

SISTEMI ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE I UPRAVLJANJE BATERIJAMA U ELEKTRIČNIM VOZILIMA – dio 1



Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Elektrotehnički fakultet
Bosna i Hercegovina

ISHODI UČENJA

Savladavanjem ovog predmeta student će biti osposobljen da:

- Razumije različite medije za skladištenje električne energije, posebno u pogledu gustine snage, isporučene snage, održavanja, troškova, bezbjednosti i uticaja na životnu sredinu.
- Razumije osnovne principe i izazove sa različitim principima punjenja
- Razumije principe rada sistema upravljanja baterijama u električnim vozilima.

SADRŽAJ PREDMETA

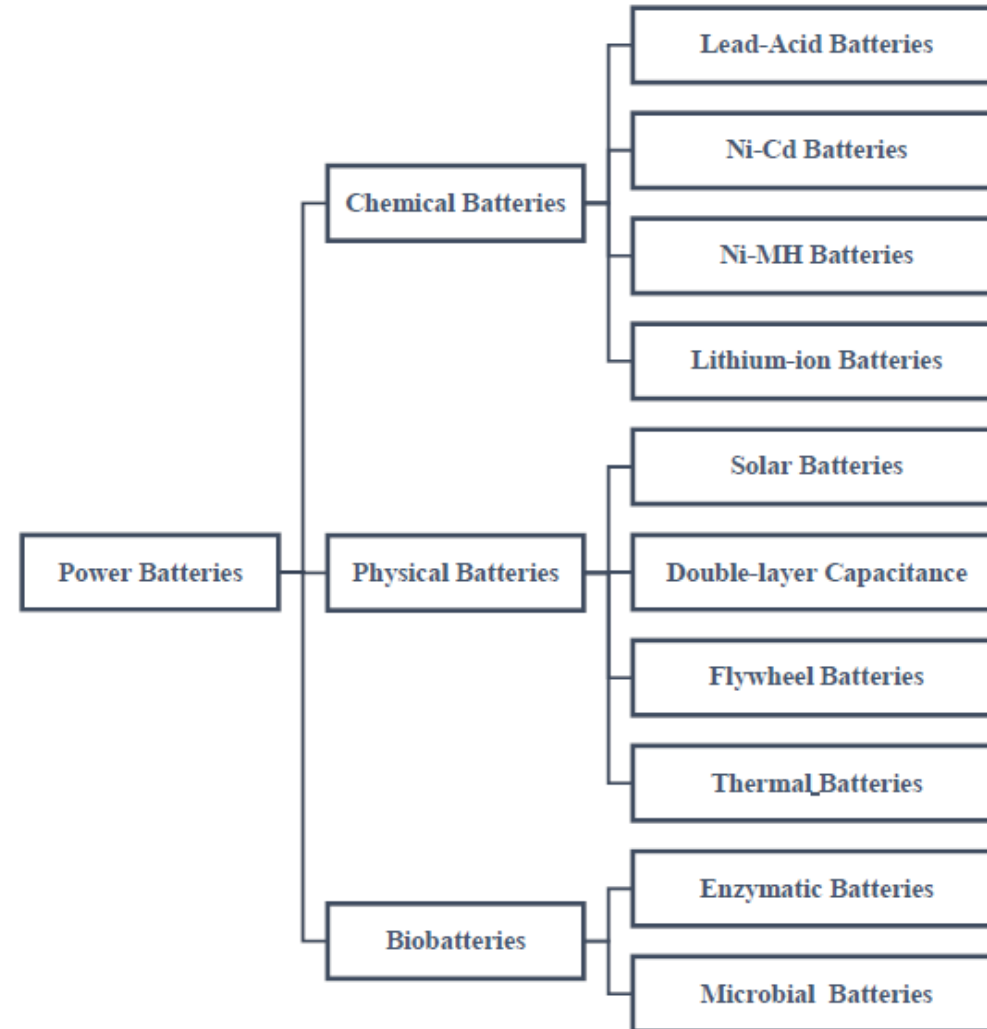
1. Uvod u sisteme za skladištenja energije u električnim vozilima (EV)
2. Glavne tehnologije medija za skladištenje električne energije u EV
3. Osnovni parametri za procjenu stanja sistema za skladištenje energije
4. Baterije kao glavni dio za skladištenje energije u električnim vozilima
5. Princip rada i vrste baterija
6. Parametri performansi baterije za napajanje
7. Model baterije
 8. Ključne tehnologije sistema upravljanja baterijom (BMS)
 9. Proračun ključnih parametara sa BMS
 10. Nadgledanje i procjena parametara baterije
 11. Metode procjene stanja baterije
 12. Optimizovano upravljanje punjenjem
 13. Upravljanje toplotom i termička sigurnost
 14. Interna i eksterna komunikacija
 15. Sistem za upravljanje baterijom u oblaku

1. UVOD U SISTEME ZA SKLADIŠTENJA ENERGIJE U ELEKTRIČNIM VOZILIMA (EV)

- Električno vozilo (EV) je rezultat sinteze i integracije automobilske tehnike, električnog pogona, energetske elektronike, sistema automatskog upravljanja, obnovljivih izvora energije i novih materijala.
- Postoji nekoliko različitih kategorija električnih vozila, uključujući baterijsko električno vozilo (BEV), hibridno električno vozilo (HEV) i vozilo na gorivne ćelije (FCEV).
- Struktura BEV-a sastoji se od ugrađenog sistema za skladištenje energije, pogonskog sistema, šasijske, karoserijske i pomoćnih sistema. Pogonski sistem obuhvata motor, sistem za kontrolu trakcije i transmisijski sistem.
- Ključne tehnologije za razvoj BEV-a uključuju pogonski sistem, sistem upravljanja, sistem ogibljenja, pomoćne sisteme, pogonski sistem i sisteme za upravljanje vozilom. Baterija, motor i transmisijski sistem su tri najkritičnije komponente BEV-a.

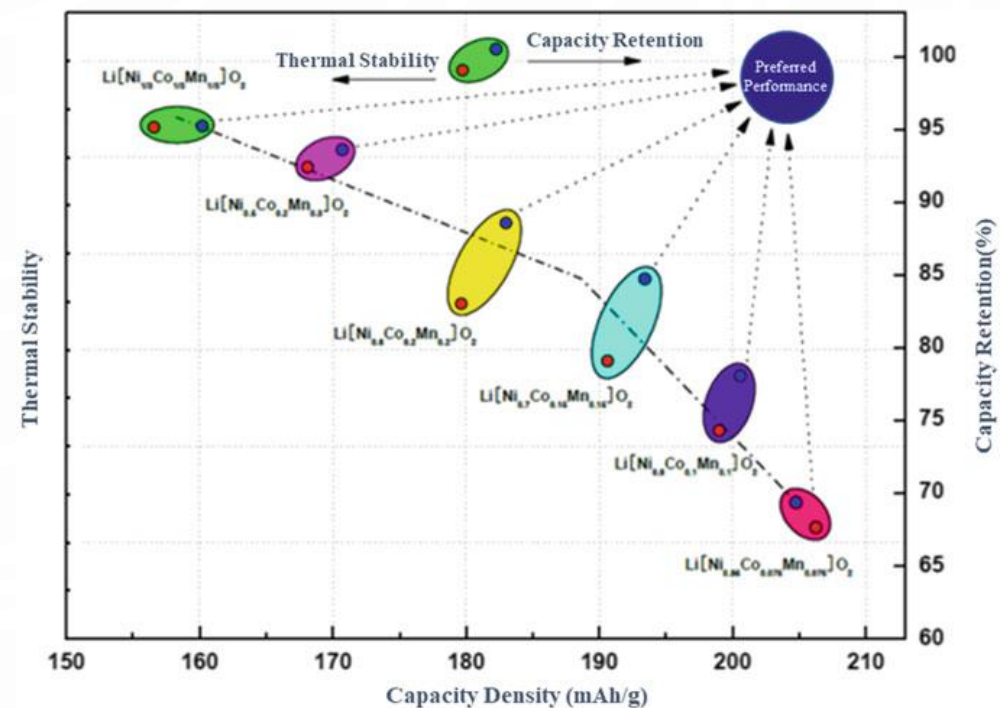
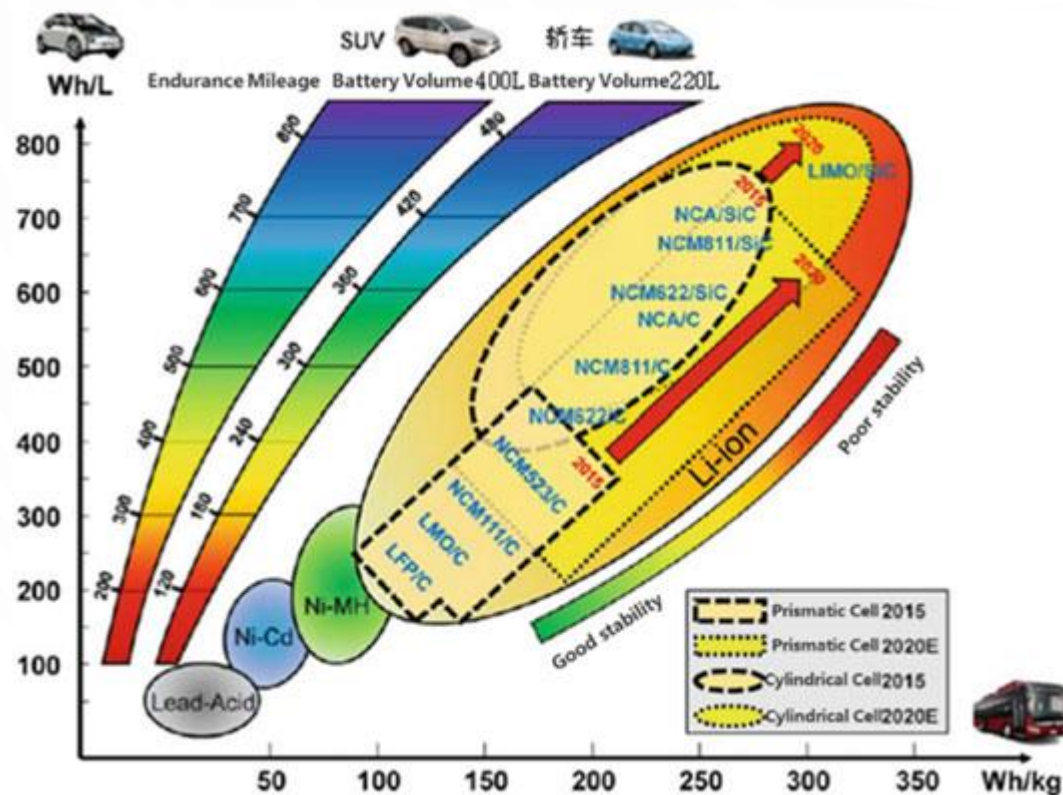
2. GLAVNE TEHNOLOGIJE MEDIJA ZA SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U EV

- Olovne, Ni-MH i litijum-jonske baterije su uobičajene u električnim vozilima. Energetska gustina litijum-jonskih baterija je najveća među ove tri vrste. Pored toga, litijum-jonska baterija postaje u fokusu istraživanja zbog svoje visoke gustine snage, niske stope samopražnjenja, slabog memorijskog efekta i činjenice da je ekološki prihvatljiva. Litijum-jonske baterije primjenjuju se u električnim vozilima, hibridnim električnim vozilima i vozilima na gorivne ćelije.



2. GLAVNE TEHNOLOGIJE MEDIJA ZA SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U EV

- Status primjene pogonskih baterija u vozilima



3. OSNOVNI PARAMETRI ZA PROCJENU STANJA SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE

- Ključni parametri:
 - Kapacitet skladištenja (E , kWh ili MWh) – Ukupna količina energije koju sistem može uskladištiti i isporučiti. Određuje vrijeme rada ili autonomiju.
 - Nazivna snaga (P , kW ili MW) – Maksimalna trenutna snaga koju sistem može apsorbirati ili isporučiti. Određuje koliko brzo sistem može da se puni/prazni.
 - Energijska gustina (Wh/L) i specifična energija (Wh/kg) – Energija po jedinici zapremine/masi. Važno za mobilne primjene (EV, avijacija).
 - Specifična snaga (W/kg) i gustina snage (W/L) – Snaga koja se isporučuje po jedinici mase/zapremine. Ključno za aplikacije koje zahtijevaju brzi dinamički odziv (npr. regulacija frekvencije).
 - Efikasnost ciklusa (%) – Odnos između energije pražnjenja i energije unijete tokom punjenja. Tipične vrijednosti: litijum-jonske baterije 90–95%; pumpne hidroelektrane 70–85%; CAES 40–70%.

3. OSNOVNI PARAMETRI ZA PROCJENU STANJA SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE

- Ključni parametri
 - Životni vijek (Cycle Life & Calendar Life)
 - Ciklični vijek: broj ciklusa punjenja/praznjenja do degradacije.
 - Kalendarski vijek: ukupno vrijeme tokom kojeg sistem može da radi, bez obzira na broj ciklusa.
 - Vrijeme odziva
 - Vrijeme potrebno da sistem počne da isporučuje snagu.
 - Superkondenzatori i zamašnjaci: milisekunde
 - Baterije: sekunde
 - Pumpne hidroelektrane: minute
 - Samopražnjenje / Gubici u mirovanju
 - Energija izgubljena kada sistem miruje.
 - Superkondenzatori i termalno skladištenje: visoki
 - Baterije i PHS: relativno niski

3. OSNOVNI PARAMETRI ZA PROCJENU STANJA SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE

- Ključni parametri
 - Sigurnost i pouzdanost
 - Rizici od požara, eksplozije, degradacije materijala ili mehaničkog kvara.
 - Litijum-jonske baterije zahtijevaju BMS, dok pumpne hidroelektrane imaju visoku inherentnu sigurnost.
 - Skalabilnost i modularnost
 - Koliko se lako sistem može proširiti ili smanjiti.
 - Baterije su modularne, dok PHS i CAES zavise od geografije.
 - Cijena (\$/kWh za energiju, \$/kW za snagu)
 - Ekonomska izvodljivost je ključna.
 - Primjer:
 - Litijum-jonske baterije ~120–140 \$/kWh (2024–2025)
 - Pumpne hidroelektrane: niži trošak po kWh, ali velika početna investicija.

4. BATERIJE KAO GLAVNI DIO ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE U ELEKTRIČNIM VOZILIMA

- Većina postojećih sistema pogonskih baterija koristi troslojnu strukturu, odnosno nivo ćelije, nivo modula i sistemski nivo.



- Prvo se više ćelija kombinuje u module prema različitim serijsko–paralelnim vezama, a zatim se određeni broj modula spaja u baterijski sistem. Baterijski modul obuhvata pojedinačnu ćeliju, fiksni okvir, električnu vezu, temperaturni senzor, krug za detekciju napona itd.

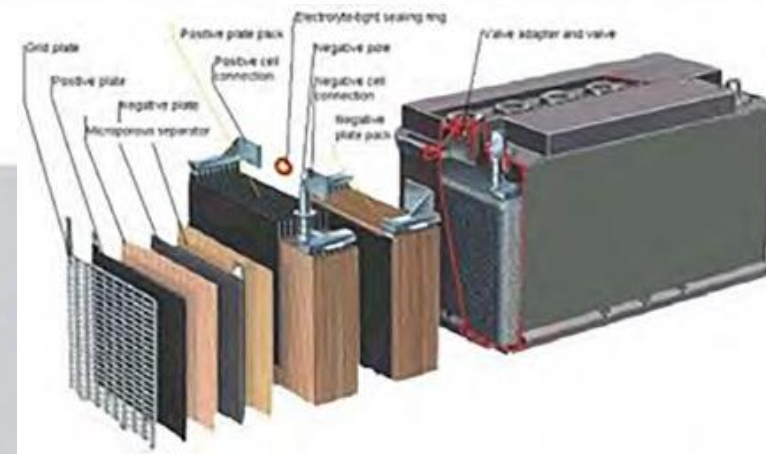
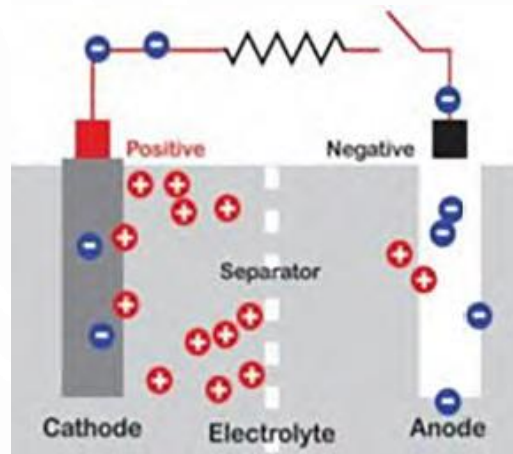
4. BATERIJE KAO GLAVNI DIO ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE U ELEKTRIČNIM VOZILIMA

- Karakteristike različitih baterijskih tehnologija

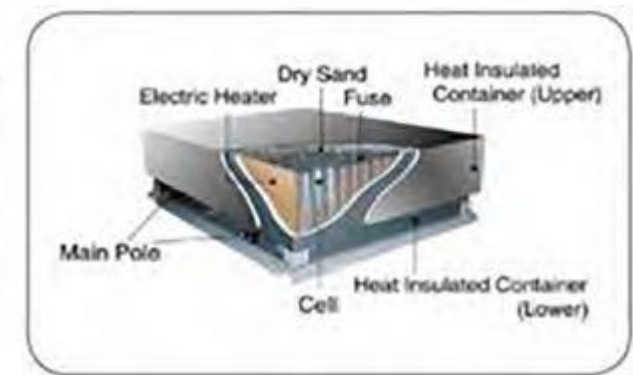
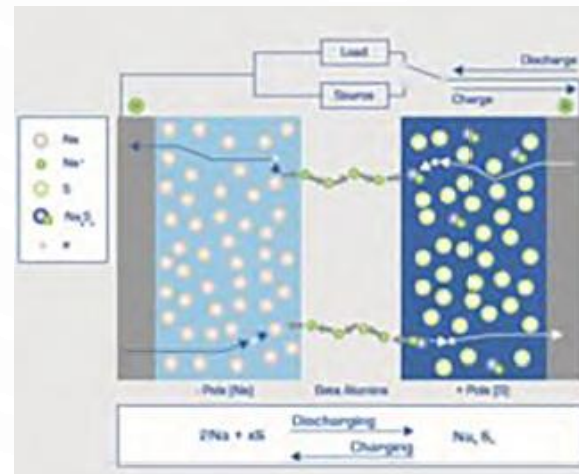
	Energy density (kW/kg)	Round Trip Efficiency (%)	Life Span (years)	Eco-friendliness
Li-ion 	1st 150-250	1st 95	1st 10-15	1st Yes
NaS 	2nd 125-150	2nd 75-85	2nd 10-15	2nd No
Flow 	3rd 60-80	3rd 70-75	4th 5-10	4th No
Ni-Cd 	4th 40-60	4th 60-80	3rd 10-15	3rd No
Lead Acid 	5th 30-50	5th 60-70	5th 3-6	5th No

5. PRINCIP RADA I VRSTE BATERIJA

- Olovne (PbA) baterije

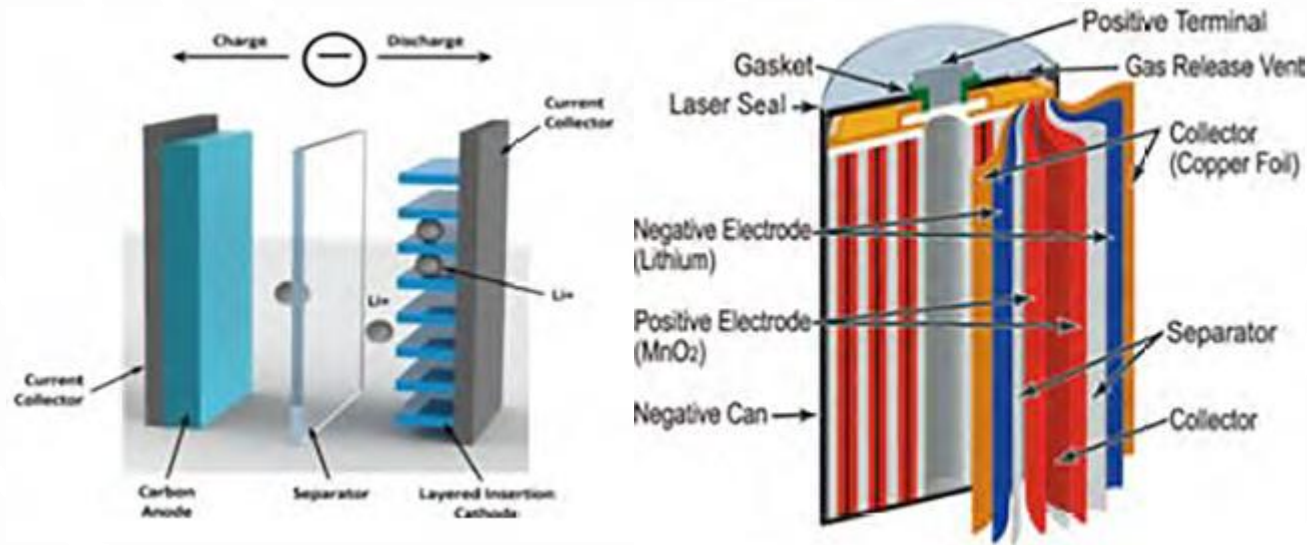


- Natrijum-sumporna (Na-S) baterija

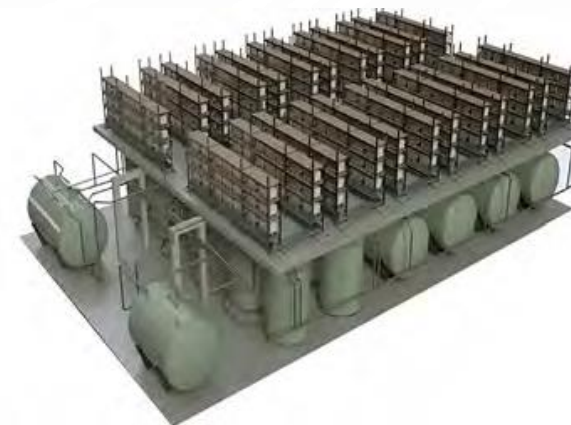
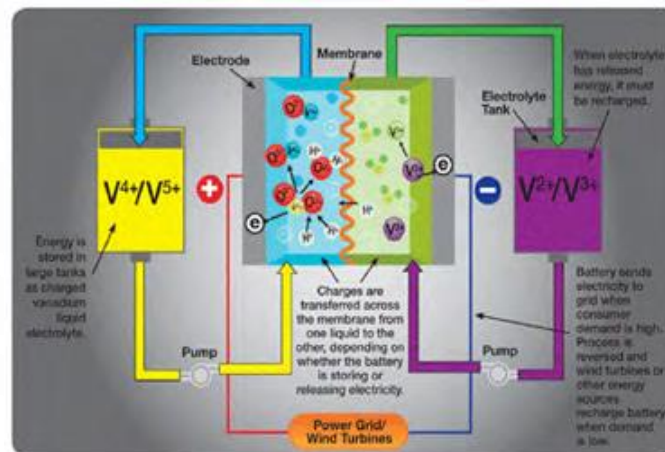


5. PRINCIP RADA I VRSTE BATERIJA

- Lithium-jonska baterija



- Redox baterija (RFB)



6. PARAMETRI PERFORMANSI BATERIJE ZA NAPAJANJE

- Nominalni parametri

- Kapacitet skladištenja (Ah) (CT teoretski i CP praktični) – Ukupna količina električnog naboja koju baterija može da skladišti.

$$C_T = 26.8n \frac{m_0}{M} \qquad C_P = \int_{t_0}^{t_{cut}} i(t) dt$$

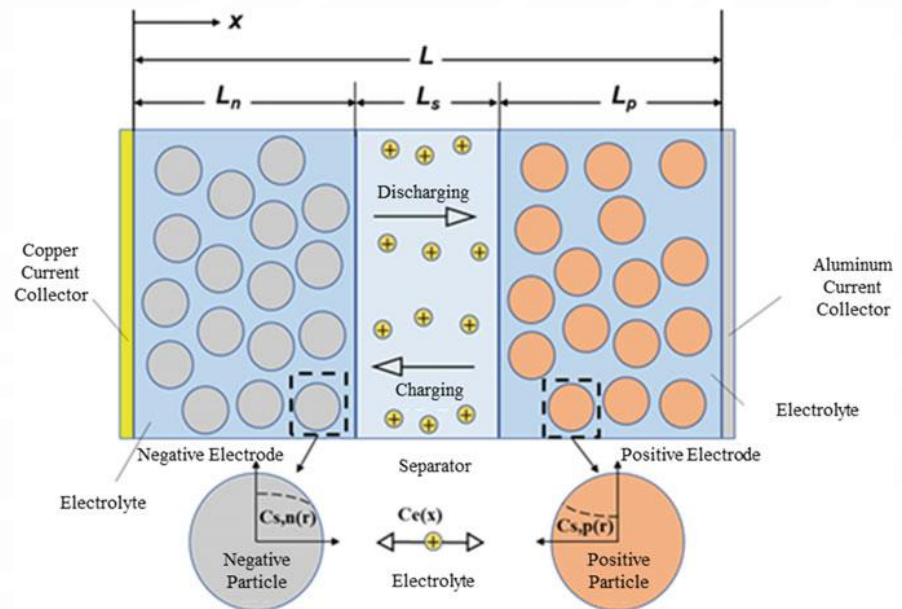
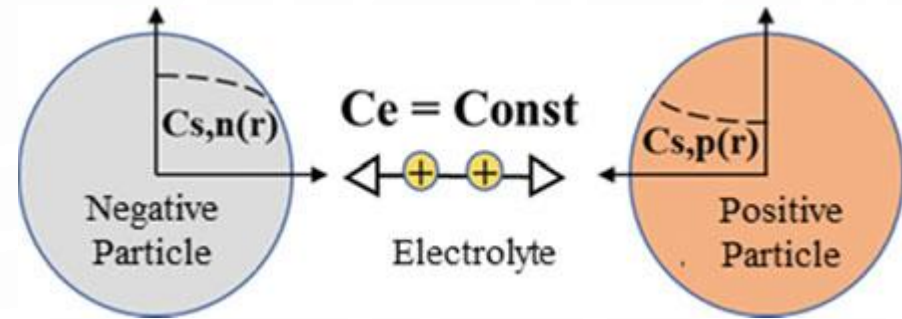
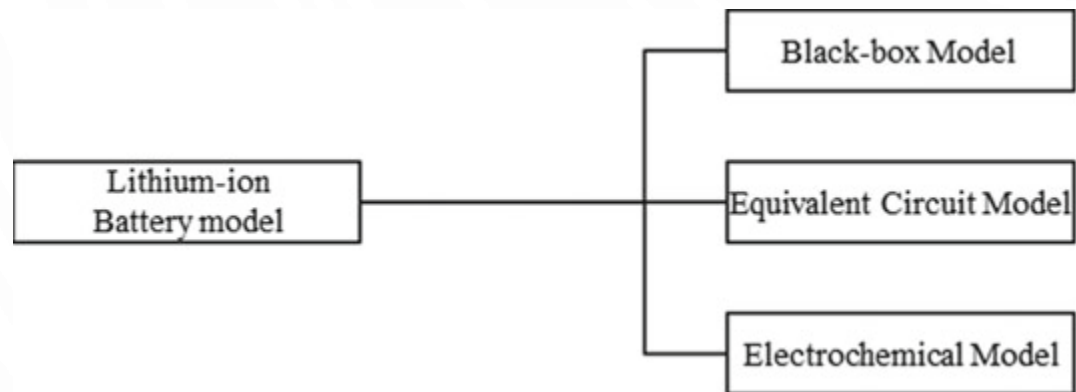
- Nominalni i radni napon (V) – Zavisi od hemije baterije (npr. 3,6–3,7 V za Li-ion ćeliju). Određuje dizajn paketa i kompatibilnost sa elektronskim pogonskim sistemima.
- Unutrašnji otpor – Otpor struji kada je baterija u upotrebi. Obuhvata ohmski otpor i polarizacioni otpor.
- Struja pražnjenja/punjenja
 - C-rate (stopa pražnjenja/punjenja) je odnos između struje pražnjenja/punjenja i nominalnog kapaciteta.
 - Na primjer: C-rate za struju od 2 A u ćeliji od 10 Ah je 0,2 C. Slično, C-rate za 15 A u ćeliji od 10 Ah je 1,5 C.
- Hour rate (vrijeme rada u satima)
 - Broj sati za potpuno pražnjenje ćelije pri određenoj struji.
 - Na primjer: hour rate za struju od 10 A u ćeliji nominalnog kapaciteta 50 Ah je 5 h. Niži hour rate znači veća struja.

6. PARAMETRI PERFORMANSI BATERIJE ZA NAPAJANJE

- Nominalni parametri
 - Specifična energija (Wh/kg) – Količina energije po jedinici mase. Direktno određuje domet vozila.
 - Specifična snaga (W/kg) – Snaga koja se isporučuje po jedinici mase. Određuje ubrzanje i mogućnost rekuperativnog kočenja.
 - Energijska gustina (Wh/L) – Energija po jedinici zapremine. Važno za kompaktni dizajn baterijskog paketa.
- Ostali parametri
 - Životni vijek (Cycling lifetime) – Maksimalan broj ciklusa do kojeg kapacitet dosegne graničnu vrijednost pri određenim uslovima cikliranja. Jedan ciklus uključuje proces punjenja i pražnjenja. Životni vijek cikliranja zavisi od stope punjenja/pražnjenja, dubine pražnjenja, temperature itd.
 - Samopražnjenje (Self discharge) – Gubitak kapaciteta zbog nepredviđenih hemijskih reakcija. Samopražnjenje nastaje zbog termodinamičke nestabilnosti elektroda i njihovih redoks reakcija.
 - Radni temperaturni opseg (°C) – Temperaturni opseg u kojem baterija može da funkcioniše bez značajne degradacije. Tipično: -20°C do 60°C , optimalno $20-40^{\circ}\text{C}$.
 - Sigurnost – Otpornost na prepunjavanje, kratki spoj, mehanička oštećenja i visoke temperature. Ključno za primjenu u EV, osigurava BMS.

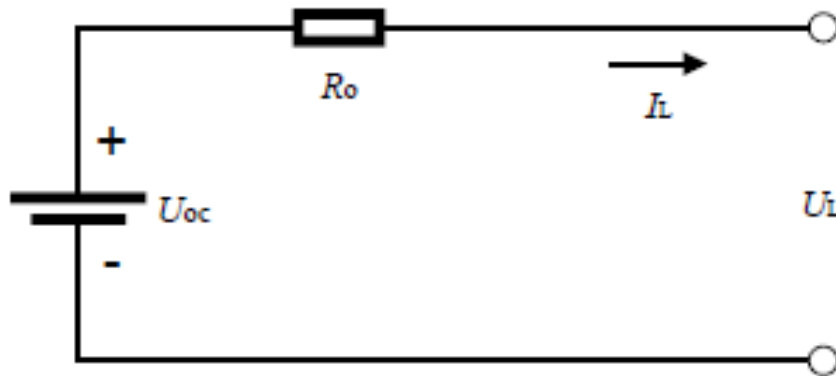
7. MODEL BATERIJE

- Različiti tipovi modela baterije



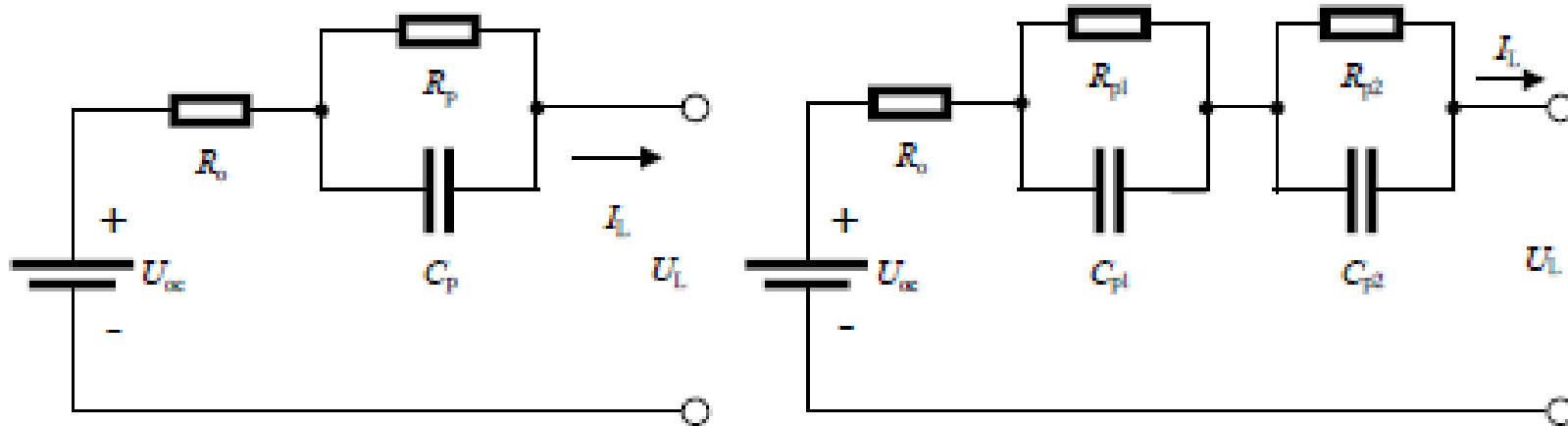
7. MODEL BATERIJE

- Model ekvivalentnog kola (ECM) – model otpora
 - Model otpora je najjednostavniji ECM, koji se sastoji od idealnog izvora napona U_{oc} i serijskog otpornika R_o .
 - U_L i I_L predstavljaju napon na priključcima baterije i struju kroz nju, respektivno.
 - U_{oc} i R_o su, redom, napon otvorenog kola i unutrašnji otpor baterije.
 - U_{oc} i R_o zavise od SoC (stanja napunjenosti), SoH (stanja zdravlja) i temperature baterije.



7. MODEL BATERIJE

- Model ekvivalentnog kola – RC model
- RC model litijum-jonskih baterija koristi RC mreže pored samog modela otpora. Ovo omogućava povećanje tačnosti modela pri dinamičkim uslovima rada. Jednačine modela mogu se predstaviti u stanje–prostor (state-space) formatu. Široko korišćeni RC modeli uključuju: Thevenin model (sa jednom RC mrežom) i DP model (sa dvije RC mreže)



(a) Thevenin model

(b) DP model



Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Elektrotehnički fakultet
Bosna i Hercegovina