



OVE in NOVE tehnologije v energetiki 1

OVE



Uveljavljene tehnologije

- Sončna energija (PV)
- Vetrna energija
- Vodna energija (HE)

Inovativne tehnologije

- Vodik
- Metan
- RFNBO (obnovljiva goriva nebiološkega izvora)
- Tehnologije za zajem CO₂
- SMR (Small Modular Reactors)

Bioenergija

- Biomasa
- Bioplin
- Geotermalna energija
- SPTE (soproizvodnja električne energije)

HEE

- Samostojni sistemi
- Sistemi s PV

Seven countries now generate 100 per cent of their electricity from renewable energy - two are in Europe.

V SVETU...

Renewable energy passes 30% of world's electricity supply

In 2025, RES will become the largest source of energy in the world - IEA report

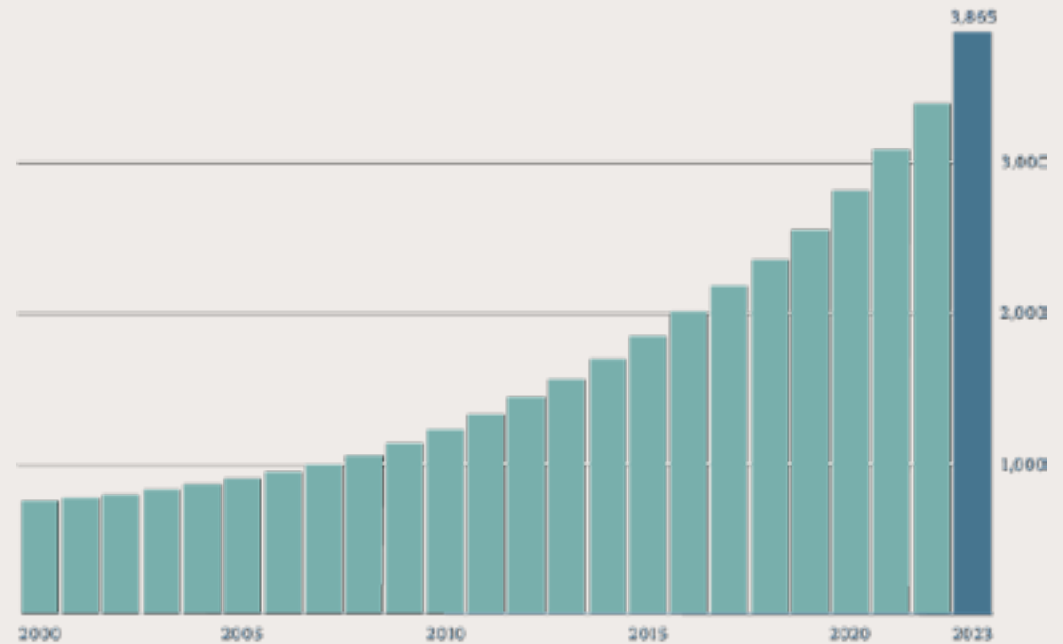
China is installing the wind and solar equivalent of five large nuclear power stations per week

Massive global growth of renewables to 2030 is set to match entire power capacity of major economies today, moving world closer to tripling goal

Senvion India plans to double manufacturing capacity by 2026

Senvion India aims to increase its manufacturing capacity to 2 gigawatts by 2026 and invest ₹840 crore in research and development. The company recently introduced a 4.2 MW wind turbine and plans to expand operations in the...

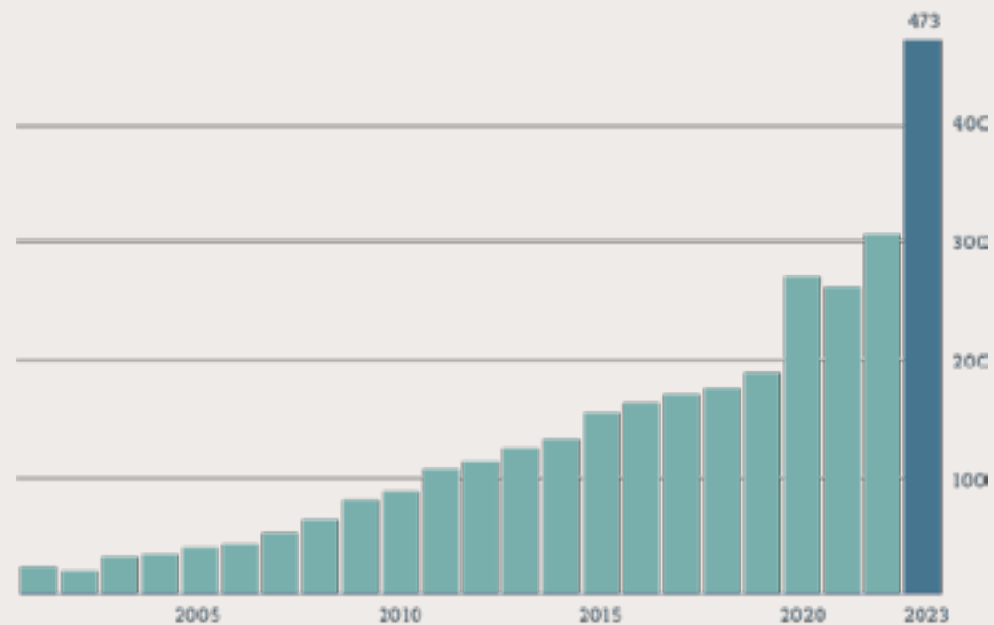
- IRENA (Mednarodna agencija za obnovljive vire energije)
 - 2023:
 - Kapaciteta: 3865 GW



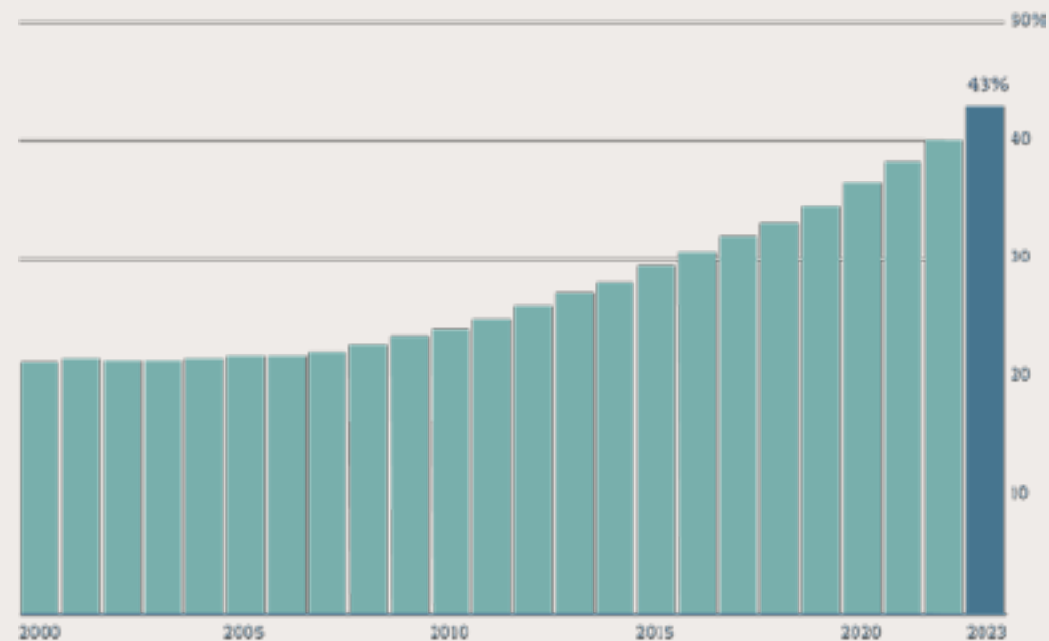
- IRENA (Mednarodna agencija za obnovljive vire energije)

- 2023:

- Kapaciteta: 3865 GW
 - + 473 GW v letu 2023



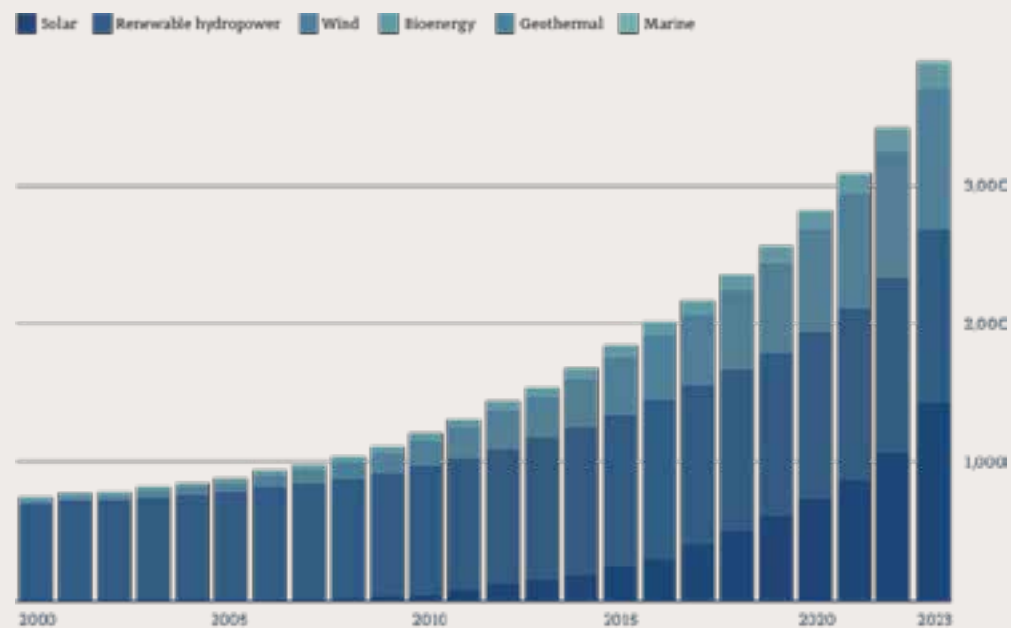
- IRENA (Mednarodna agencija za obnovljive vire energije)
 - 2023:
 - Kapaciteta: 3865 GW
 - + 473 GW v letu 2023
 - 43 % celotne porabe EE

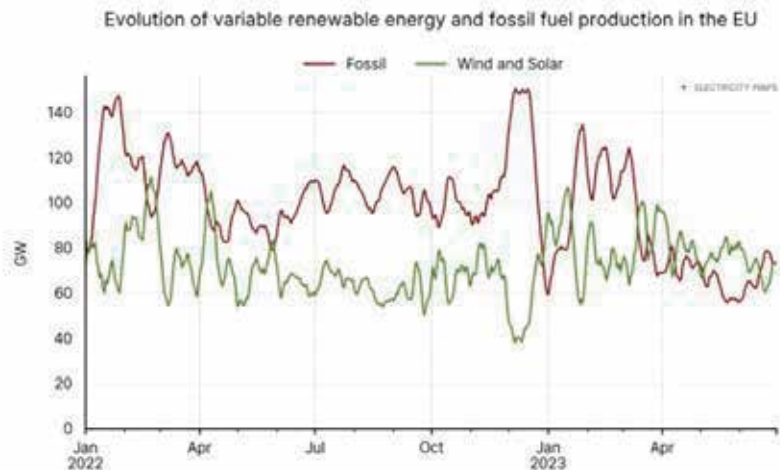


- IRENA (Mednarodna agencija za obnovljive vire energije)

- 2023:

- Kapaciteta: 3865 GW
 - + 473 GW v letu 2023
 - 43 % celotne porabe EE
 - 1. Kitajska, 2. Evropa...
 - Uveljavljene tehnologije:
 - HE
 - Sončna energija
 - Vetrna energija





EU surpasses 50% renewable power share for first time in first half of 2024

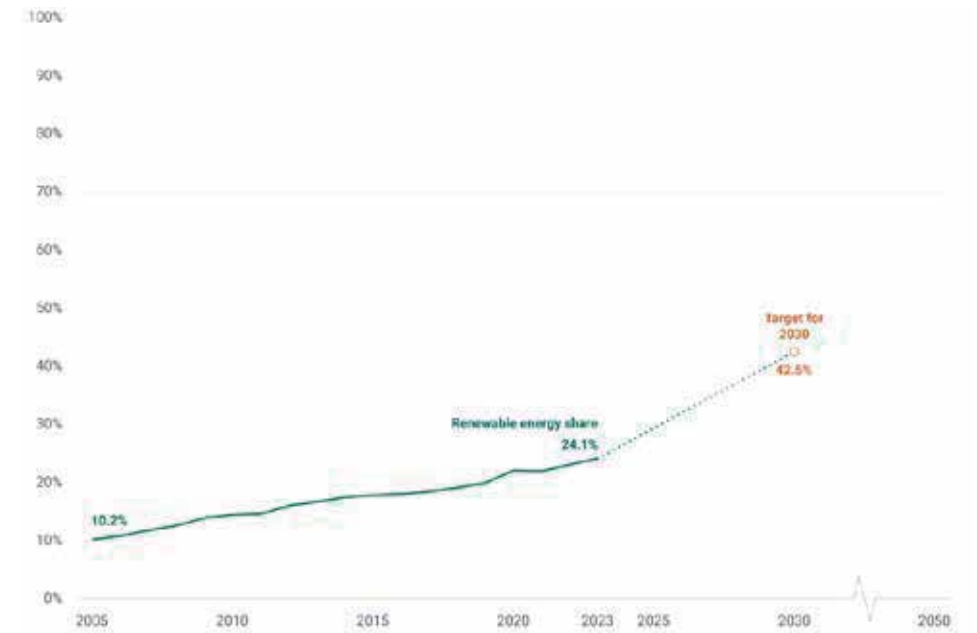
Bi Slovenija lahko pridobivala elektriko zgolj iz obnovljivih virov energije?

Two countries in Europe are powered by 100% renewable energy as wind capacity soars

V Evropi...

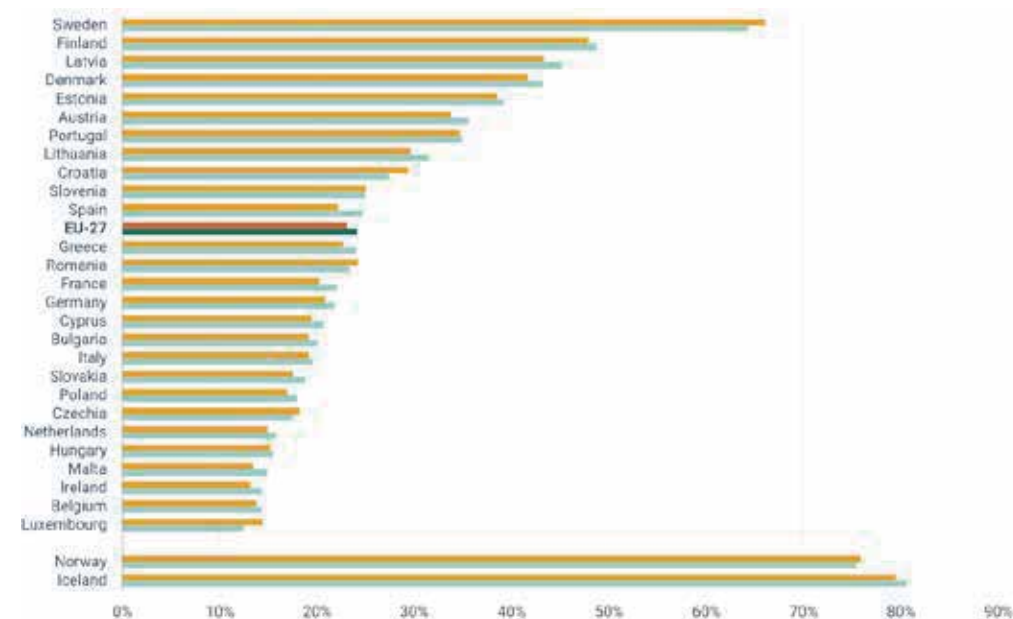
V EVROPI...

- EEA (Evropska agencija za okolje)
 - 2023:
 - 24,1 % celotne porabe energije
 - 44,3 % EE
 - 25,4 % toplota in hlajenje
 - 10,1 % transport



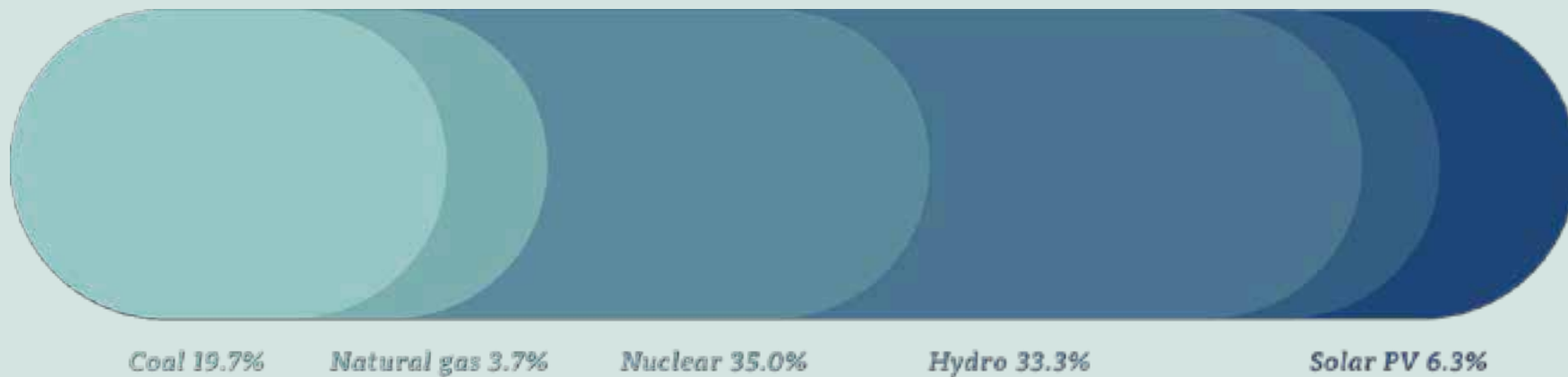
V EVROPI...

- EEA (Evropska agencija za okolje)
 - 2023:
 - 24,1 % celotne porabe energije
 - 44,3 % EE
 - 25,4 % toplota in hlajenje
 - 10,1 % transport
 - + 1 % v letu 2023

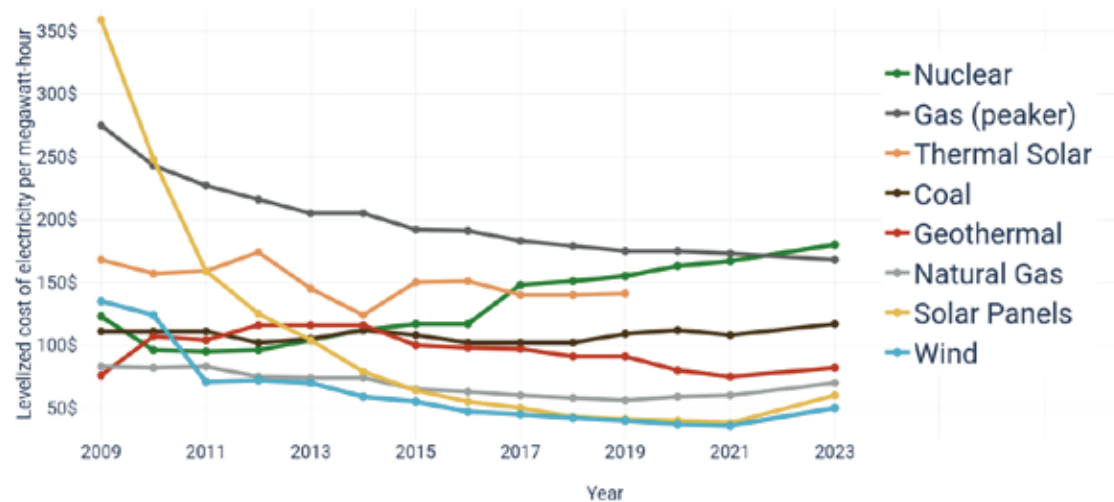


NEPN IN NAŠI CILJI...

- *Aktualno stanje:*
 - Leta 2023 25,3 % v bruto domači porabe energije – vmesni cilj dosežen
 - 2020,2021,2022 statistični prenos – skupaj 18 mil EUR
- *Cilji 2030:*
 - EE – 43,3 %
 - Toplota in hlajenja – 41,4 %
 - Promet – 20,8 %



Electricity costs according to data from Lazard



LCOE

- Levelized cost of electricity – Nivelirani stroški električne energije
- Opisuje povprečni neto strošek tehnologije, ki proizvaja električno energijo, skozi celotno življenjsko dobo

- Omogoča primerjavo tehnologij med seboj in služi kot orodje pri načrtovanju investicij

- LCOE=

$$\frac{\text{Vsota stroškov skozi celotno življenjsko dobo}}{\text{Vsota proizvedene električne energije skozi celotno življenjsko dobo}} \text{ [USD/W]}$$

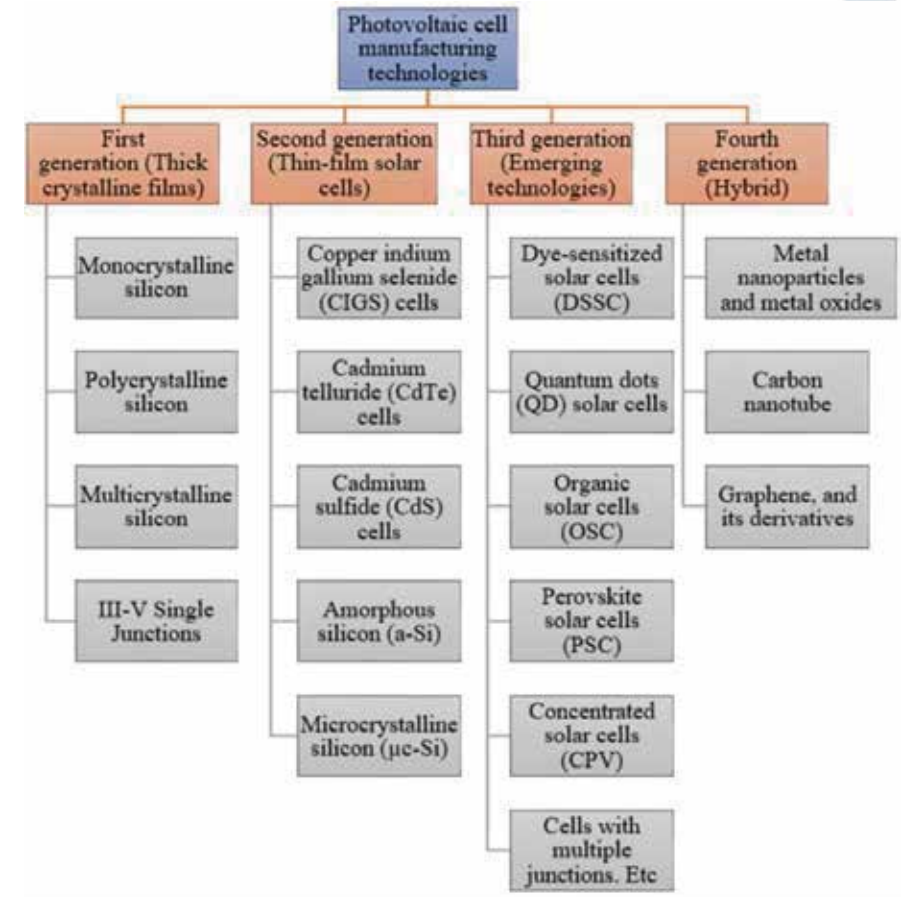
Fotovoltaični sistemi – PV

- Photo (light)
- Voltaic (electricity generation)
- Cena
 - 2010: 2,50 USD/W
 - 2023: 0,20-0,30 USD/W
 - LCOE: 0,02-0,04 USD/kWh
- Kapaciteta v letu 2023:
 - Svet: 1.418 GW
 - Kitajska: 400 GW
 - Evropa: 250 GW
 - ZDA: 150 GW



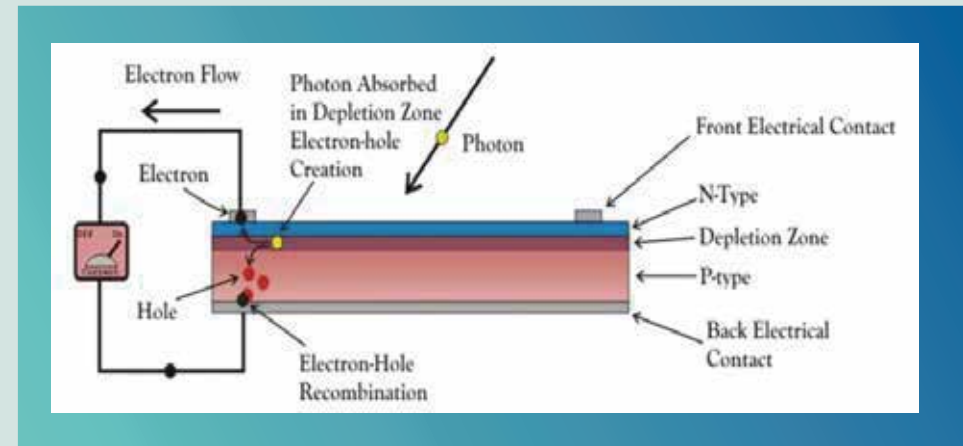
Koliko generacij PV sistemov poznamo?

- Monokristalni (1st)
 - Visoka učinkovitost (do 25 %)
 - Daljša življenjska doba
 - Višja cena
- Polikristalni (1st)
 - Nižja učinkovitost (15 do 20 %)
 - Nižja cena
- Tehnologija tankih filmov (2nd)
 - Amorfni Si, CdTe, CIGSA
 - Lahki, prožni materiali
 - Nižja učinkovitost (10 do 15 %)
 - Primerni za specifično uporabo (nizke T)
 - Recikliranje?

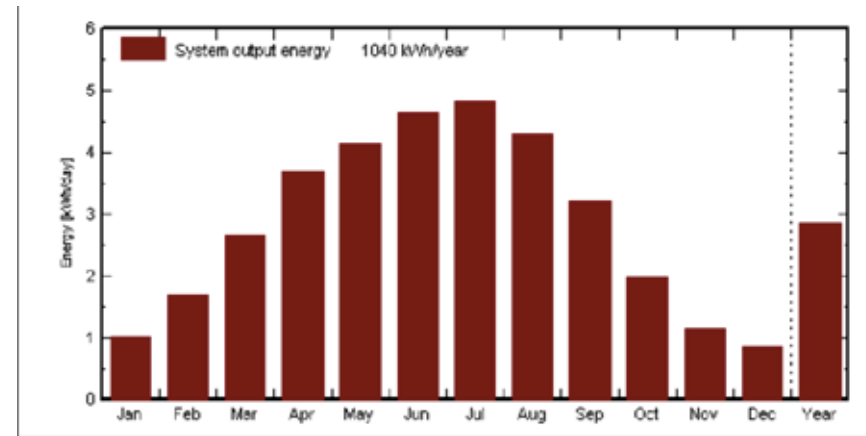
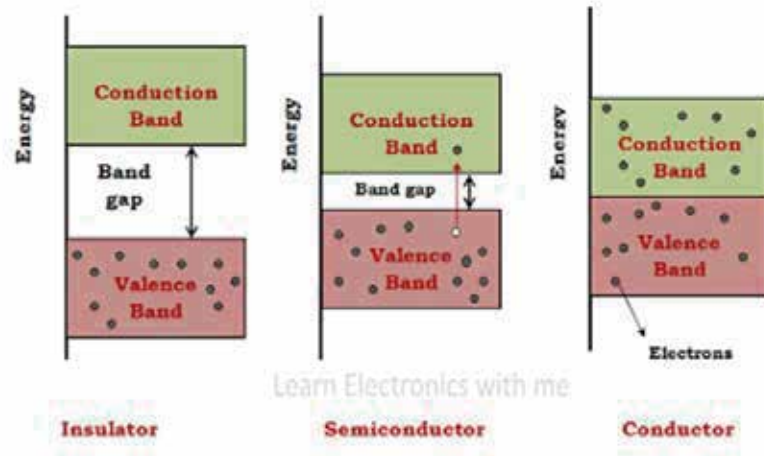


Teorija

- Zaščitno steklo, transparentni prevodni premaz, antirefleksni premaz
- Polprevodni material – silicij (monokristalni, polikristalni)
- Dopiran p-sloj
 - + naboj
 - Žveplo (S)
- Dopiran n-sloj
 - - naboj
 - Fosfor (P)

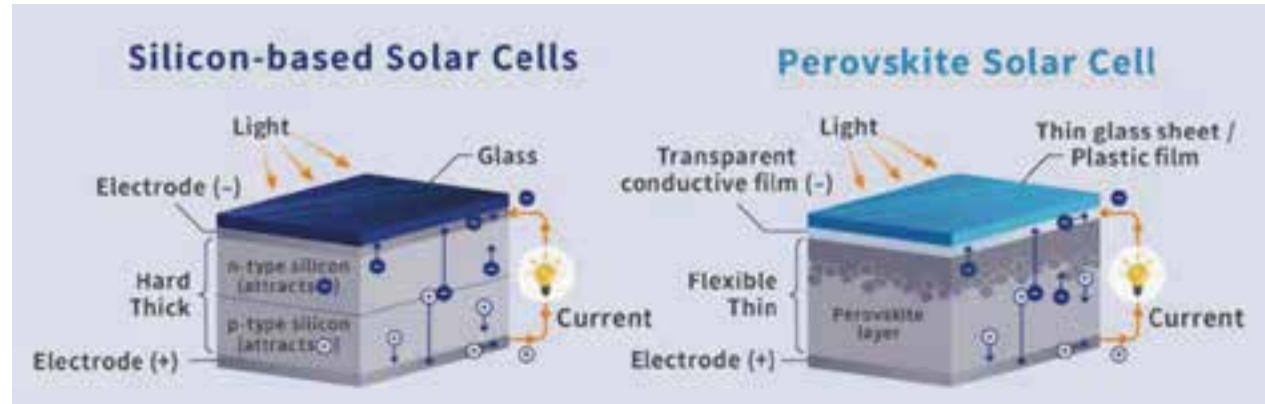


- Mehanizem
 - Svetloba (fotoni) se absorbirana polprevodnik – e- so izbiti v prevodni pas
 - e-, zbrani na robu p-sloja potujejo skozi n-sloj do zgornje površine kontaktne površine
 - Vrzeli (nepravilnosti v vsakem materialu) potujejo preko p-sloja do spodnje površine kontaktne površine
 - Ob povezavi zgornje in spodnje kontaktne površine prihaja do rekombinacije (e- v vrzel) – DC Dodatek inverterja oz. razsmernika za pretvorbo v AC



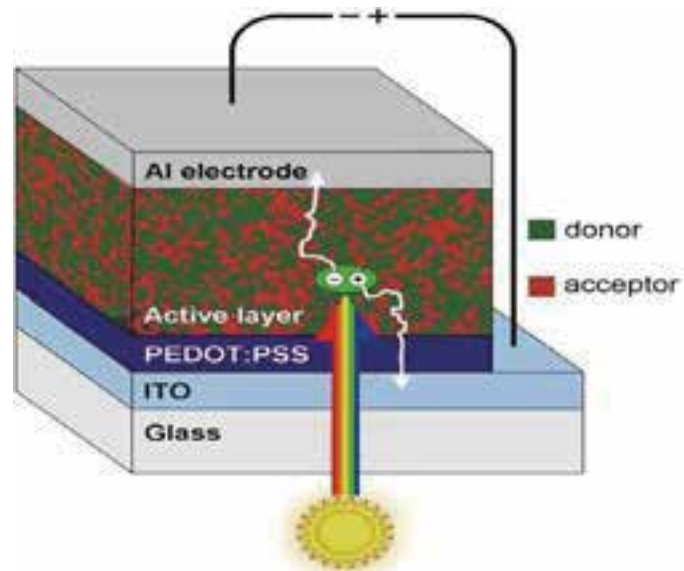
Razmislek

- Kdaj so PV najbolj učinkoviti?
- V poletnih mesecih se na grafu ustvarja "plato"
 - MAJ, JUN, JUL, AVG podobna proizvodnja – Zakaj?
 - POMOČ 1: Od česa je odvisna učinkovitost PV?
 - POMOČ 2: Kako temperatura vpliva na prevodni pas?
 - POMOČ 3: Ožji pas – večji/manjši potencial?



State-of-the-Art

- Perovskitni sistemi (3rd)
 - ABX_3 – A kation (org. ali anorg.), B kation (Pb, Sn), X anion (Cl, Br, I)
 - Visoka učinkovitost, širša absorbcija svetlobnega spektra (25 % +)
 - Nizki stroški izdelave
 - Izzivi: stabilnost in odpornost, toksičnost (vlaga, toplota, UV)



- *Organski sistemi (3rd)*

- Gradniki organske molekule, polimeri
- Elektrodna plast (kovina in prevodni oksidi-ITO)

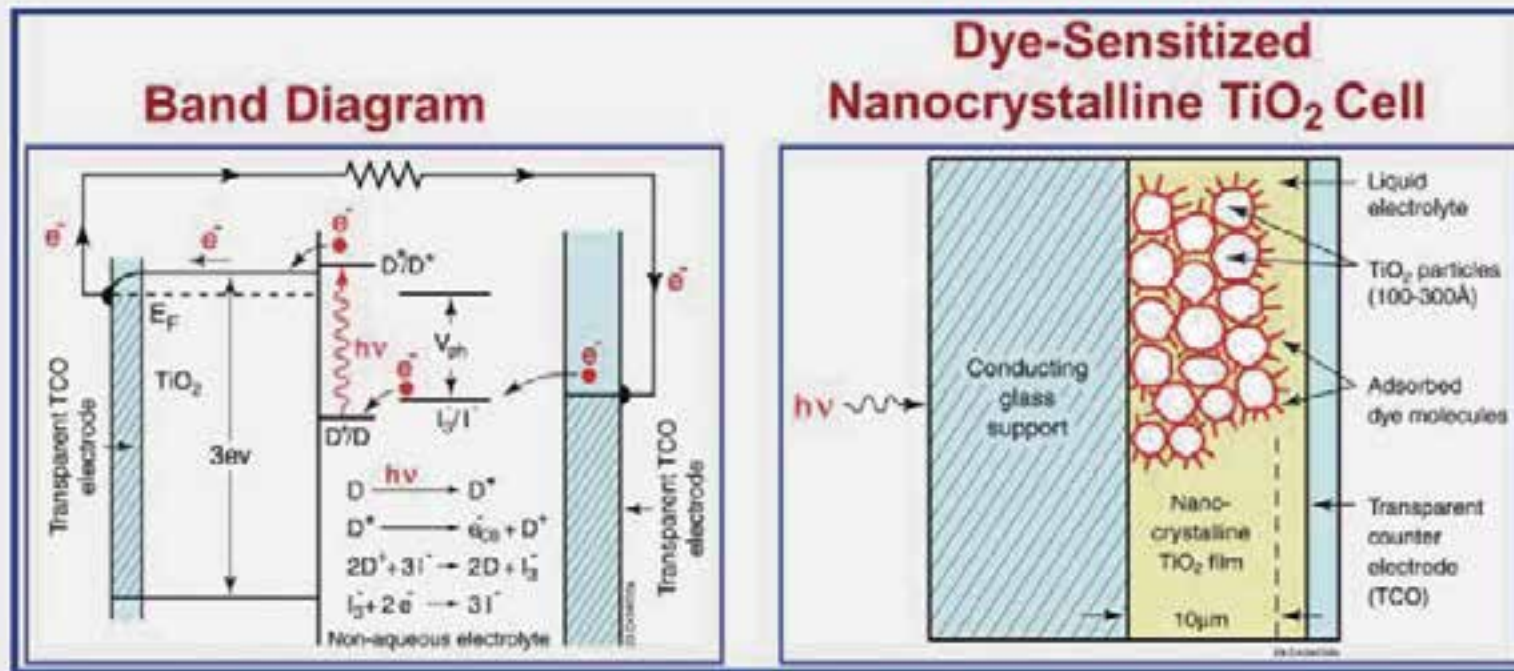
- Nižja učinkovitost (10–15 %)
- Nižja cena
- Kratka življenjska doba
- Polprepustni materiali (alt. aplikacije)

Fotovoltaični sistemi – PV

Kaj so Grätzlove celice?

- Barvno občutljivi sistemi (3rd)
 - Osnovni material TiO₂
 - Dodatek barvno občutljivega premazav elektrolitu
 - e⁻ izbiti iz premaza, TiO₂ služi kot nosilec e⁻
 - Regeneracija premaza s pomočjo elektrolita
 - Nižja cena, prožni sistemi, omogočajo prehod svetlobe
 - Nižja učinkovitost (7-11 %), obstojnost elektrolita
 - Raziskave na področju Solid-State elektrolita

Fotovoltaični sistemi – PV



Recikliranje, Second-life?

Mehansko

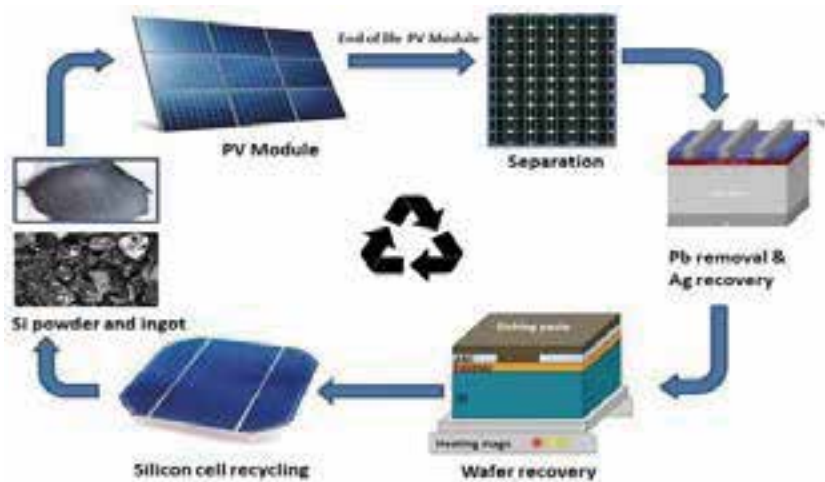
- Drobljenje in mletje
- Ločevanje na osnovi magnetnih lastnosti, kemijskih procesov, vodnih tehnik

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.

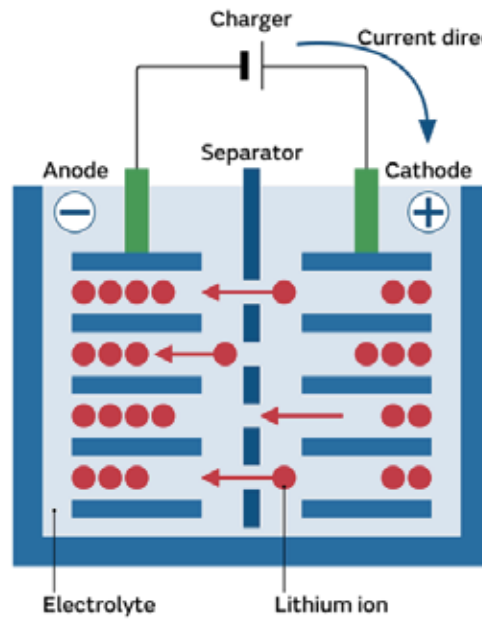
Battery storage key to renewable energy's success

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...

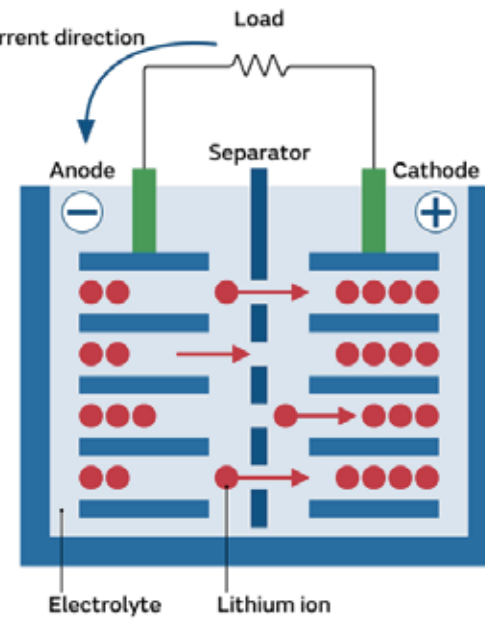
Lithium-ion battery caused deadly Harlem apartment fire, FDNY says

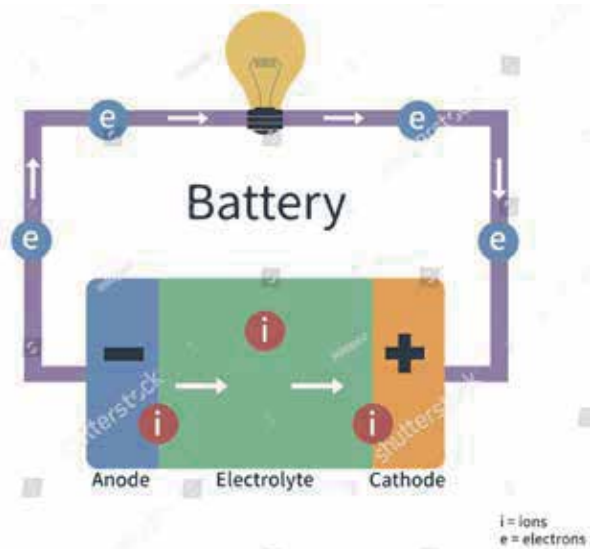
Švedska tovarna baterij: kljub milijardnim investicijam pred finančnim zlomom?

Charging



Discharging



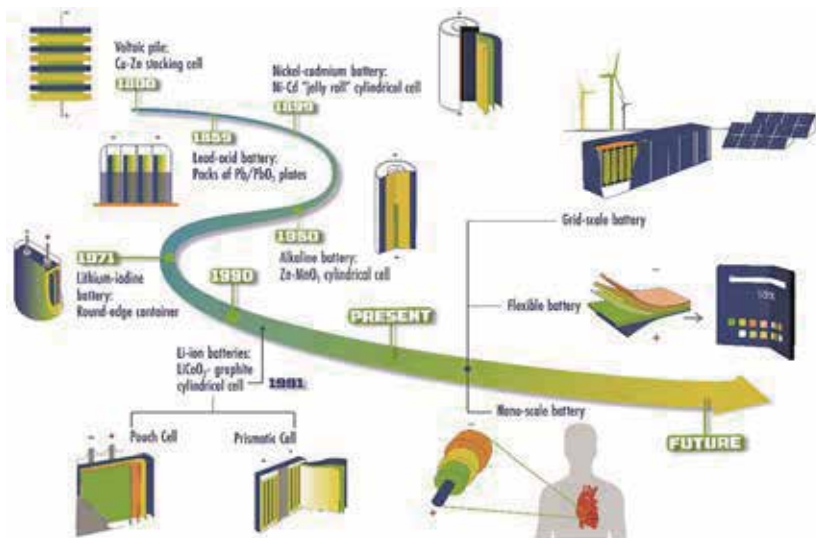


Baterije

- 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:

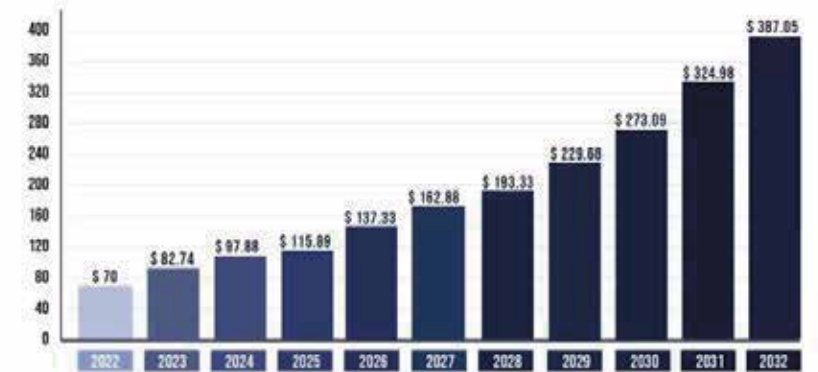
- Vrednost trga ocenjena na 120 milijard USD
- Vrednost trga Li-ion baterij dosega 70 % celotnega trga

2030:

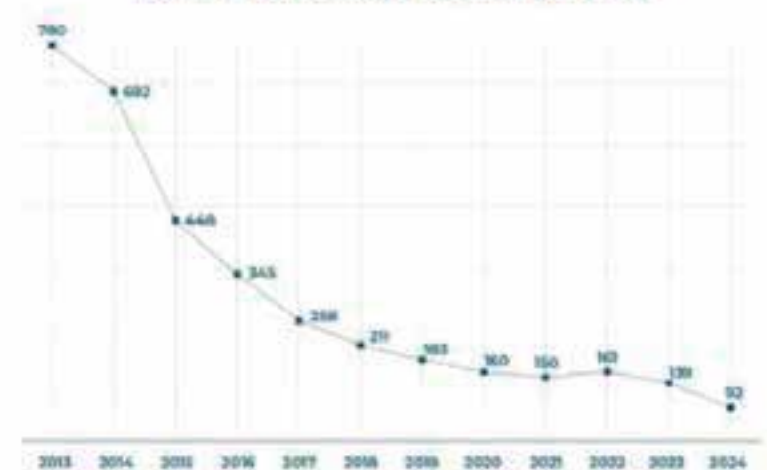
- 350 milijard USD (EVs, HEE)

PRECEDENCE
RESEARCH

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



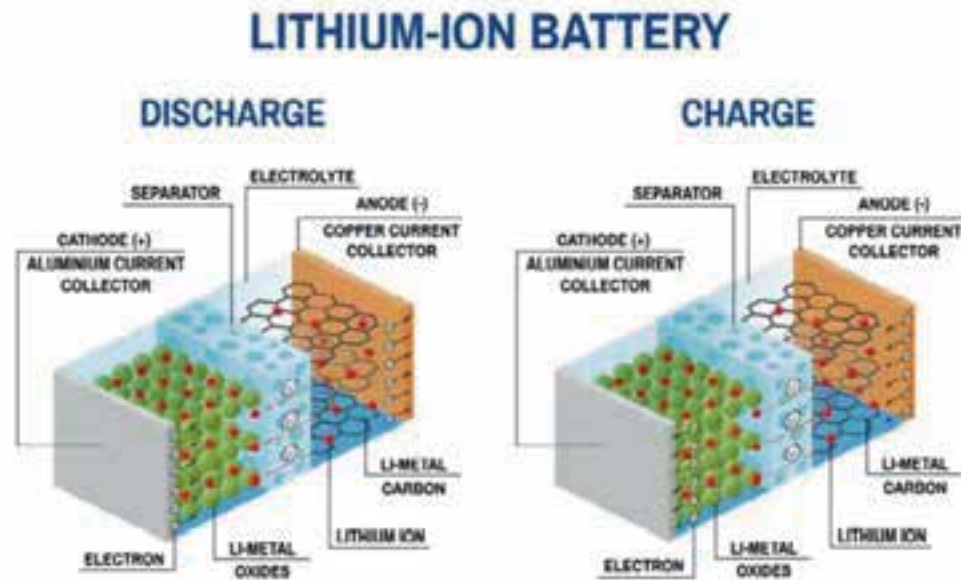
Lithium-Ion Battery Price, in \$ per kWh



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 zunanje 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



▪ *Oblike celic*

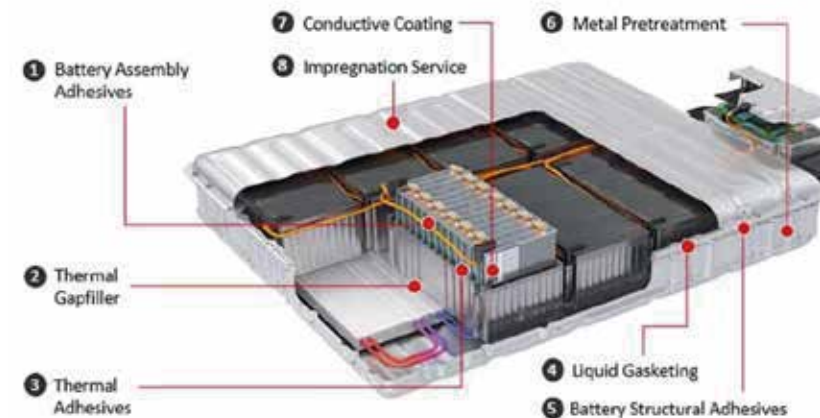
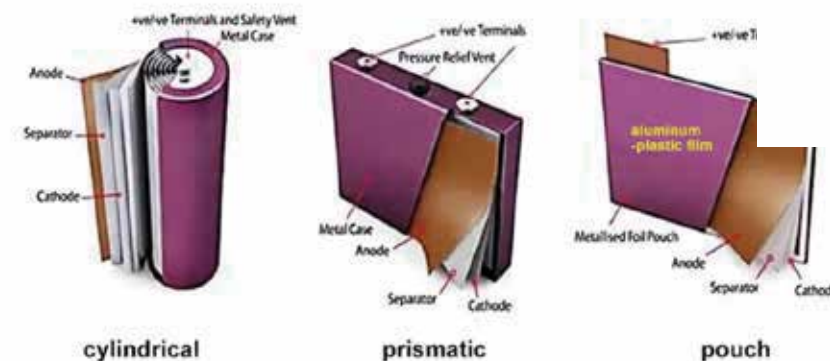
- Cilindrične
- Prizmatične
- Vrečaste (angl.pouch)

▪ *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:

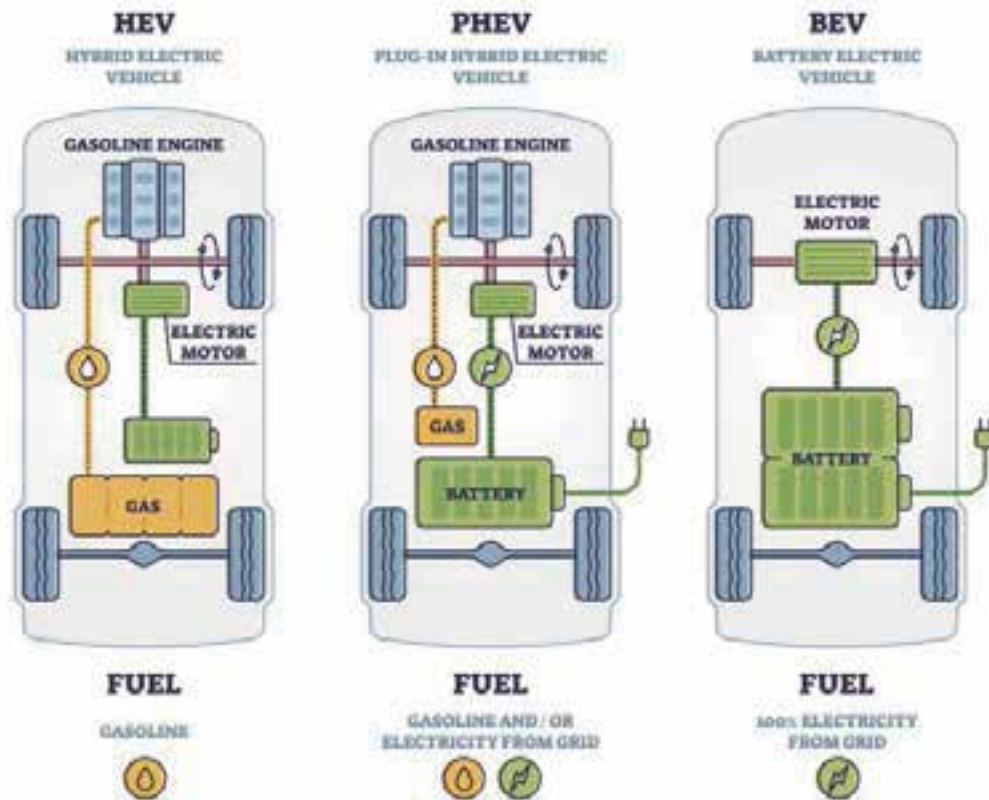
- 90 % + EVs
- HEE
 - Upravljanje OVE
- Potrošniška elektronika

- 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

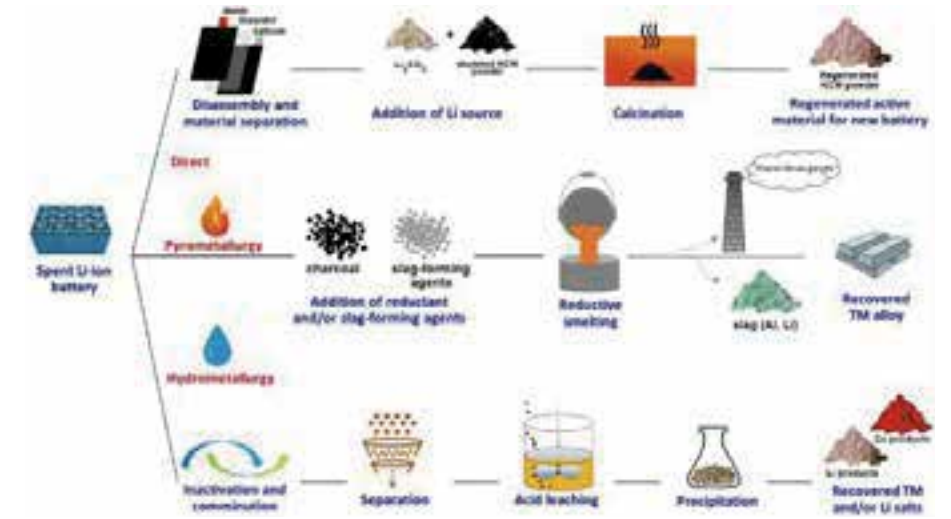
- Večina CRM izven Evrope, zaloge CRM si lasti Kitajska
- Reciklaža ključna iz ekonomskega, ekološkega, etičnega vidika
- Regulation (EU) 2023/1542 – ureditev EU na področju baterijskih odpadkov

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

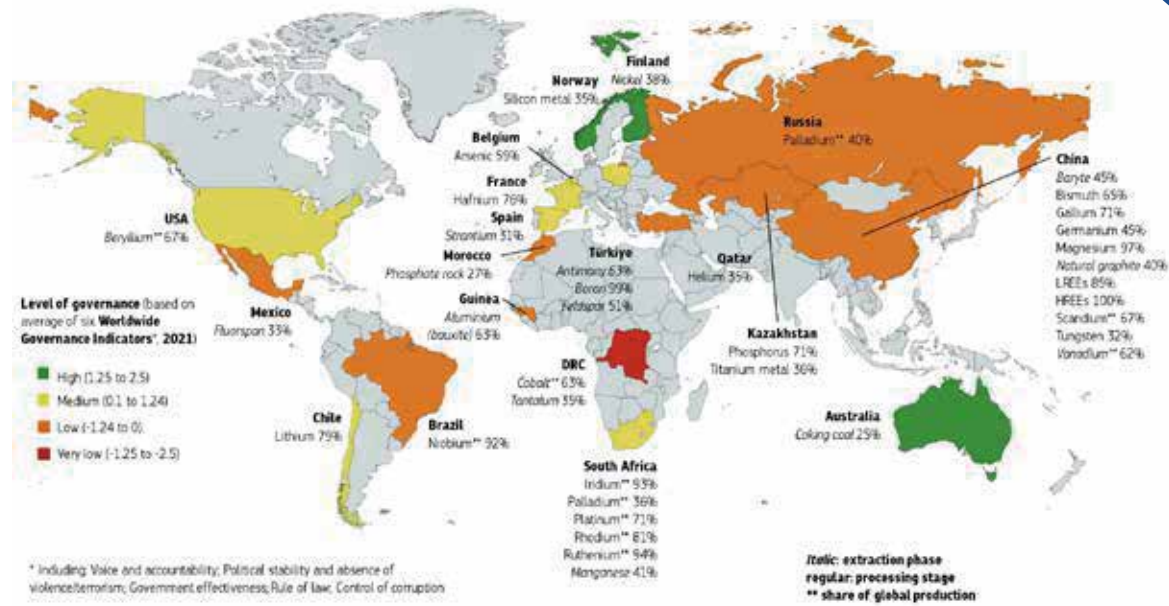
- Pirometalurški postopki
 - Uveljavljena tehnologija
 - Visokotemperaturni postopek z namenom ekstrakcije CRM
 - Litij se ne reciklira, sežig povzroča CO₂ izpuste
- Hidrometalurški postopki
 - Uporaba različnih kislin in drugih kemijskih spojin
 - Manj energijsko intenzivna, reciklira se lahko več različnih 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 proizvode 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

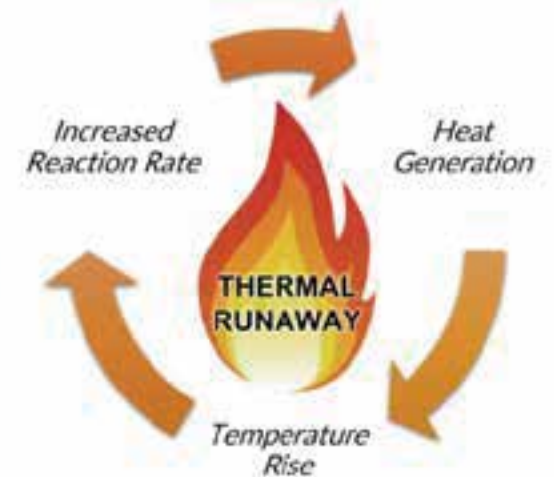
Baterije – LI-ION



Initiation Events

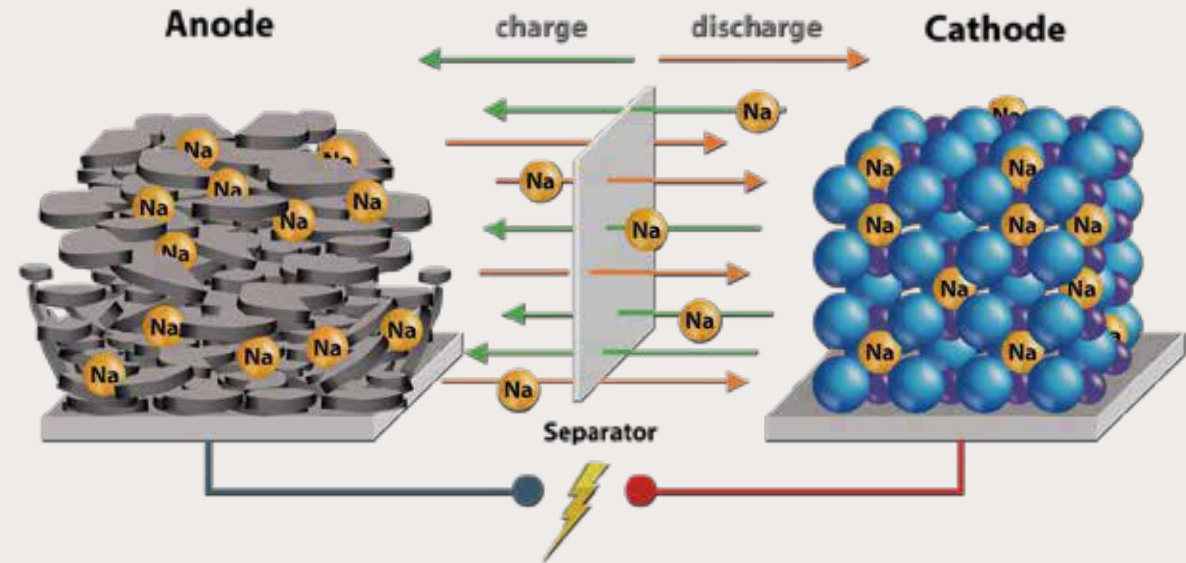
External Causes:
 Electrical Abuse
 Mechanical Abuse
 Thermal Abuse

Internal Causes:
 Defects
 Self-Heating Ignition



Inovativne tehnologije /State-of- the-Art

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



Baterije – LI-ION

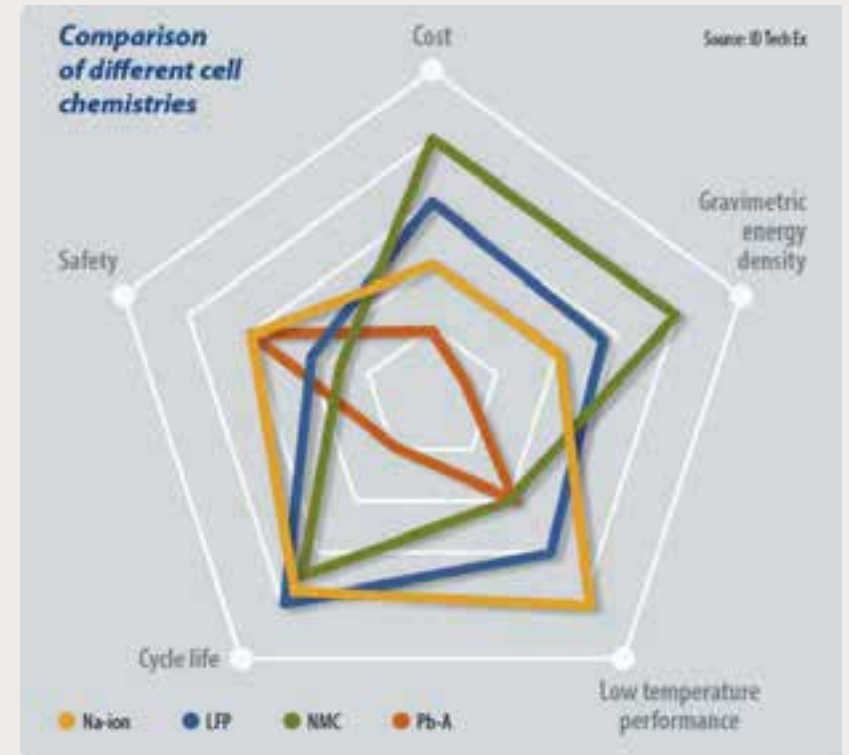
Solid-State

- 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



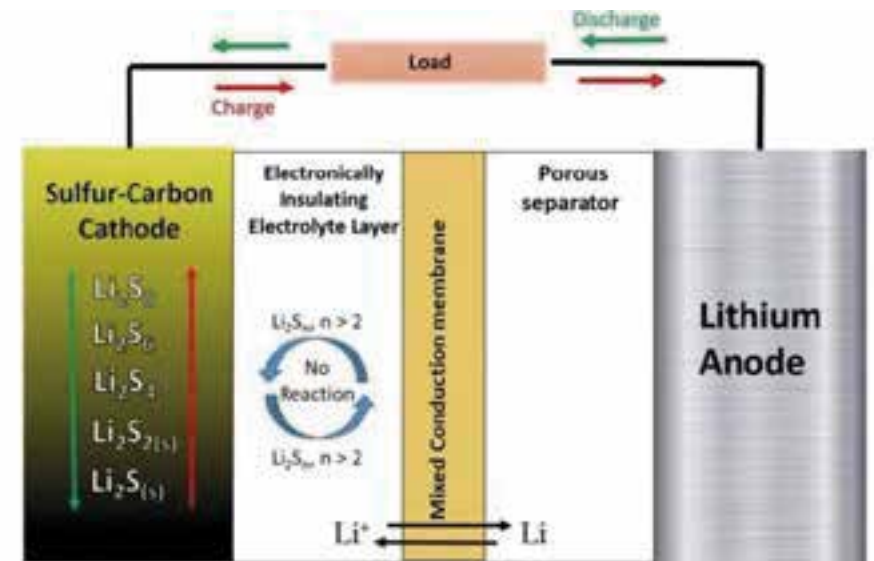
Na-ion

- 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

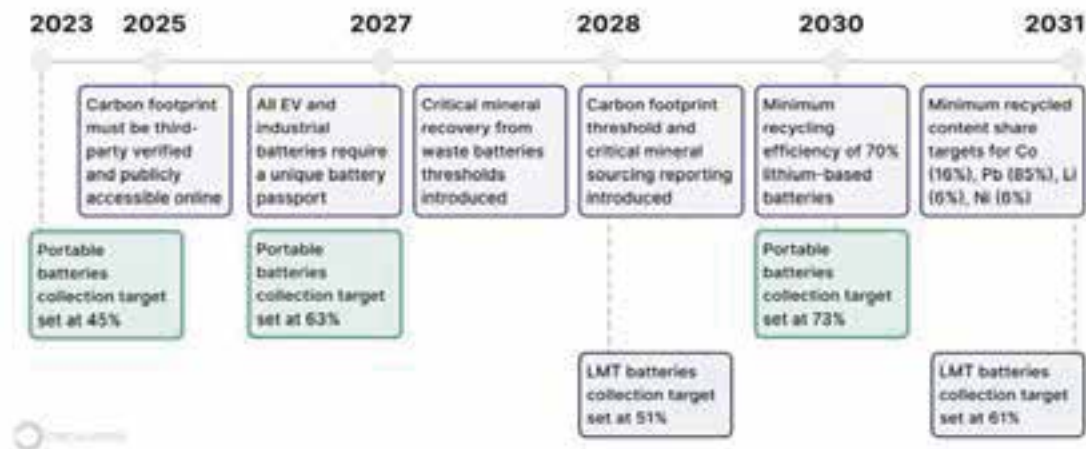
- EU je leta 2023 sprejela zakon na področju baterij in baterijskih odpadkov
- Regulation (EU) 2023/1542
 - Poudarek na reciklaži CRM
 - Stremenje k neodvisnosti
 - Organizirano zbiranje baterij
 - 73 % vseh malih baterij do 2030
 - 100 % za industrijske in EVs baterije do 2030
 - Ustvarjanje evropske 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 **SVOLT** 2030, FI 50 GWh

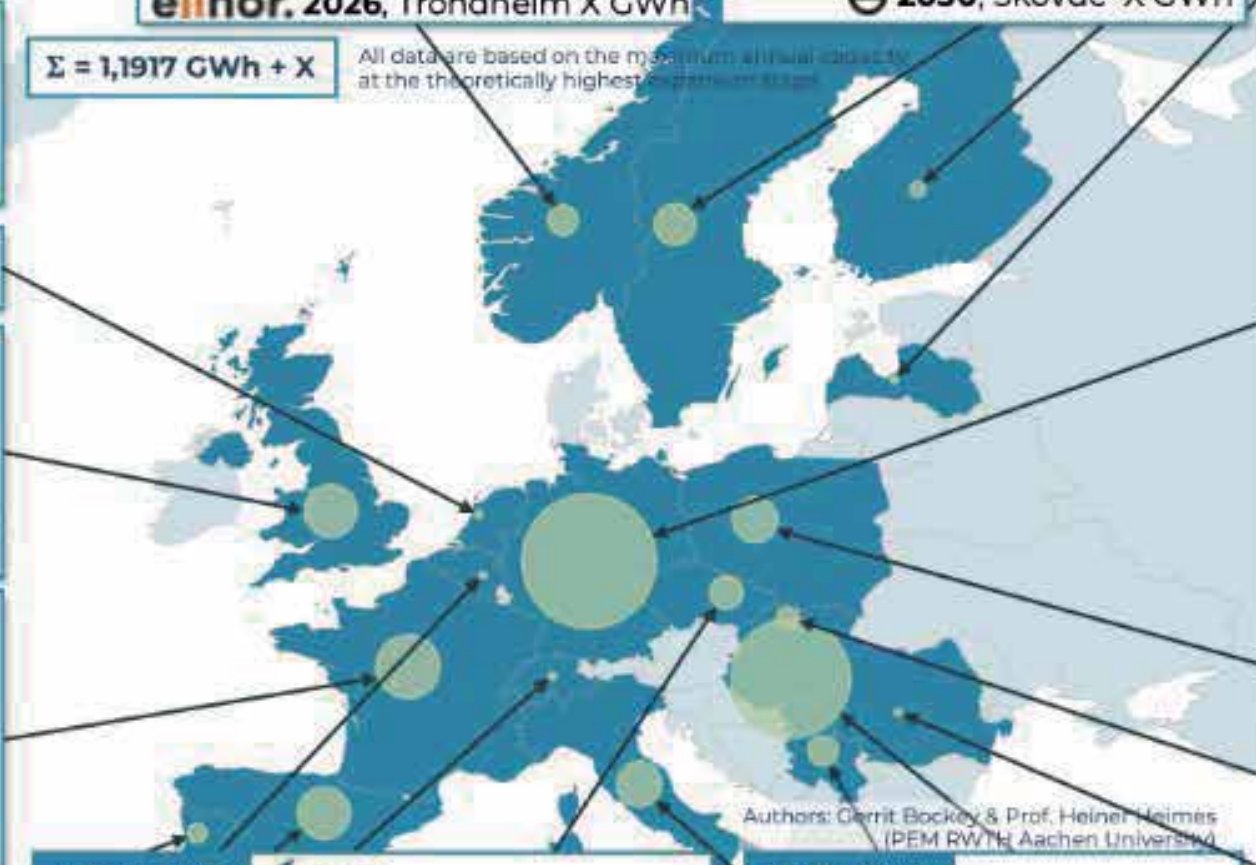
FREYR 202X, Kotka 40 GWh
FREYR 202X, Vaasa X GWh

EU: 150 GWh + X

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

Σ = 1,1917 GWh + X

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



NL: 1 GWh + X



2023, Europe 1 GWh + X

GB: 145 GWh + X

TATA MOTORS 2026, Somerset 40 GWh
NE Nonatech Energy 202X, GB X GWh
⊖ 202X, Coventry 60 GWh
⊖ 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
⊖ 2029, Douai 30 GWh
ProLogium 20XX, Dunkirk 48 GWh

DE: 353.5 GWh

⊖ 20XX, Germany 43.5 GWh
⊖ 2020, Willstätt 2.5 GWh
PowerCo 2026, Salzgitter 40 GWh
SVOLT 2027, Überherrn 24 GWh
SVOLT 202X, Lauchhammer 16 GWh
CELLFORCE 2024, Reutlingen 1 GWh
CATL 202X, Erfurt 14 GWh
TESLA 202X, Grünheide 100 GWh
QCC 2030, Kaiserslautern 40 GWh
VARTA 20XX, Ellwangen 2 GWh
ES 202X, Nordhausen 0.5 GWh
northvolt 2026, Heide 60 GWh
⊖ 2026, Flintbek 10 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, Komárom & Ivancsa 47.3 GWh
SK Innovation 202X, Nyiregyhaza X 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

EverEs 2027, Subotica 48 GWh
InoBat 2032, Serbia 32 GWh

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