2023.
- [19] Allied Market Research: *Lithium-ion Battery Market*; <https://www.alliedmarketresearch.com/lithium-ion-battery-market>; pristupljeno 23.08.2023.
- [20] Schrack Technik: *Fotonapon i pohrana energije*; <https://www.schrack.hr/know-how/fotonapon-pohrana-energije>; pristupljeno 23.08.2023.