



OVE in NOVE tehnologije v energetiki

Hranilniki električne energije

Recikliranje, Second-life?

Mehansko

- Drobljenje in mletje
- Ločevanje na osnovi magnetnih lastnosti, kemijskih procesov, vodnih tehnik

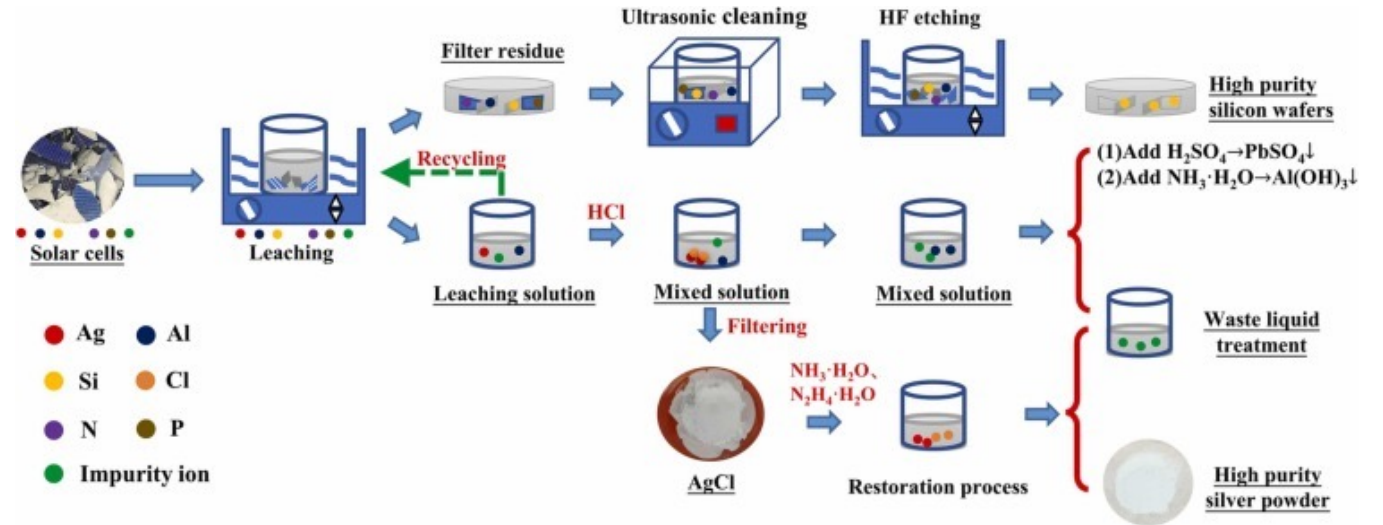
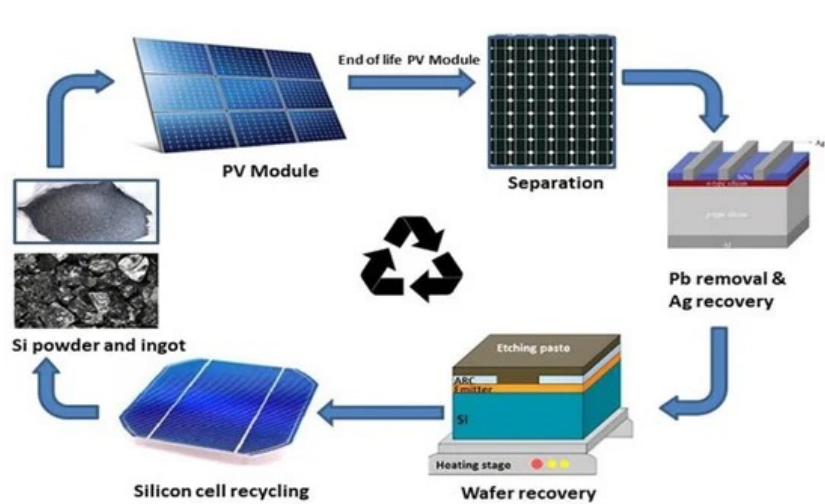
Termično

- Visoko temperaturni procesi
- Kovine in steklo se reciklirajo

Kemično

- Uporaba različnih topil z namenom reciklaže srebra in drugih kovin
- Acid-leaching – dražje in tehnološko zahtevne





Recikliranje, Second-life?

- Izzivi
 - Kompleksnost modulov – veliko component
 - Ekonomska računica – običajno ceneje uporabljati nove materiale
 - Zakonodaja
 - Okoljski vidik – kemikalije, težke kovine...



Glavni izzivi



- Odvisnost od vremena (rešitve? Sklopitev s HEE?Vodik?)
- Prostorske potrebe (rešitve?- Agrofotovoltaika?)
- Investicijski stroški
- Odlaganje/zbiranje PV sistemov (Second-life aplikacije?)



- Raziskave na področju višje učinkovitosti
- Prožne aplikacije
- Recikliranje in trajnostni razvoj
- Sklopitev s HEE

*Kaj prinaša
prihodnost?*



SOLAR PV PANEL RECYCLING PROCESS (Silicon based)





UK's biggest battery ever seen to cover area half the size of a football pitch at Glasgow wind farm

BATERIJE

Lithium-ion batteries have ruled for decades. Now they have a challenger.

Battery storage key to renewable energy's success

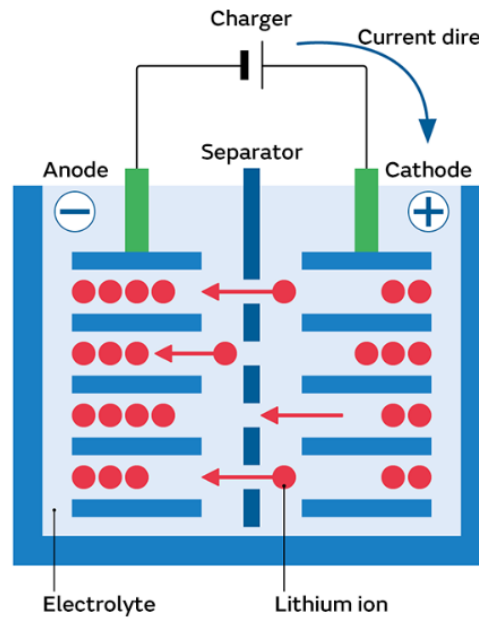
Battery storage is what allows renewable energy to provide power even when the sun isn't shining or the wind isn't blowing. It's key to making the electrical grid reliable as we transition away from coal and gas. Ben Tracy examines how...

Lithium-ion battery caused deadly Harlem apartment fire, FDNY says

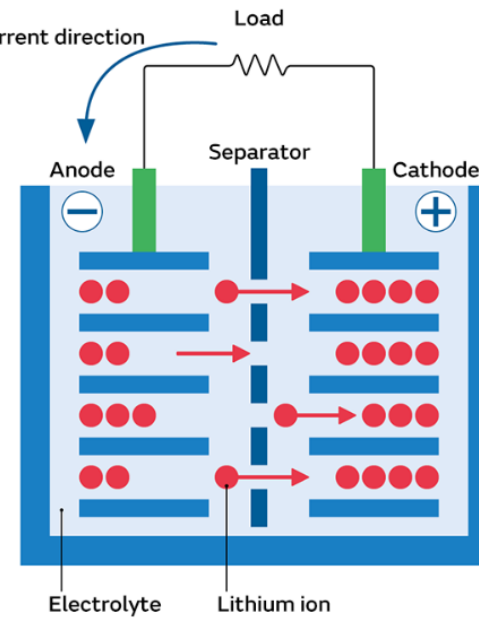
Švedska tovarna baterij: kljub milijardnim investicijam pred finančnim zlomom?

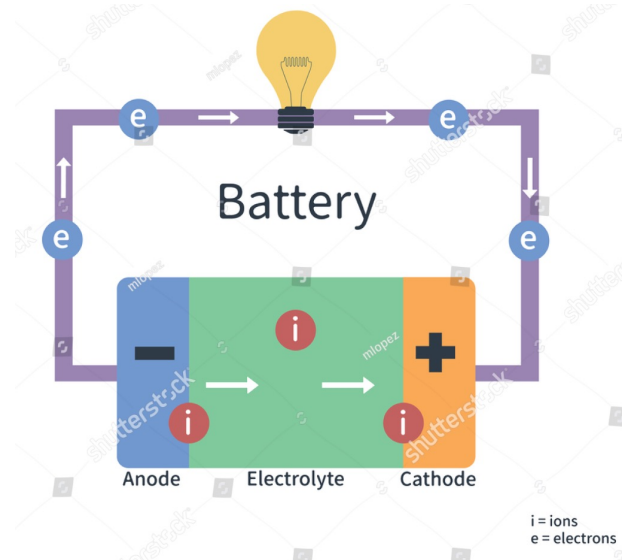


Charging



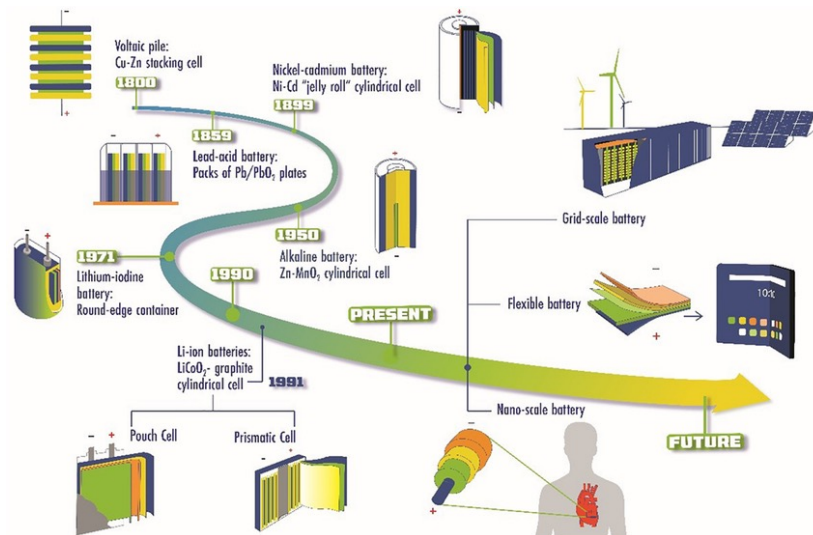
Discharging





Baterije

- Definicija?
 - Naprave, ki s pomočjo kemijskih reakcij shranjujejo in sproščajo električno energijo
- Delitev
 - Primarne (alkalne, živosrebrne...)
 - Sekundarne (Li-ionske, NiCd, NiMH, svinčene...)
- Ključne komponente
 - Anoda
 - Katoda
 - Elektrolit
 - Separator



2024:

- Vrednost trga ocenjena na 120 milijard USD
- Vrednost trga Li-ion baterij dosega 70 % celotnega trga

2030:

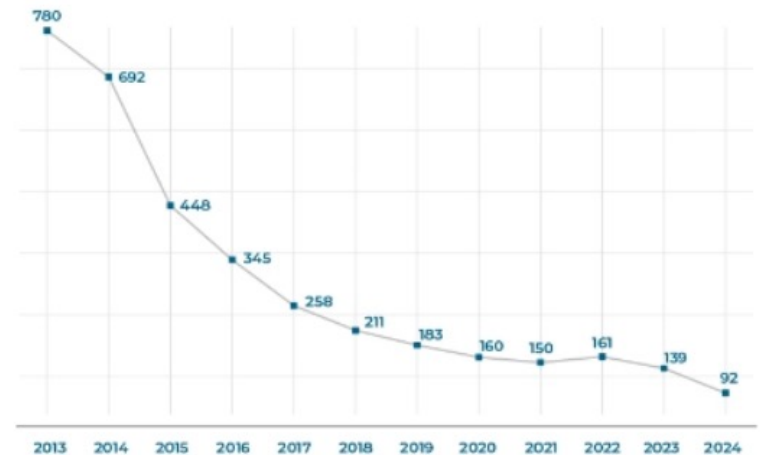
- 350 milijard USD (EVs, HEE)

PRECEDENCE
RESEARCH

LITHIUM-ION BATTERY MARKET SIZE 2022 TO 2032 (USD BILLION)



Lithium-Ion Battery Price, In \$ per kWh

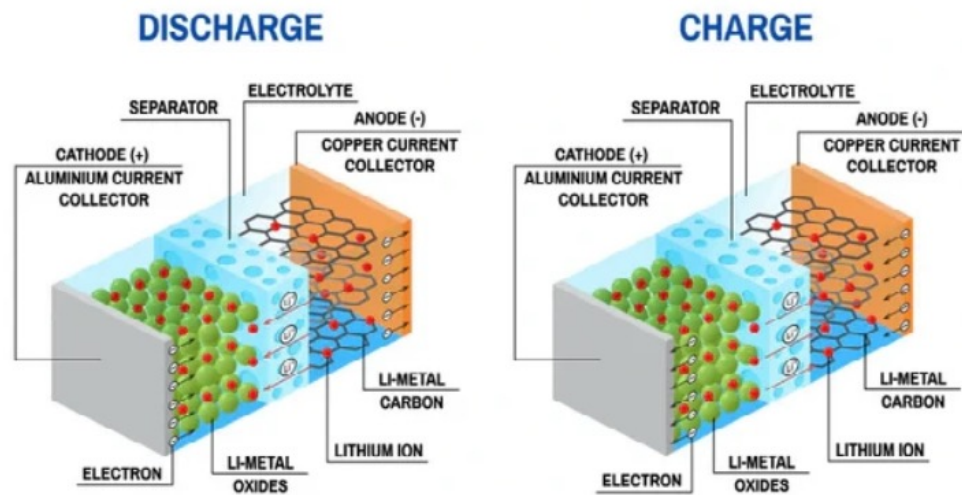


Baterije – LI-ION

▪ Teorija

- Anoda – grafit
- Katoda – Li, dopiran z različnimi oksidi
- Elektrolit – litijeva sol v organskem topilu
- Separator – porozna membrana, ločuje K in A
- Odjemniki toka – odgovorni za prenos e^-
- Polnjenje:
 - Tekom polnjenja se Li-ioni premikajo iz K proti A, v smeri A proti K preko zunanega kroga potujejo e^-
- Praznjenje:
 - Li-ioni se iz K gibajo proti A, e^- se gibljejo v obratni smeri in pri tem napravam zagotavljajo električno moč

LITHIUM-ION BATTERY



- *Oblike celic*

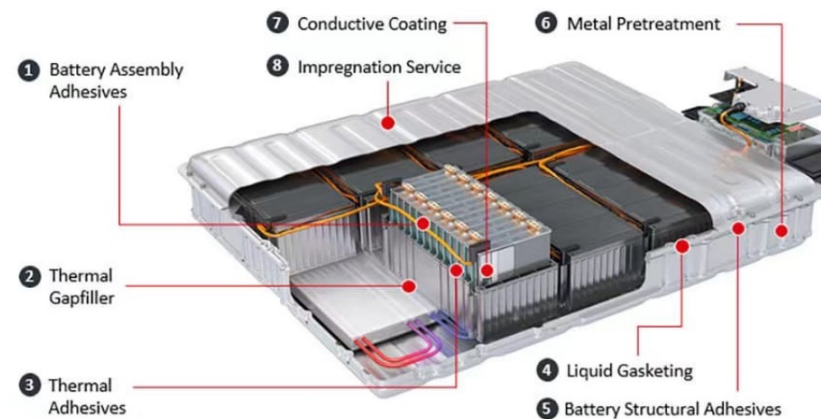
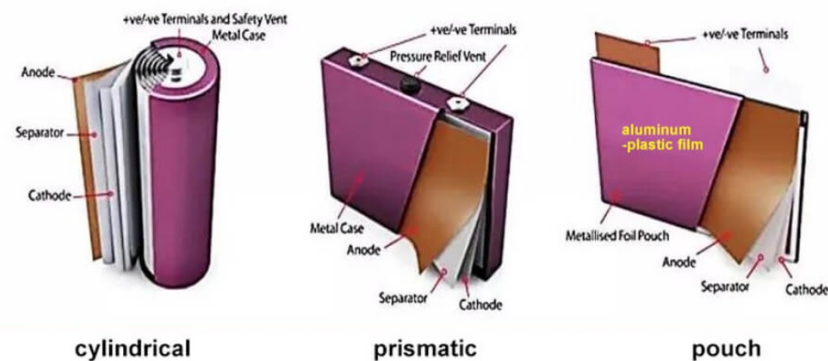
- Cilindrične
- Prizmatične
- Vrečaste (angl.pouch)

- *Oblike Baterijskih modulov*

- Skladanje celic vpliva na kapaciteto in moč
- Ohišje, sistem za hlajenje (zrak, tekočina), varnostni sistem (zaščita pred vodo, mehanski udarci)

- *Oblike Baterijskih sklopov*

- BMS (Battery Management System), sistem za hlajenje, konektorji, elektronika, sistem za zatiranje ognja



Vrste baterij

- **LCO (litij kobaltov oksid)**
 - Telefoni, prenosniki, fotoaparati
 - Visoka energijska gostota, dražji, nestabilni pri visoki temperaturi
- **LFP (litij železov fosfat)**
 - EVs, HEE, delavna orodja
 - Najvarnejše, brez CRM, daljša življ. doba, nižja cena, nižja energijska gostota
- **NMC (nikelj mangan kobaltov oksid)**
 - EVs, HEE, visokozmogljive aplikacije
 - Dobro razmerje energijska gostota/varnost, visoka cena
- **NCA (nikelj kobalt aluminijev oksid)**
 - EVs, visokozmogljive aplikacije
 - Visoka energijska gostota in dolga življ. doba, visoka cena, zahtevna izdelava
- **LTO (litij titanov oksid)**
 - hitre polnilnice
 - Hitro polnjenje, dolg življenjski cikel, nizka energijska gostota



- Aplikacije:

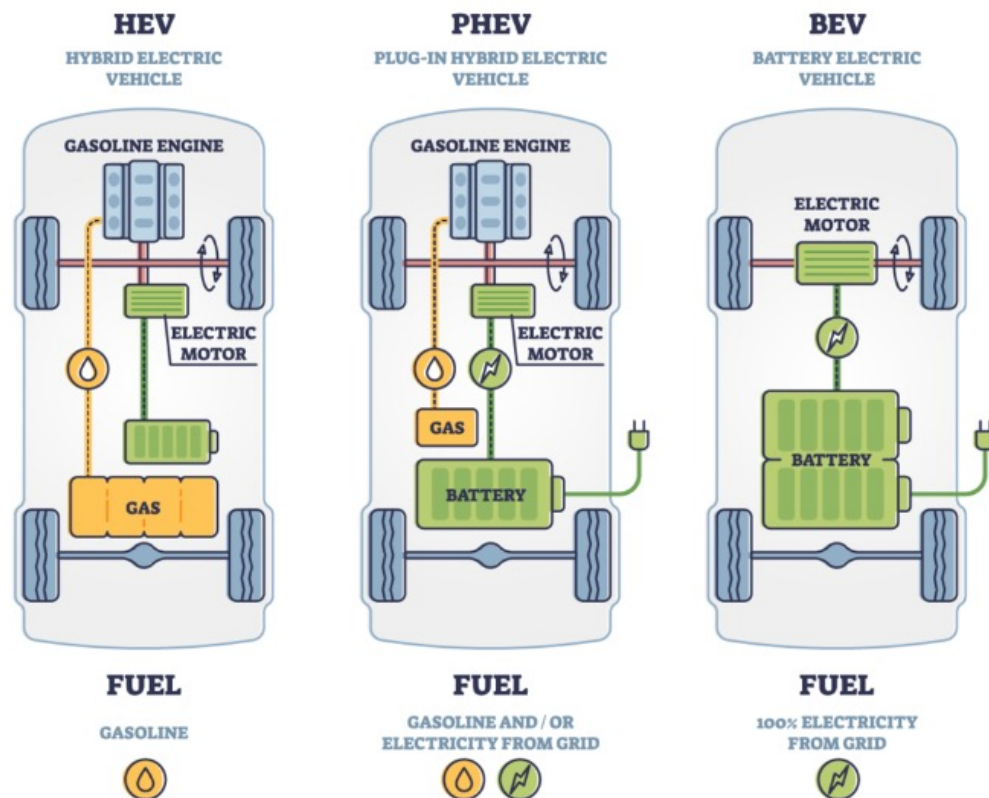
- 90 % + EVs
- HEE
 - Upravljanje OVE
- Potrošniška elektronika

- Prednosti:

- Visoka energijska gostota (150-300 Wh/kg)
- Dolga življenjska doba (500-3000 ciklov)
- Lahke
- Kratek čas polnjenja
- Nizka stopnja samopraznjenja
- Brez spominskega efekta



Baterije – LI-ION



- *EVs (BEVs, PHEVs, HEVs)*
 - NMC – večji doseg, LFP – nižja cena
 - Energijska gostota baterij 250–300 Wh/kg
 - 1500 do 3000 ciklov (10 do 15 let)
 - Hlajenje:
 - Z zrakom (star način)
 - Hlajenje s tekočino
 - Polnilnice:
 - Ultra-hitre polnilnice:
 - Do 400 kW za EVs
 - Polnilnice premočne za trenutno tehnologijo (paradoks jajca in kokoši)
 - DC hitro polnjenje:
 - Do 80 % v 15–30 minutah



HEE

- Možna sklopitev z OVE napravami
- Zagotavljanje stabilnosti omrežja in regulacije frekvenc
- Zmanjševanje konic
- Porazdelitev obremenitev
- Nadomestno napajanje za kritično infrastrukturo
- Uporaba v mikroomrežjih
- Vrsta celic odvisna od aplikacije
 - HE/HP
- Razmislek! So HEE primerne za sezonsko shranjevanje energije?



Recikliranje

- Večina CRM izven Evrope, zaloge CRM si lasti Kitajska
- Reciklaža ključna iz ekonomskega, ekološkega, etičnega vidika
- Regulation (EU) 2023/1542 – ureditev EU na področju baterijskih odpadkov

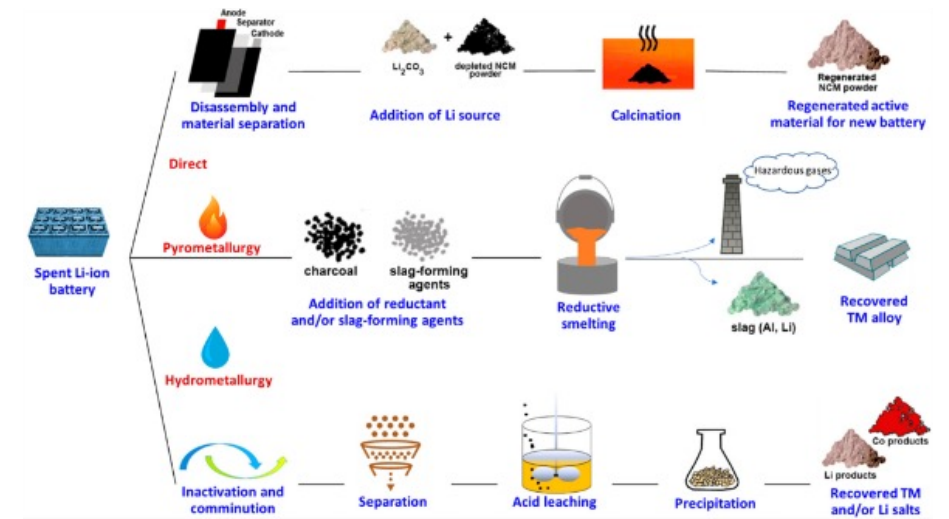
Second-life

- Baterije neprimerne za splošno uporabo ob padcu kapacitete pod 80 % nominalne kapacitete
- 80 % še vedno visoka kapaciteta
- Možnost uporabe kot HEE v stanovanjske in industrijske namene, stabilizacija mikroomrežij, rezervno napajanje...
- Varnostni vidik! – kemična stabilnost občutno zmanjšana pod 80 %, ni urejene zakonodaje za ugotavljanje primernosti posameznih baterij



Recikliranje

- Pirometalurški postopki
 - Uveljavljena tehnologija
 - Visokotemperaturni postopek z namenom ekstrakcije CRM
 - Litij se ne reciklira, sežig povzroča CO₂ izpuste
- Hidrometalurški postopki
 - Uporaba različnih kislin in drugih kemijskih spojin
 - Manj energijsko intenzivna, reciklira se lahko več različnih materialov
 - Reciklira se lahko tudi baterije z različno kemijsko sestavo
 - Kemijski odpadki, visoka cena
- Direktno recikliranje
 - State-of-the-Art
 - Postopek temelji na obnovi baterije brez porušanja kemijske strukture materialov
- Mehanski predpostopek
 - Preliminarni postopek, loči se plastika, kovine, ogrodje...
 - Izloči se "Black mass"
 - KAJ vsebuje "Black mass"?

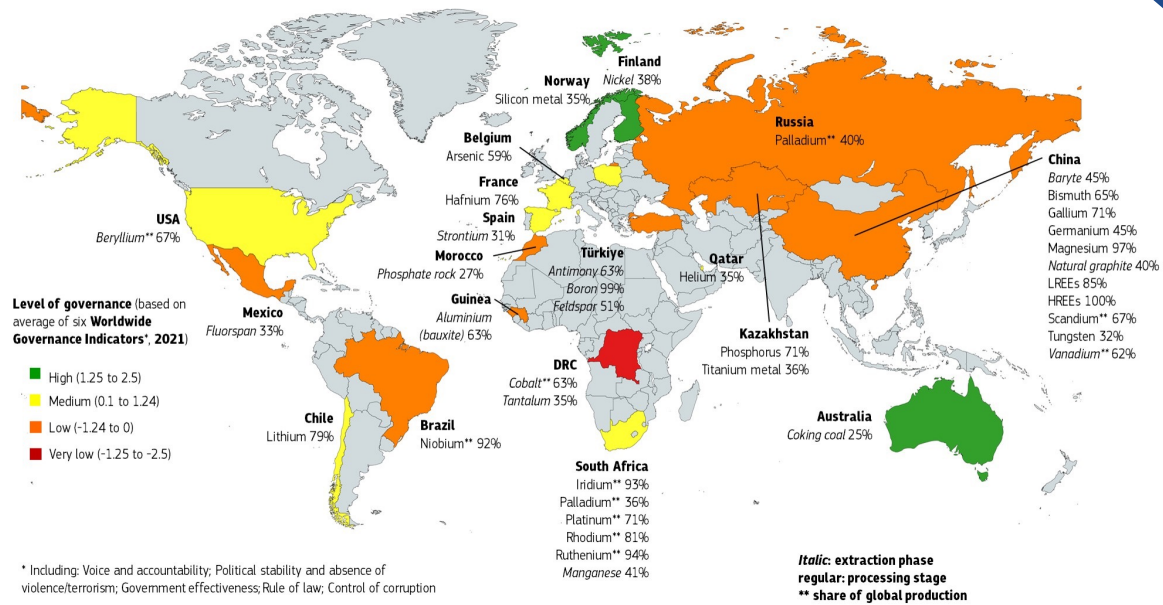


Baterije – LI-ION

- **Izzivi**
 - **Pridobivanje CRM**
 - Kitajska proizvede 60 % vseh Li-ion baterij
 - Evropa odvisna od drugih entitet
 - Ekonomski, ekološki, etični vidik
 - **Varnost**
 - Pregrevanje (angl. Thermal Runaway) – samovžig
 - Toksičnost (proizvodni procesi)
 - **Cena**
 - **Tehnološke zahteve:**
 - Izboljšati energijsko gostoto
 - Hitrost polnjenja
 - Omogočiti alternativnih tehnologijam preboj na trg
- **Oblikovanje zakonodaje**
 - Potni list
- **Recikliranje, Second-life**
 - Zanemarjanje v preteklosti, tehnologija zaostaja
 - Neprimerna zakonodaja v tretjem svetu
 - Neprimerna odlagalna mesta



Baterije – LI-ION

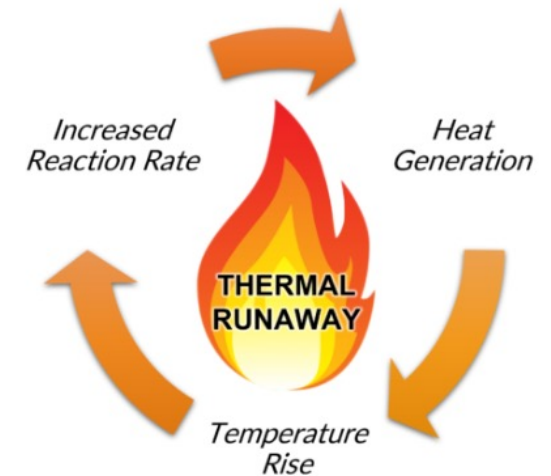


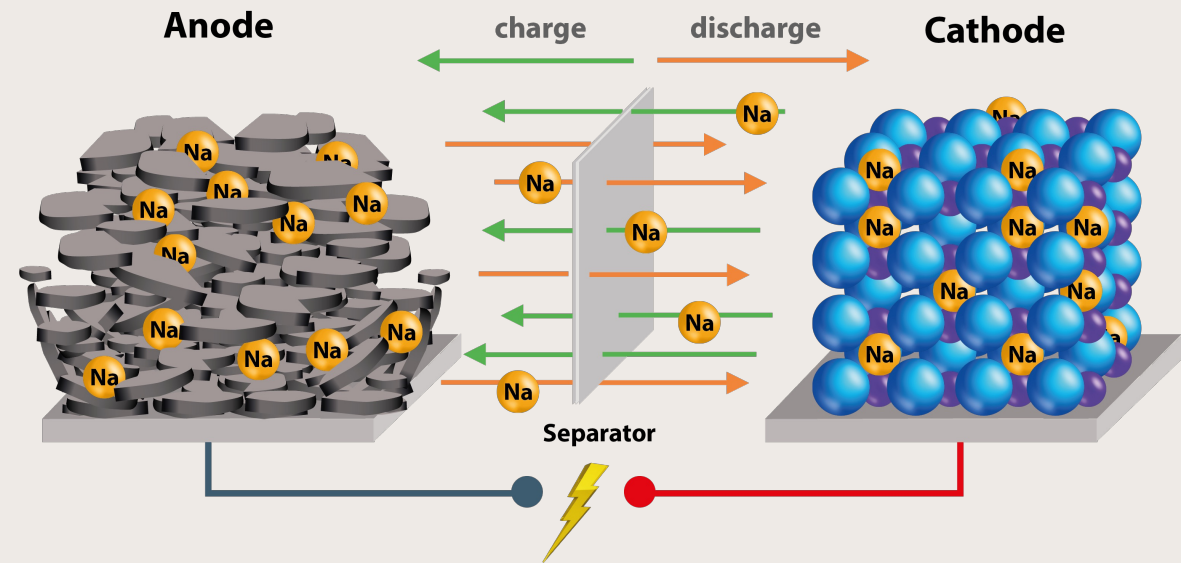
* Including: Voice and accountability; Political stability and absence of violence/terrorism; Government effectiveness; Rule of law; Control of corruption

Initiation Events

External Causes:
Electrical Abuse
Mechanical Abuse
Thermal Abuse

Internal Causes:
Defects
Self-Heating Ignition





Inovativne tehnologije /State-of- the-Art

- Solid-State
- Na-ionske
- Li-S
- Flow
- Cink-zrak
- Si anoda



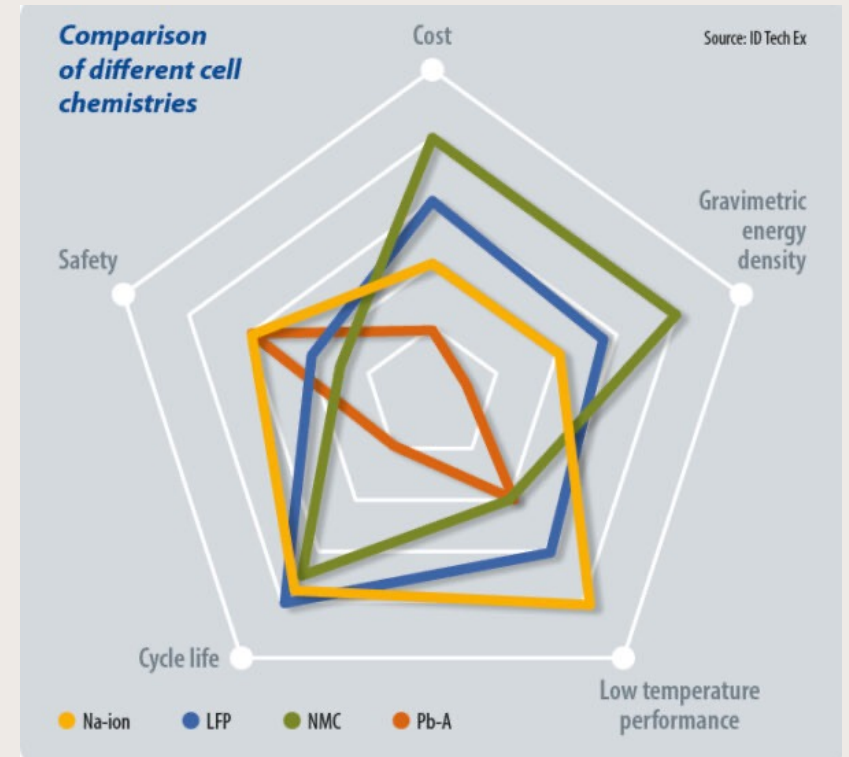
Solid-State

- Elektrolit je v trdnem agr. stanju
- Prednosti:
 - Izboljšana varnost (negorljive)
 - Energijska gostota (2 x napram Li-ion)
 - Stabilnejše
 - Odpornejše proti degradaciji
- Izzivi:
 - Visoka cena (trenutno)
 - Zahteven postopek izdelave
 - Swelling (podobna težava kot pri uporabi Silicija na anodi) zavira komercializacijo
- Aplikacije
 - EVs (Toyota na trgu 2027/2028, doseg do 1000 km)
 - BESS
 - Potencialna uporaba v letalstvu
 - Semi-Solid-State



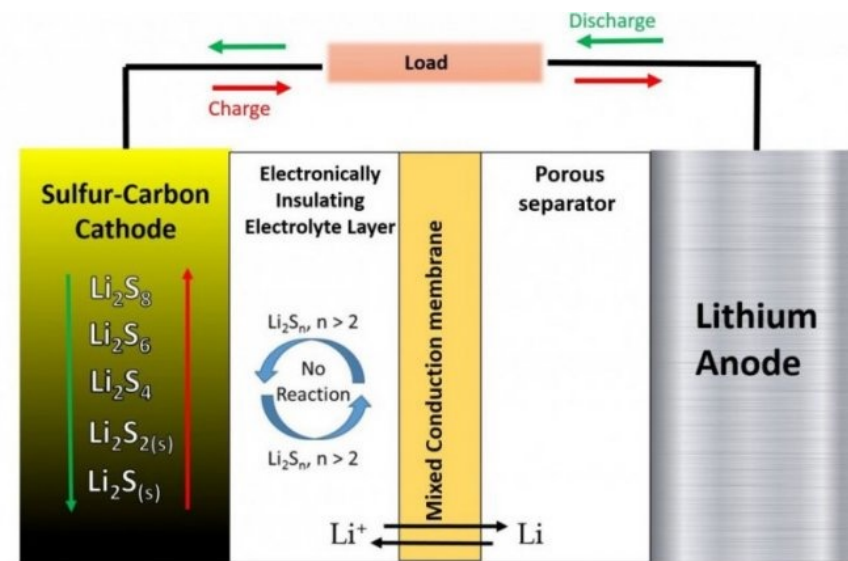
Na-ion

- Zamenjava Li za Na
- Natrij ni CRM
- Namesto grafita uporaba grafena, trdega ogljika na A
- Prednosti:
 - Nižja cena
 - Na manj reaktiven (izboljšana varnost!)
 - Okolju prijaznejše
 - Boljše delovanje ob nizkih temperaturah
- Izzivi:
 - Nižja energijska gostota (100-150 Wh/kg)
 - Krajša življenjska doba
- Aplikacije:
 - BESS
 - Nižja gostota zahteva večjo površino – neprimerne za EVs, telefone



Li-S

- Li kot anodni material, S kot katodni material
- Li ioni se med praznjenjem premikajo iz A proti K, kjer tvorijo litijeve polysulfide, ki se v nadaljevanju razgradijo do Li_2S . Razgradnja je eksotermen process – sprošča se energija
- Elektrolit v tekočem agregatnem stanju
- Prednosti:
 - Visoka energijska gostota
 - Nizka cena
 - Pogosti materiali v naravi
- Izzivi:
 - Polisulfidi so izpostavljeni procesu "shuttling", kjer prehajajo med A in K – zmanjšana učinkovitost baterije
 - Tvorjenje dendritov na A
 - Dodatek prevodnih premazov na K (žveplo slabo prevodno)
 - Kratka življenjska doba
- Aplikacije:
 - Energijsko intenzivni procesi



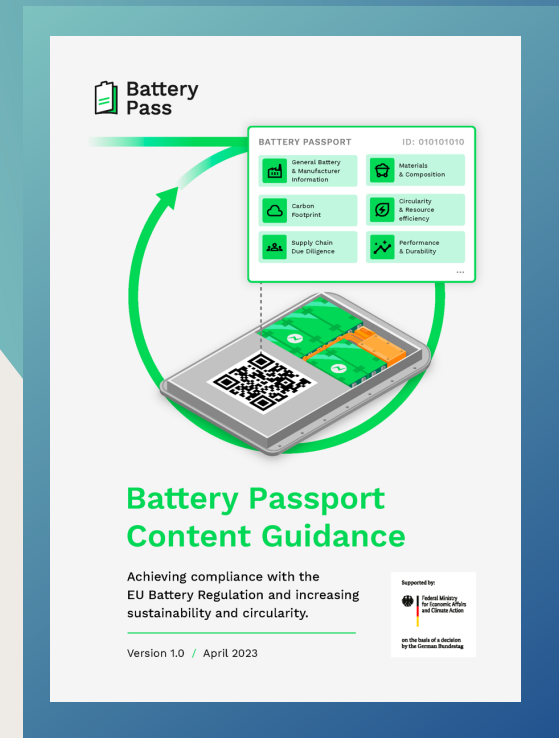
<i>CRM</i>	<i>2025</i>	<i>2030</i>
Li	35 %	70 %
Co	90 %	95 %
Cu	90 %	95 %
Ni	90 %	95 %

Zakonodaja

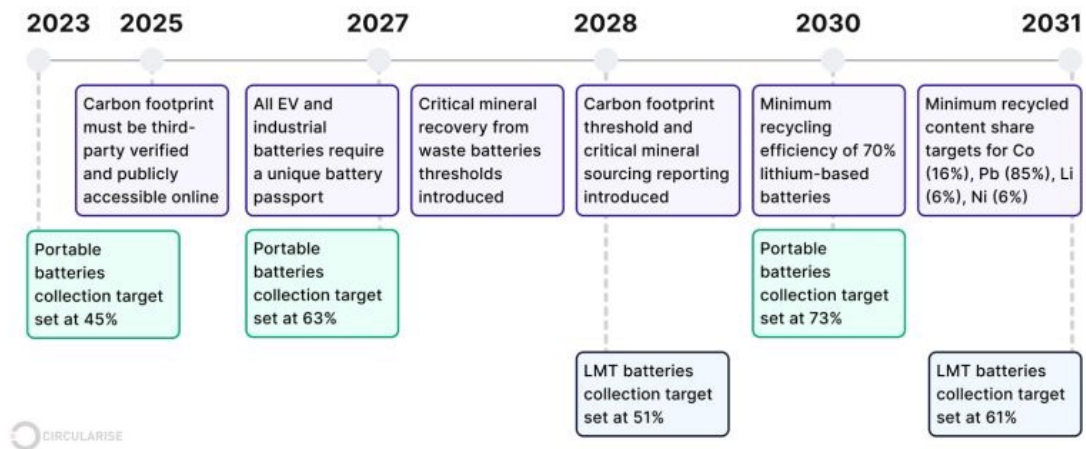
- EU je leta 2023 sprejela zakon na področju baterij in baterijskih odpadkov
- Regulation (EU) 2023/1542
 - Poudarek na reciklaži CRM
 - Stremenje k neodvisnosti
 - Organizirano zbiranje baterij
 - 73 % vseh malih baterij do 2030
 - 100 % za industrijske in EVs baterije do 2030
 - Ustvarjanje evropske proizvodne verige
 - **Predstavitev digitalnega potnega lista**

Digitalni potni list

- Uveljavljen z namenom sledenja sestave baterije, učinkovitosti, življenjske dobe...**TRAJNOSTNEGA PREHODA**
- Ključno je izboljšati sledljivost materialov, procesov, ki so se uporabljali za proizvodnjo, uporabo in recikliranje baterij
- Informacije:
 - Sestava baterije
 - Ogljični odtis
 - Tehnični podatki
 - Učinkovitost recikliranja
 - Varnosti napotki
 - Izvor materialov
 - Vzdrževanje



Upcoming Battery Regulations

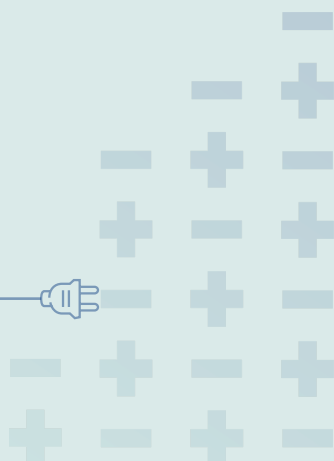


Digitalni potni list

- Dosegljiv preko QR kode
- S 1.1.2027 bodo vse industrijske in EVs baterije potrebovale potni list (EU)
- 2030 vse baterije
- Vsaka baterija na evropskem trgu ne glede na državo izdelave
- Zakonodaja ni dokončno določena
- Razmislek:
 - Potencialne težave?
 - Konkurenčnost evropskega trga?
 - Kdo bo preverjal vsebino potnega lista?
 - Kakšne bodo kazni?

European Battery Alliance (EBA)

- Ustanovljena leta 2017
- Spodbuda trajnostnega in konkurenčnega razvoje evropske industrije
- Sustainable battery value chain
- Gradnja gigatovarn, spodbujanje novih tehnologij
- Povezava med raziskovalnimi ustanovami, industrijo, politiko
- Spodbuda na področju recikliranje, Second-Life Applications
- EVs, BESS, potrošniška elektronika
- RAZMISLEK: Uspešnost EBA? Konkurenčnost evropskega trga? Avtomobilske industrije? Volkswagen? NorthVolt?



Battery cell production as of May 2024

Published by: **BATTERY-NEWS.COM**



NW: 82 GWh + X

FREYR 2025, Mo i Rana 29 GWh
MORROW 2028, Agder 43 GWh
BEYONDER 2024, Rogaland 10 GWh
elinor. 2026, Trondheim X GWh

SE: 110 GWh + X **NOVO**

2026, Gothenburg 50 GWh
northvolt 2025, Skelleftea 60 GWh
northvolt 202X, Borlänge X GWh
2030, Skövde X GWh

FI: 90 GWh **SVOIT** 2030, FI 50 GWh

FREYR 202X, Kotka 40 GWh
FREYR 202X, Vaasa X GWh

LV: X GWh **Anodox** 202X, Riga X GWh

EU: 150 GWh + X

SVOIT 2030, X GWh
InoBat 202X, Europe X GWh
PowerCo 2030, Europe 120 GWh
northvolt 202X, Europe 30 GWh

$\Sigma = 1,1917 \text{ GWh} + X$

All data are based on the maximum annual capacity at the theoretically highest expansion stage

NL: 1 GWh + X **EURO** 2023, Europe 1 GWh + X

GB: 145 GWh + X

TATA MOTORS 2026, Somerset 40 GWh
NE Nanotech Energy 202X, GB X GWh
202X, Coventry 60 GWh
Emission AESC 2030, Sunderland 35 GWh
amte 2023, GB 10 GWh + X

FR: 174.5 GWh

TIAMAT 2030, Douvrin 5 GWh
QCC 2030, Douvrin 40 GWh
2030, Dunkirk 50 GWh
Blue Solutions 20XX, Quimper 1.5 GWh
Emission AESC 2029, Douai 30 GWh
ProLogium 20XX, Dunkirk 48 GWh

ES: 140 GWh

PowerCo 202X, Sagunt 60 GWh
Phi4tech 2027, Noblejas 20 GWh
BASQUEVOLT 2027, Vitoria-Gasteiz 10 GWh
Emission AESC 2025, Navalmodal de la Mata 50 GWh

PT: 45 GWh **CALB** 2028, Portugal 45 GWh

BE: 3 GWh **ABEE** 202X, Seneffe-Manage 3 GWh

CH: 7.6 GWh **SCB** 202X, Frauenfeld 7.6 GWh

MES 2025, Horní Suchá 15 GWh **CZ: 15 GWh**

IT: 118 GWh
QCC 202X, Termoli 40 GWh
FRAM 2024, Terevola 8 GWh
ITALVOLT 2024, Italy 70 GWh

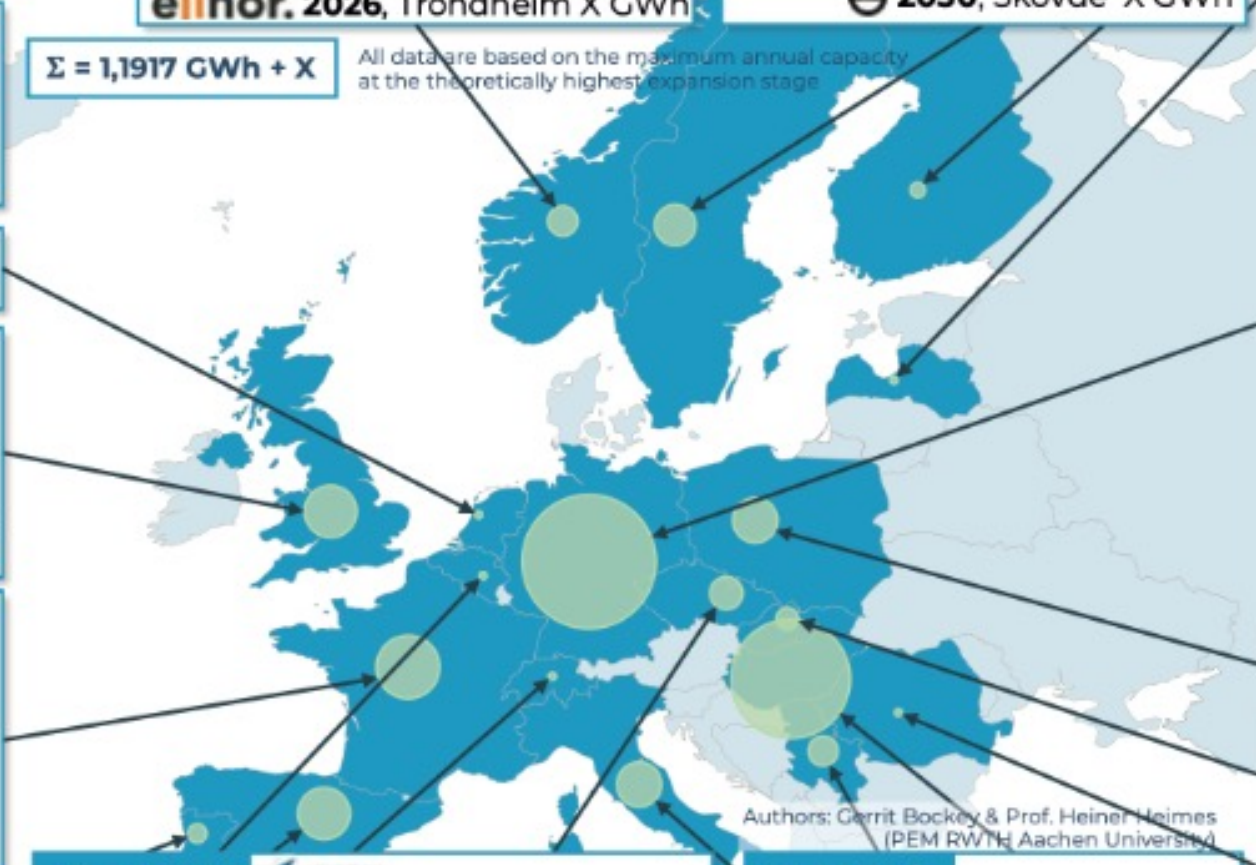
SB: 80 GWh
ElevenEs 2027, Subotica 48 GWh
InoBat 2032, Serbia 32 GWh

PL: 115 GWh **LG Energy Solution** 2025, Wroclaw 115 GWh

SK: 50 GWh **InoBat** 2020, Voderady 10 GWh
InoBat **Gotion** 202X, Šurany 40 GWh

RO: 22 GWh **ABEE** 2026, Galati 22 GWh

HU: 215.3 GWh
CATL 2025, Debrecen 100 GWh
EVE 2026, Debrecen 28 GWh
SAMSUNG 202X, Göd 40 GWh
2028, Komarom & Ivancsa 47.3 GWh
SK innovation 202X, Nyiregyhaza X GWh



Authors: Gerrit Bockey & Prof. Heiner Heimes (PEM RWTH Aachen University)

