

ELEKTRIČNA (CESTNA) VOZILA



in

POLNILNE POSTAJE



ELEKTRIČNA (CESTNA) VOZILA IN POLNILNE POSTAJE

VSEBINA

PREDGOVOR

1 ELEKTRIČNA VLEKA

2 ZGODOVINA ELEKTRIČNIH (CESTNIH) VOZIL

2.1 Začetki (1820 – 1891)

2.2 Veliki čas električnih avtomobilov (1891 – 1920)

2.3 Zaton električnih avtomobilov (1920 – 1940)

2.4 Preživetje električnih avtomobilov (1940 – 1990)

2.5 Renesansa (1990 do 2003)

3 STANJE TEHNIKE

3.1 Električni avtomobili danes (2018)

3.2 Tveganje in (ne)varnost električnih avtomobilov pri trkih

3.3 Tehnika električnih cestnih vozil

3.3.1 Vrste električnih vozil

3.3.2 Pogon električnih vozil

3.3.3 Tveganje in (ne)varnost električnih cestnih vozil

3.4 Varovanje okolja

3.5 Recikliranje, odstranjevanje

4 HRANILNIKI ENERGIJE

4.1 Elektrokemijska tehnologija

4.2 Baterije (primarni členi)

4.3 Akumulatorji (sekundarni členi)

4.3.1 Svinčev akumulator

4.3.2 Nikelj – kadmijev akumulator (Ni – Cd)

4.3.3 Nikelj metal hidridni akumulator (NiMH)

4.3.4 Litij ionski akumulator (Li-ion)

4.3.4.1 Tveganja in (ne)varnost litij ionskih akumulatorjev

4.3.4.2 Litij ion polimerni akumulator (Li-poly)

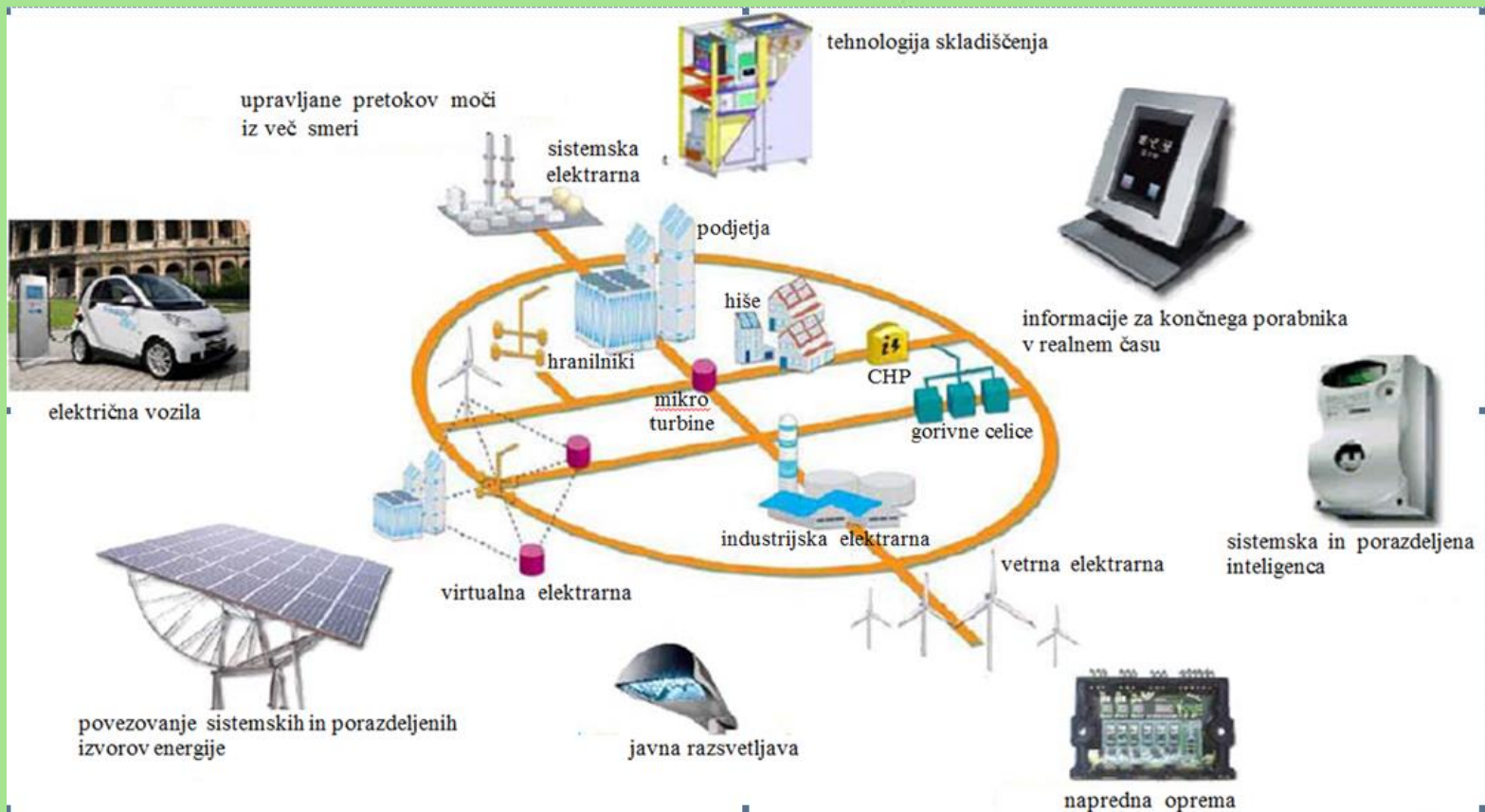
4.3.4.3 Litij-manganov akumulator

4.3.4.4 Litij-železov fosfat akumulator

4.3.4.5 Litij-titanat akumulator

4.4 Gorivne celice

- 5 ELEKTROMOBILNOST**
 - 5.1 Stebrički in infrastruktura**
 - 5.2 Tehnika polnilnih postaj**
 - 5.2.1 Povezava med vozilom in polnilno postajo**
 - 5.2.2 Vrste vtičnic**
 - 5.3 Gradnja domačih polnilnih postaj**
 - 5.4 Gradnja javnih polnilnih postaj**
 - 5.5 Tveganja in (ne)varnost električnih polnilnih postaj in vozil**
- 6 SKLEPNE UGOTOVITVE**
- 7 VIRI, LITERATURA**



V R Sloveniji je trenutno registriranih več kot milijon osebnih avtomobilov. Splošna ocena je, da naredijo v povprečju 20 000 km letno.

Pri povprečni porabi 8 l/100 km je to 1 600 l/(avto in leto) ali 10 sodčkov oziroma 1280 kg nafte. Pri povprečni (spodnji) kurilni vrednosti 11,8 kWh/kg je to 15 000 kWh na avto in leto. Vsi avtomobili porabijo 15 TWh primarnih virov energije, večinoma v obliki bencina in nafte. Vse slovenske elektrarne proizvedejo v povprečju 14 TWh električne energije.

Električni avtomobili imajo okoli štirikrat boljši izkoristek – če bi se želeli vsi voziti z električnimi vozili, bi morali za tretjino povečati proizvodnjo električne energije.

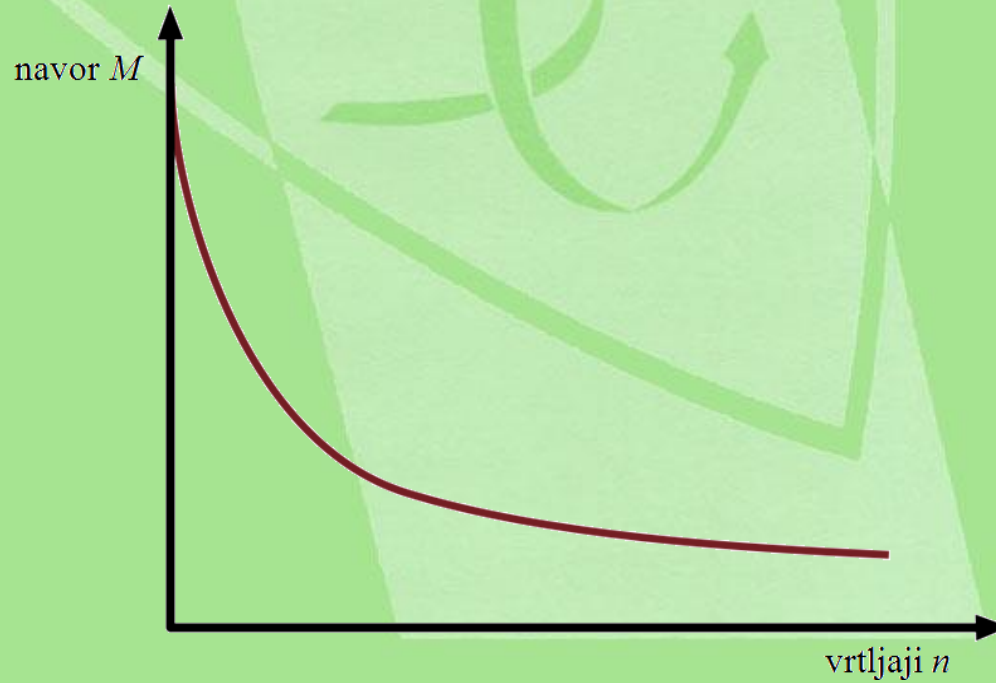
Pri pretvorbi primarnih virov energije v termoelektarnah je izkoristek ena tretjina – energijska bilanca primarnih virov ostane enaka.

1 ELEKTRIČNA VLEKA

Električna vleka imenujemo uporabo tirnih ali cestnih vozil, ki jih poganja električna energija s pomočjo elektromotorjev, ki so v ta vozila vgrajeni. Elektromotorna vozila so tako grajena, da služijo neposredno za prevoz potnikov ali tovora (tramvaj, trolejbus, elektromotorni vlaki, akumulatorska vozila) ali samo za vleko vagonov (električne lokomotive).

Električna vleka predstavlja vrsto električnih pogonov z zelo spremenljivimi hitrostmi in zagonskimi navori. V stalnem gibanju je tudi kraj porabe in pretvarjanja energije.

Po izvoru energije delimo električno vleko na avtonomno (neodvisno) in odvisno vleko. Pri avtonomni vleki se nahaja izvor energije na samem elektromotornem vozilu, pri odvisni električni vleki je izvor energije izven vozila v fiksnih napravah, oskrba pa je izvedena s prenosnimi napravami.



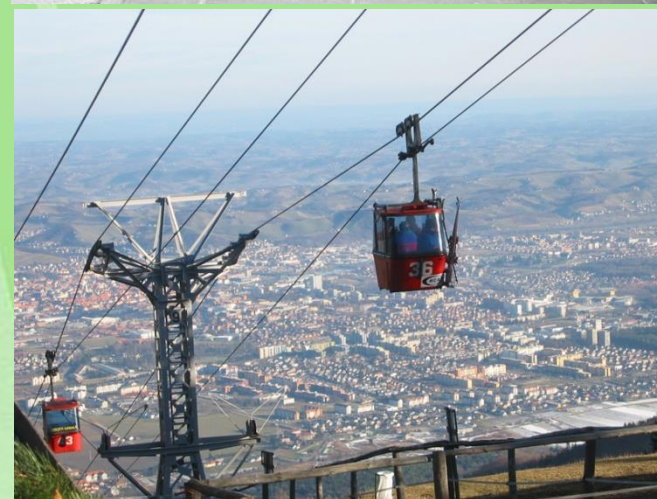
- **Neodvisna električna vleka**

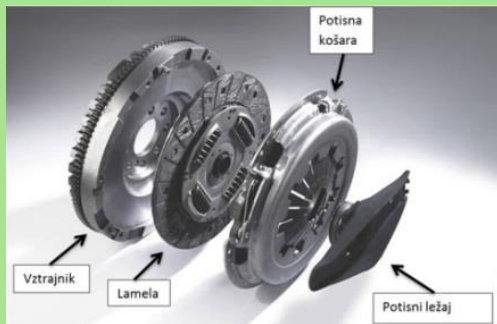
- *Delavniška vozila, dostavna vozila*
- *Kolesa, skuterji*
- *Avtomobili*



- **Odvisna električna vleka**

- *Žičnice*
- *Mestna železnica*
- *Železnica*
 - *enosmerna vleka*
 - *enofazna vleka z znižano frekvenco*
 - *enofazna z industrijsko frekvenco*

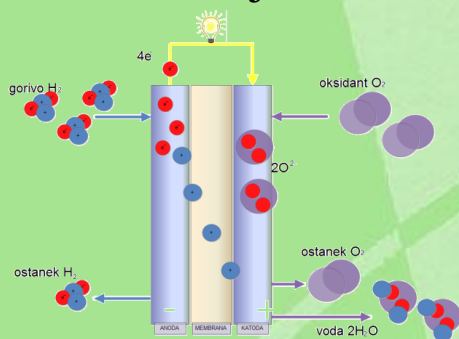




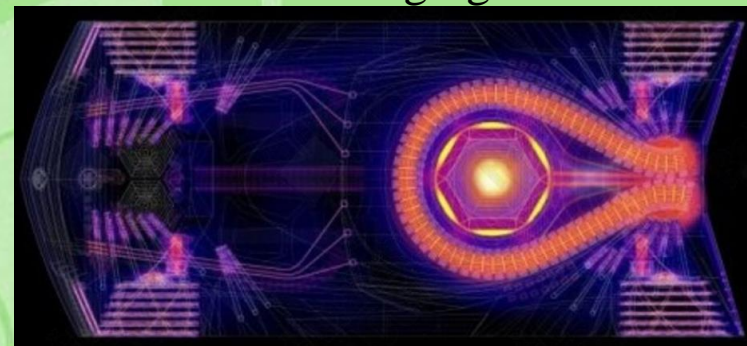
Vztrajnik



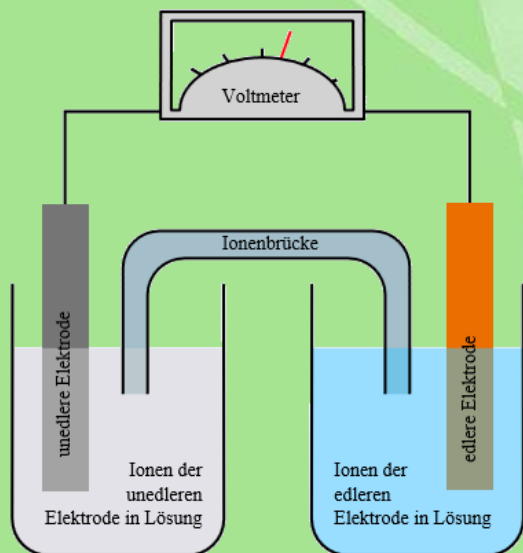
Diesel agregat



Gorivna celica



Jedrski reaktor (Cadillac)



Galvanski člen (baterija, akumulator)

Avtonomna vozila, ki imajo lasten izvor energije, morajo občasno, običajno na začetni postaji vkrcati zalogo energije:

- mehansko v vztrajnik,
- kemično za diesel agregat,
- kemično za gorivne celice,
- atome za jedrski reaktor,
- električno energijo v akumulator.

Omejeno razdaljo, ki jo lahko prevozijo, imenujemo akcijski polmer.



Električni avtomobil UM FERI Laboratorij za avtomatiko



Prototip pošarskega kolesa UM FERI Laboratorij za mehatroniko

2 ZGODOVINA

V začetku avtomobilizma so električni avti prekašali avtomobile z motorji z notranjim zgorevanjem. Izkoristek elektromotorjev je mnogo višji.

Šele po letu 1900 so vozila z motorji z notranjim zgorevanjem počasi izpodrinila električna vozila. Električna vozila s svojimi težkimi akumulatorji in dolgimi časi polnjenja niso mogla držati koraka z dosegom vozil z notranjim zgorevanjem. Naslednji korak je bil izum električnega zaganjača za bencinske motorje.



Električni fjakar, največja hitrost 25 km/h



Hansa-Lloyd električni tovornjak CL5

2.1 Začetki (1820 – 1891)

Začetni razvoj električnih avtomobilov je določal razvoj električnih pogonov. Michael Faraday je pokazal 1821, kako je možno z elektromagnetizmom ustvariti trajno vrtenje. Po letu 1830 so nastala iz različnih vrst elektromotorjev in različnih vrst akumulatorjev tudi različna vozila in modeli. Davenport je preizkušal svoj elektromotor na modelu lokomotive. 29. Aprila 1851 so naredili poskusno vožnjo s pravo lokomotivo. Moč dveh elektromotorjev s po 20 KM je ob pomoči velikih baterij omogočila kratkotrajno hitrost 31 km/h.

Leta 1836 izumljenemu Danielovemu členu je 1839 sledila poboljšana baterija Williama Grova, od leta 1860 pa so bili na razpolago svinčevi akumulatorji (izum Francoza Gastona Plantéja).



Električni avto A. Flocken 1888

29. aprila 1882 je predstavil Werner Siemens pri Berlinu električno kočijo, poimenovano »elektromote«, na 540 m dolgi poskusni progi. To je bil prvi avtobus z zgornjim napajalnim vodom. Med drugimi začetniki električnih vozil je treba omeniti še Američana Williama Morrisona. Njegova vozila, podobna kočijam, so bila zelo razširjena. Osem akumulatorjev je napajalo 2,5 KM močan elektromotor, kar je vozilu omogočalo hitrost 10 – 12 km/h.



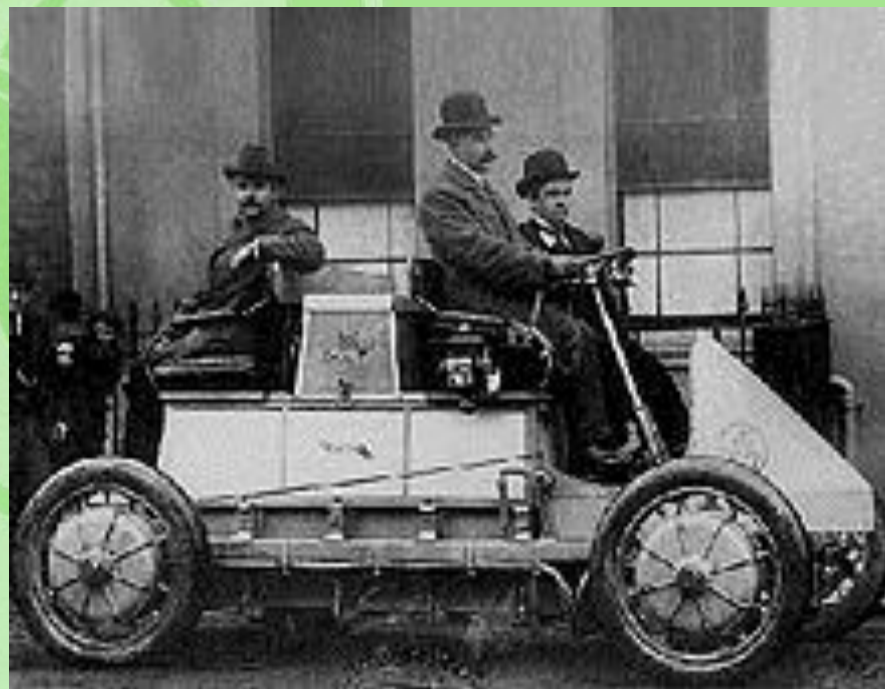
Elektromote Wernerja Siemens, Berlin 1882, je bil prvi trolejbus

2.2 Veliki čas električnih avtomobilov (1891 – 1920)

1897 je bilo ustanovljeno združenje srednjeevropskih motornih vozil. Odlomek iz govora predsednika: »Opazne so tri zvrsti motornih vozil, ki energijo za premikanje vozijo s seboj, namreč s paro gnana vozila, z nafto gnana vozila in z elektriko gnana vozila. Prva vrsta pride v poštev predvsem za vozila na tirih in težka cestna vozila, medtem ko bodo za veliko območje odprte dežele primerna z nafto gnana vozila, živahnost velikih gladkih asfaltnih površin velikih mest in tudi tračnic bodo omogočala električna vozila«.



EV-Opera-Car, Modell 68/17 B, Detroit Electric, Michigan (USA), 1909



Lohner-Porsche, zvezda svetovne razstave 1900 v Parizu

Zanimivo je, da so bili z električnim avtomobili doseženi prvi hitrostni rekordi:

- 1898 z avtom *Jeantaud Duc* 62,78 km/h
- 1899 z avtom *CGA Dogcart* 66,66 km/h
- 1899 z avtom *Jeantaud Duc* 70,31 km/h
- 1899 z avtom *CGA Dogcart* 80,35 km/h
- 1899 z avtom *Jeantaud Duc Profilée* 92,78 km/h
- 1899 z avtom *La Jamais Contente* 105,88 km/h



Camille Jenatzky v električnem avtomobilu *La Jamais Contente*, 1899

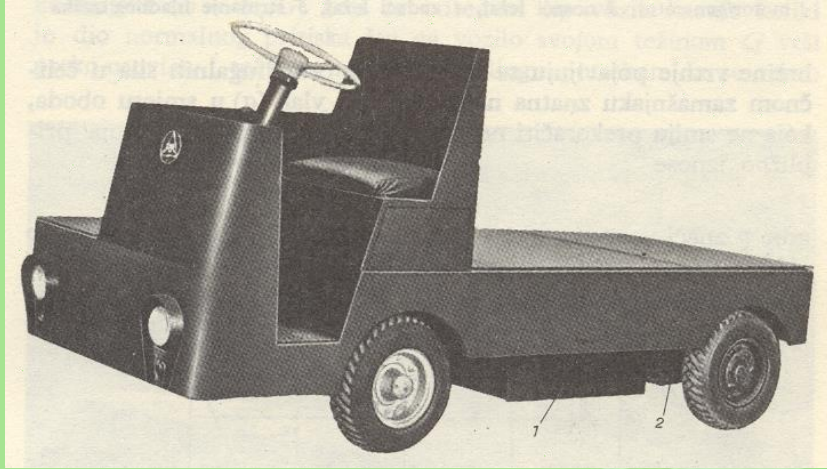
2.3 Zaton električnih avtomobilov (1920 – 1940)

Zaton električnih avtomobilov se je začel leta 1910, ko za zagon bencinskih motorjev ni bila več potrebna zaganjalna ročica ampak mnogo udobnejša uporaba električnega zaganjača. Ponudba cenene nafte je bila naslednji vzrok za zaton mirnih prevoznih sredstev.



Zaganjač

2.1 Preživetje električnih avtomobilov (1940 – 1990)



Akumulatorsko delavniško vozilo
(Rade Končar, EKS 3)



Niša, v kateri so električno gnana vozila preživela vse do danes, so delavniška vozila in majhni dostavni avtomobili za dnevno dostavo mleka v Veliki Britaniji in Združenih državah Amerike (milk floats).

Akumulatorska vozila v času mirovanja s poceni energijo polnijo akumulatorje (svinčevi 30 Wh/kg teže). Odlikujejo jih veliki pospeški, tih tek, okolju prijazni.



Mürren, Saas-Fe, Wengen, Zermatt

V Zermattu je prepovedan privatni avtomobilski promet od leta 1931. Prepoved je bila ponovno izglasovana leta 1972 in 1986. Podobno je tudi v nekaterih drugih turističnih središčih. Promet med samo vasjo in velikimi parkirišči, oddaljenimi nekaj kilometrov, je organiziran z vozili na električni pogon.

2.5 Renesansa (1990 do 2003)

Zalivska vojna in naftna kriza v devetdesetih letih prejšnjega stoletja sta povzročili prizadevanja, da bi vgradili elektromotorje za pogon avtomobilov. Zatem se je povečala okoljevarstvena zavest hkrati z novimi akumulatorji, ki so lahko zamenjali svinčeve akumulatorje.

Skupina PSA Peugeot Citroën je med leti 1995 in 2005 izdelala okoli 10 000 električno gnanih avtomobilov. Proizvodnjo pa so morali ustaviti, ker je EU prepovedala uporabo nikelj-kadmijevih akumulatorjev, ki so poganjali elektromotor.

Od leta 1996 do 1999 je General Motors izdelal z General Motors Electric Vehicle 1, GM EV 1 1100 kosov serijskega električnega avtomobila.



General Motors EV1, ki je postal nesmrten z dokumentarnim filmom “Kdo je ubil električni avto?”



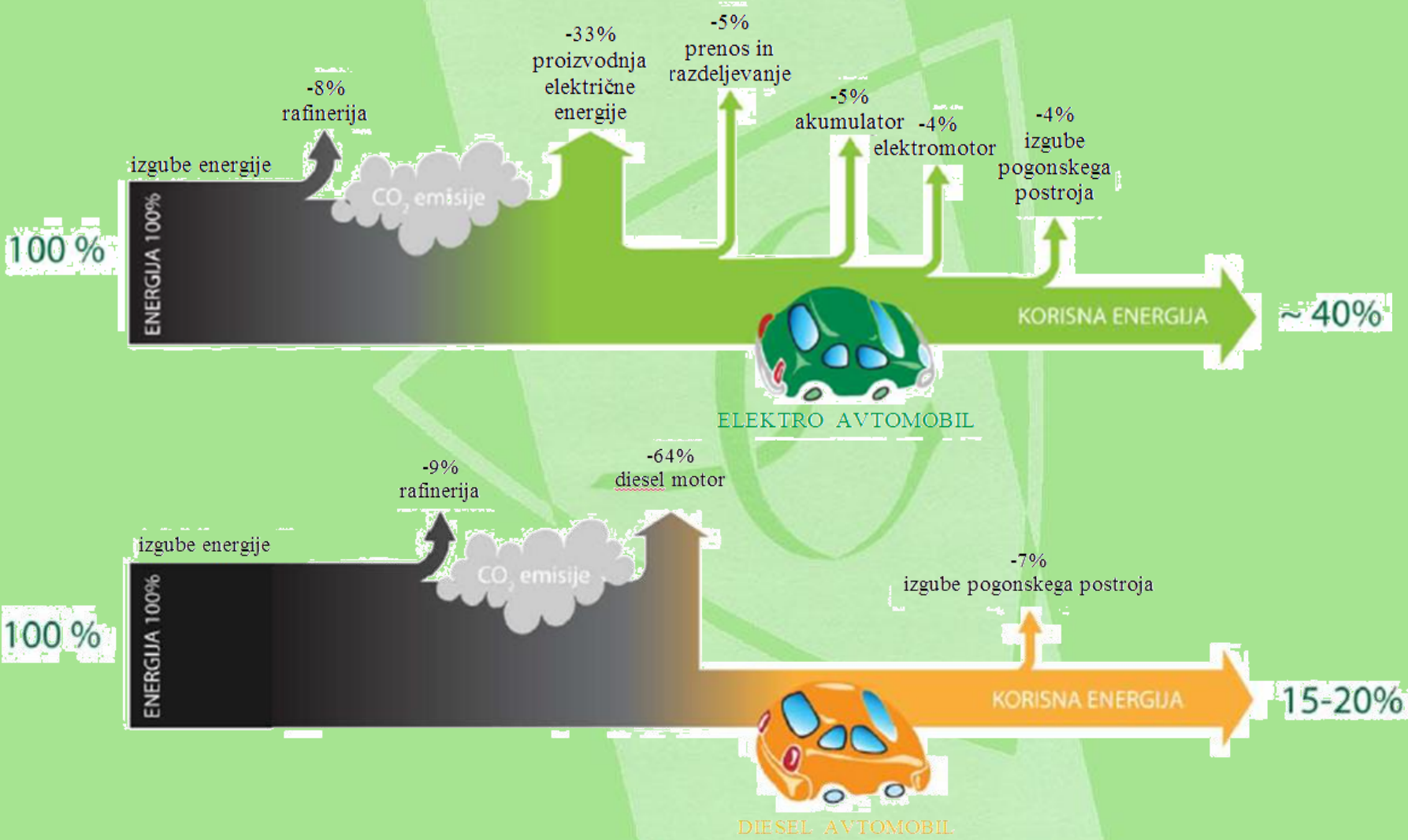
Pogonski agregat, kot so ga uporabili v 10 000 električnih avtomobilih skupine PSA

Od leta 2004 razvijajo električne avtomobile majhna, neodvisna podjetja kot npr- sportni Tesla Roadster ali Elektro-Porsche (Greenster). Mnogi priznani izdelovalci napovedujejo nove raziskave in razvoj. Razvoj nadaljujejo tudi pri hibridnem avtomobilu, kjer sta smiselno povezana motor z notranjim zgorevanjem in elektromotor. Strokovnjaki pa menijo, da je to samo prehod do pravih, čistih električnih avtomobilov.



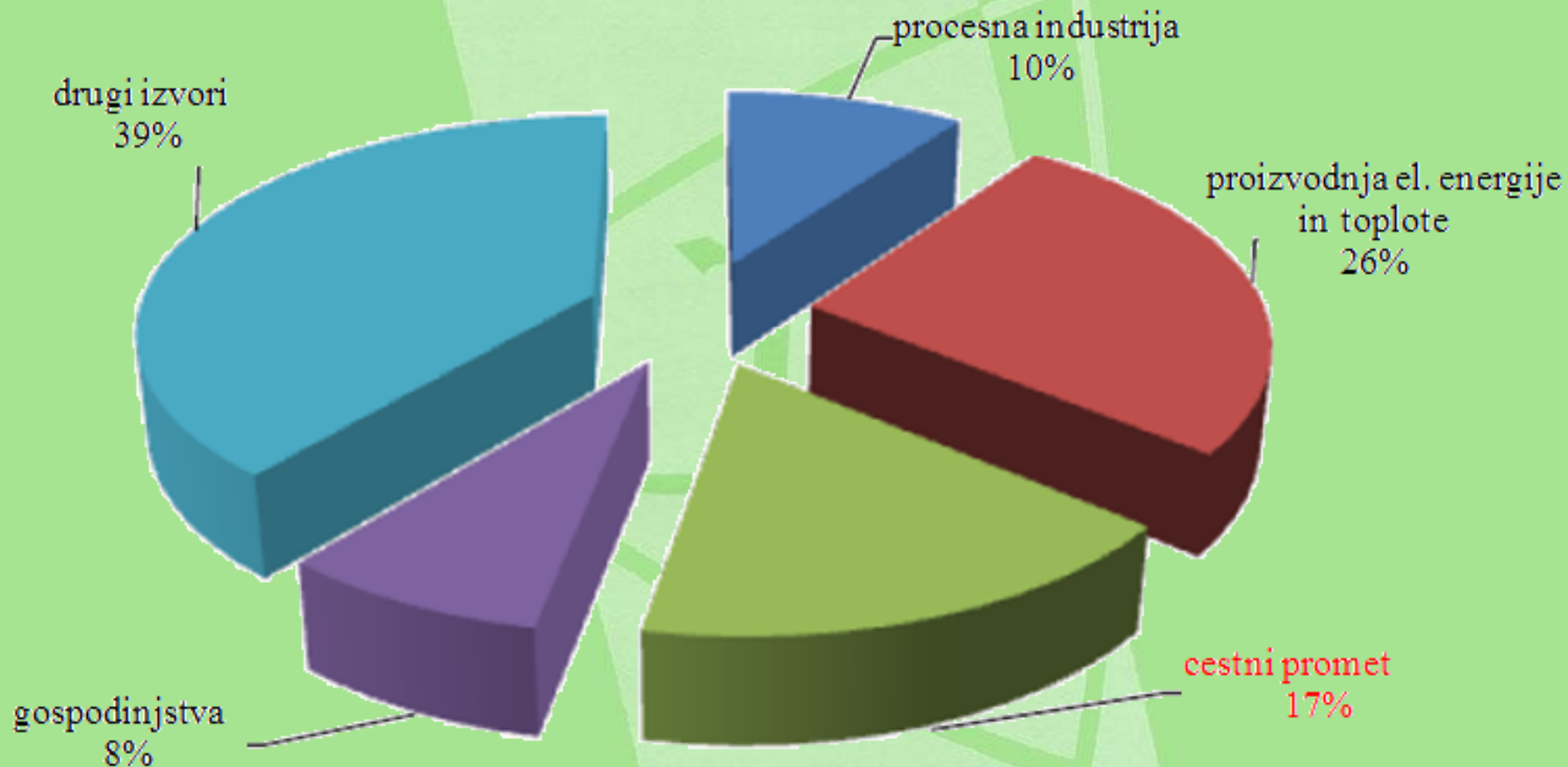
3 STANJE TEHNIKE

IZKORISTKI ENERGIJE PRI PRETVORBI ZA POGON VOZIL



EMISIJE OGLJIKOVEGA DVOKISA

Električni avtomobili so kot emisijsko čisti posebno uporabni tam, kjer je treba lokalna onesnaženja močno zmanjšati (npr. območja s smogom). Izpolnjujejo »zero-emission« predpise, ki veljajo v nekateri velikih mestih.



3.1 Električni avtomobili danes (2018) [7,8]

Po letu 2008 se je preporod izdelave električnih vozil še bolj razmahnil zaradi napredka pri proizvodnji akumulatorjev, malo zaradi cen goriv posebej pa zaradi skrbi za okolje. Mnoge države pa tudi krajevne skupnosti so uvedle olajšave in podpore za pospeševanje uporabe električnih vozil.

Konec leta 2015 je bilo možno kupiti več kot 30 modelov električnih osebnih vozil ter vozil za prevoz oseb in tovora, ki so zakonsko ustrezala uporabi na javnih cestah. Skupno število na vsem svetu prodanih čistih električnih za avtoceste sposobnih vozil je septembra 2016 preseglo število milijon.



BMW i3, od leta 2013, možno tudi z dodatnim motorjem na notranje zgorevanje

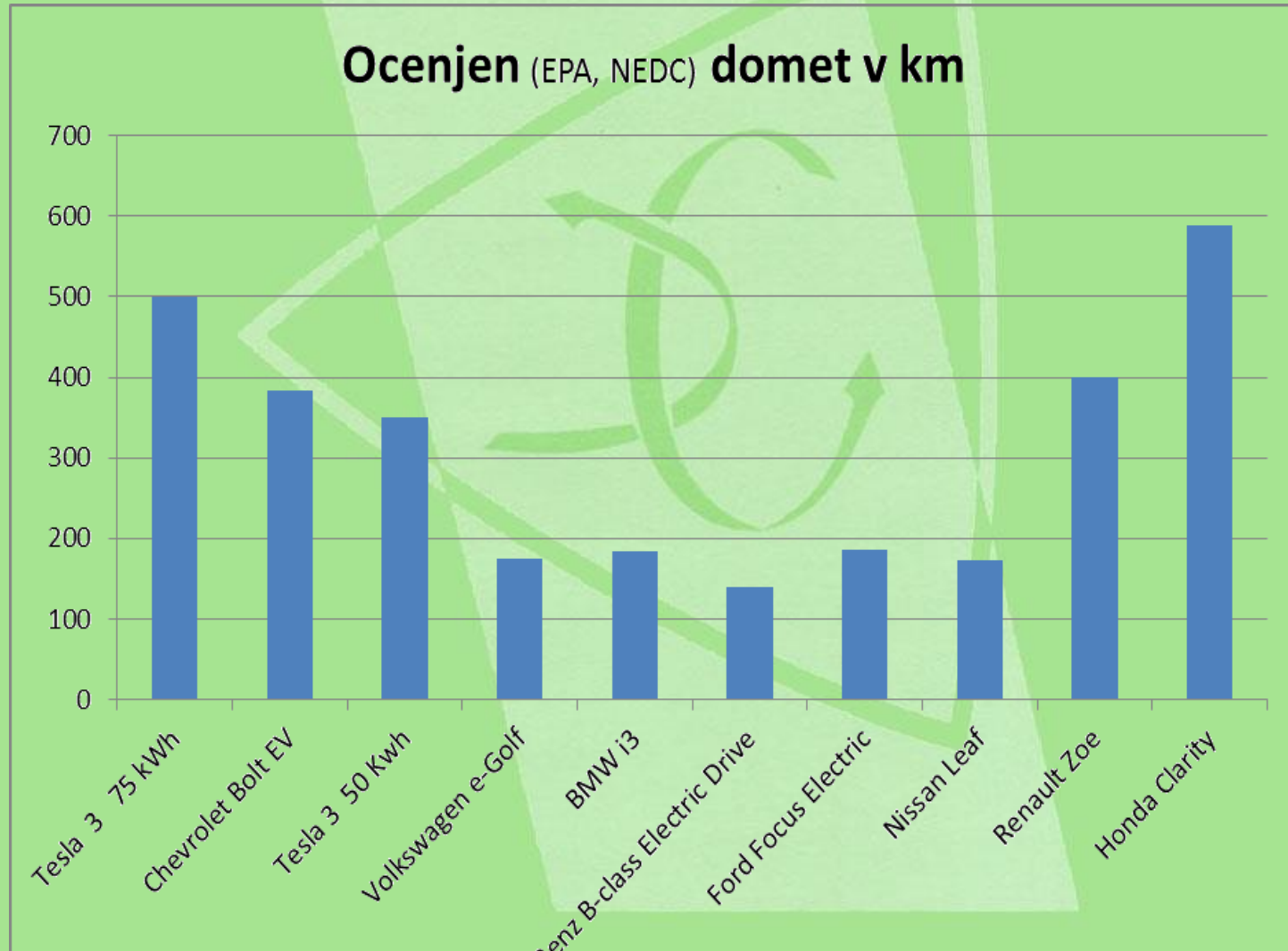


Toyota Yaris, od leta 2012 tudi kot Hybrid



Renault ZOE, v Evropi najbolj prodajani električni avtomobil

Domet (akcijski radij) je eno od ključnih meril za oceno električnega vozila. Vozila z večjim dometom stanejo običajno več zaradi večjih hranilnikov vendar v zadnjem času močno pada specifična cena na enoto energije (na kWh). V naslednji preglednici so podani dometi v kilometrih za nekatere v zadnjih letih največ prodanih 'malih' (cena ~ 30 000 €) električnih avtomobilov (BEV – **B**attery **E**lectric **V**ehicle). Za primerjavo je dodan še 'nepravi' električni avto na gorivne celice.



Za izbrane avtomobile je v preglednici podanih nekaj drugih podatkov (moč, najvišja hitrost, pospešek, poraba, domet, navor, energija v hranilniku).

Primerjava lastnosti nekaterih električnih avtomobilov

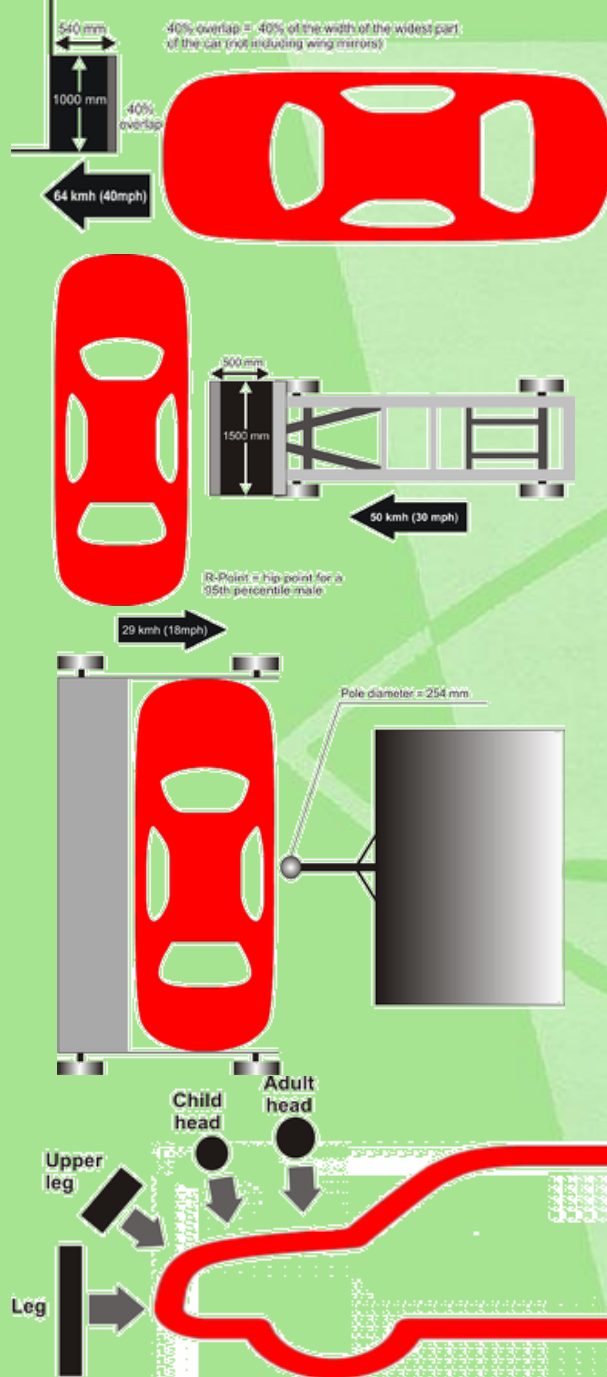
| | moč | hitrost | pospešek | poraba | domet | navor | energija |
|-----------------------|------|---------|--------------|--------------|-------|-------|----------|
| | [kW] | [km/h] | [0→100 km/h] | [kWh/100 km] | [km] | [Nm] | [kWh] |
| Tesla 3 75 kWh | 192 | 225 | 5,3 | 15 | 500 | 430 | 75 |
| Chevrolet Bolt EV | 147 | 150 | 6,7 | 15,7 | 383 | | 60 |
| Tesla 3 50 kWh | 192 | 210 | 5,8 | 14,3 | 350 | 430 | 50 |
| Volkswagen e-Golf | 85 | 137 | 9,4 | 20,5 | 175 | | 35,8 |
| BMW i3 | 125 | 148 | 7,2 | 18,0 | 183 | 250 | 33 |
| Mercedes-Benz B-class | 132 | 163 | 7 | | 140 | 340 | |
| Ford Focus Electric | 107 | 137 | 10,1 | 18,1 | 185 | | 33,5 |
| Nissan Leaf | 80 | | 9 | 17,4 | 172 | | 30 |
| Renault Zoe | 66 | | | 10,3 | 400 | 220 | 41 |
| Honda Clarity | 128 | 169 | 8,3 | 0,0 | 589 | | |

3.2 Tveganje in (ne)varnost električnih avtomobilov pri trkih

Euro NCAP (*European New Car Assessment Programme, Europäisches Neuwagen-Bewertungs-Programm*) [11] je združenje evropskih prometnih ministrstev, avtomobilskih klubov in zavarovalnic s sedežem v Bruslju. Združba izvaja preizkuse novih modelov avtomobilov ter na osnovi teh preizkusov in razpoložljivih varnostnih naprav ocenjuje njihovo varnost. Preizkusi niso uzakonjeni temveč so namenjeni kot obvestilo uporabnikom.

Za izbrana električna vozila so preizkusi dali naslednje rezultate.

| | Euro NCAP | | | | |
|--------------------------------------|--------------|----------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| | Skupna ocena | Zaščita odraslih [%] | Zaščita otrok [%] | Zaščita pešcev [%] | Dodatna zaščita [%] |
| Tesla 3 75 kWh | ***** | 82 | 77 | 66 | 71 |
| Chevrolet Bolt EV | ***** | 85 | 78 | 41 | 86 |
| Tesla 3 50 kWh | ***** | 82 | 77 | 66 | 71 |
| Volkswagen e-Golf | ***** | 94 | 89 | 65 | 71 |
| BMW i3 | **** | 86 | 81 | 57 | 55 |
| Mercedes-Benz B-class Electric Drive | ***** | 97 | 81 | 56 | 86 |
| Ford Focus Electric | ***** | 92 | 82 | 72 | 71 |
| Nissan Leaf | ***** | 89 | 83 | 65 | 84 |
| Renault Zoe | ***** | 89 | 80 | 66 | 85 |



Pomen rezultatov

| | |
|-------|--|
| * | Neznatna zaščita pri naletu |
| ** | Običajna zaščita pri naletu brez tehnologije preprečevanja nesreče |
| *** | Povprečna do dobra zaščita potnikov pri naletu brez tehnologije preprečevanja nesreče |
| **** | Dobra skupna ocena za zaščito pri naletu; možne so tudi dodatne tehnologije za preprečevanje nesreče |
| ***** | Dobra skupna ocena zaščite pri naletu, zajetna oprema z za uporabo preizkušeno tehnologijo za preprečevanje nesreče. |

3.3 Tehnika električnih cestnih vozil

Primarna naloga osebnih vozil je hitro **premagovanje razdalj**, pri čemer mora vozilo pri vožnji zagotavljati določeno mero **udobja**, ki ga uporabnik od vozila pričakuje.

Enako velja za električna vozila, saj so tudi električna vozila primarno namenjena vožnji. Edina razlika med konvencionalnimi vozili z motorji na notranje zgorevanje in električnimi vozili je v tem, da električna vozila trenutno še ne zagotavljajo enake mere udobja pri vožnji kot konvencionalna vozila. Težavo predstavlja predvsem tehnika, ki se uporablja za izdelavo električnih vozil, ki trenutno še ne omogoča vsega, kar od nje pričakujemo. Največja pomanjkljivost se kaže pri velikih in težkih akumulatorjih, katerih razvoj zaostaja za potrebami trga. [12]



Pomoč vozniku



Akcijski radij

3.3.1 Vrste električnih vozil

Električna vozila se od običajnih vozil razlikujejo predvsem po pogonu, ker namesto motorjev na notranje zgorevanje uporabljajo električne motorje. Pri tem ločimo več vrst električnih vozil, ki se med seboj razlikujejo po različnih izvedbah pogonskih sklopov in načinu proizvodnje in shranjevanja električne energije. Poznamo akumulatorska električna vozila, ki jih označujemo s kratico BEV, hibridna električna vozila, v literaturi znana pod kratico PHEV in električna vozila s pogonom na gorivne celice, znana pod kratico FCEV.



Električno (akumulatorsko) vozilo – vozilo, ki ima kot izvor energije za pogon vozila samo akumulator

battery electric vehicle BEV – electric vehicle with only a traction battery as the power source for vehicle propulsion

Hibridno električno vozilo – vozilo z vsaj enim hranilnikom energije in enim izvorom energije na gorivo za pogon vozila

hybrid electric vehicle HEV – vehicle with at least one rechargeable energy storage system and one fuelled power source for vehicle propulsion

električno vozilo s pogonom na gorivne celice – električno vozilo z gorivnimi celicami kot izvor energije za pogon vozila

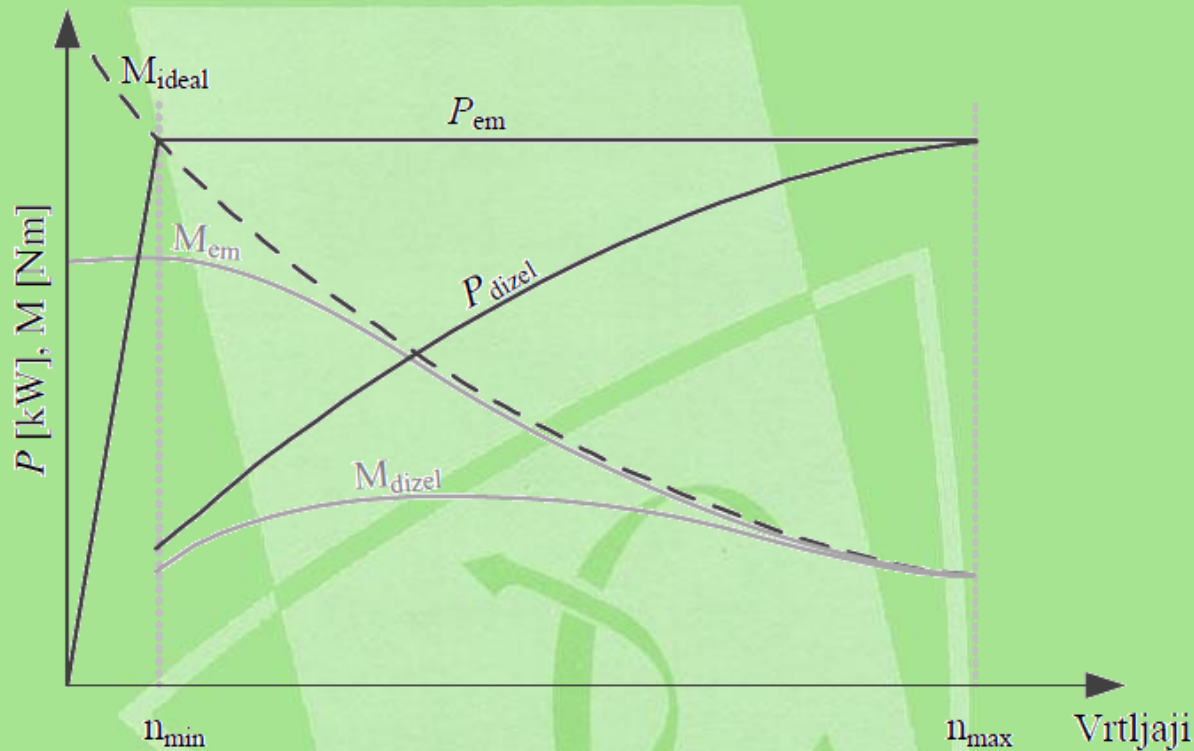
fuel-cell vehicle FCV – electric vehicle with a fuel-cell system as the power source for vehicle propulsion

Akumulatorska električna vozila

Ko govorimo o električnih vozilih imamo po navadi v mislih akumulatorska električna vozila, ki jih označujemo s kratico BEV in predstavljajo najbolj osnovno obliko električnih vozil. Akumulatorska električna vozila namesto motorja z notranjim izgorevanjem za pogon uporabljajo elektromotor, ki ga napajajo v vozilu nameščeni akumulatorji. Najpogosteje so to litij-ionski (Li-Ion) ali izpopolnjeni litij-polimerski (Li-Poly) akumulatorji. Čeprav se zmogljivost akumulatorjev, vgrajenih v električna vozila, med proizvajalci razlikuje, pa znaša povprečna zmogljivost akumulatorjev okoli 25 kWh, kar pri porabi med 0,15 in 0,2 kWh/km zagotavlja doseg med 120 in 160 kilometri.

Precej energije se lahko pridobi tudi s tehniko regenerativnega zaviranja, kjer se zavorna energija vozila ob zaviranju pretvarja v električno. Regenerativno zaviranje lahko doseg električnega vozila poveča kar za petino.

Električna vozila se med seboj razlikujejo tudi po načinu namestitve elektromotorja. Poznamo dve različici, in sicer različico s centralno nameščenim elektromotorjem, kjer povezavo med elektromotorjem in kolesi, podobno kot v običajnih vozilih, zagotavlja gred in različico z elektromotorji nameščenimi v kolesih električnega vozila, kar zagotavlja direkten prenos moči iz elektromotorjev na kolesa.



Primerjava moči in navora dizelskega motorja in elektromotorja [12]

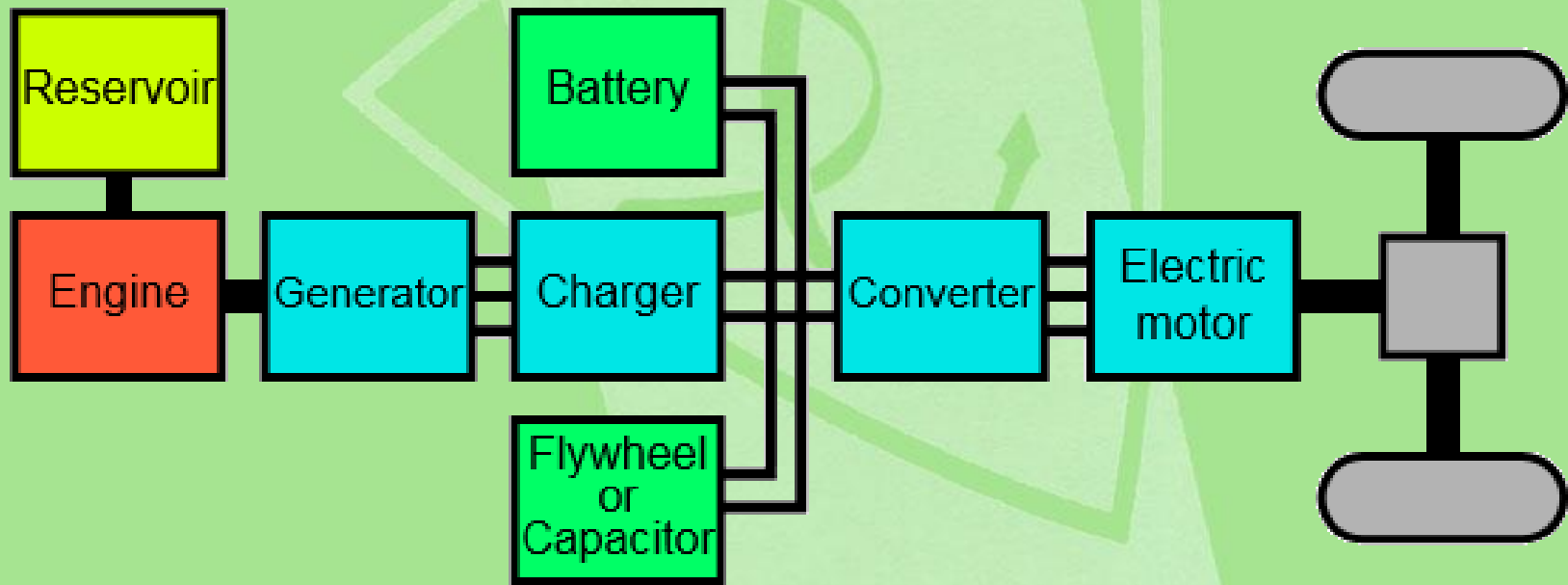
Od običajnih vozil z motorji na notranje zgorevanje se EV razlikujejo predvsem po naslednjih tehničnih lastnostih:

- Elektromotor pretvarja vir energije v mehansko delo z bistveno večjim skupnim izkoristkom kot motor na notranje zgorevanje.
- Pri delovanju električnega motorja ne nastajajo škodljive emisije.
- Zunanje karakteristike elektromotorja so elastične po skoraj vsem področju vrtilnih hitrosti, kot to prikazuje slika.
- Pri elektromotorskem pogonu je transmisija bistveno poenostavljena. Ne potrebuje večstopenjske zunanje transformacije v menjalniku.
- Zgorevalni motor je bistveno bolj kompliciran in kompleksen od elektromotorja.

Hibridna električna vozila

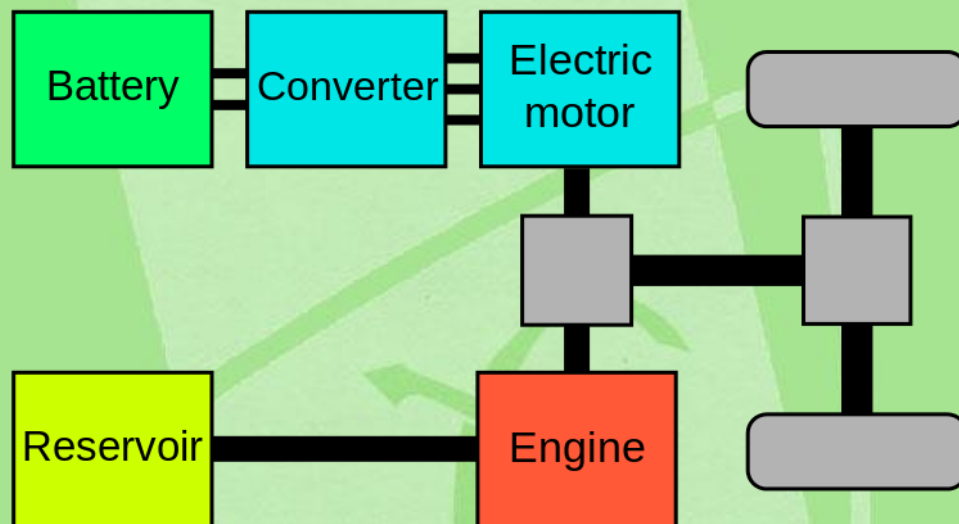
Hibridna električna vozila so električna vozila, ki za pogon poleg elektromotorja uporabljajo tudi klasičen bencinski ali dizelski motor z notranjim zgorevanjem. Vlogo pogonske enote lahko tako opravljata eden, drugi ali oba motorja skupaj. Električni doseg hibridnih vozil zagotavlja na vozilu nameščen akumulator, ki ga uporabnik napolni iz omrežja in po navadi zagotavlja doseg okoli 50 km. Zaradi relativno majhne zmogljivosti akumulatorjev hibridnih električnih vozil v primerjavi z akumulatorskimi električnimi vozili se elektromotor pri hibridnih električnih vozilih uporablja zgolj v tistih obratovalnih razmerah, kjer je delovanje motorjev na notranje izgorevanje izrazito slabše. Takšne razmere nastopijo na primer ob speljevanju vozila z mesta.

Ločimo dve vrsti hibridnih pogonov, in sicer zaporedne (serijske) in vzporedne (paralelne) hibride.



Način delovanja zaporednega hibridnega pogona [13]

Za razliko od serijskega hibridnega pogona se pri vzporednem hibridnem pogonu za proizvodnjo vrtilnega momenta, ki vrtil pogonska kolesa, lahko uporablja tako električni motor kot tudi bencinski ali dizelski motor na notranje zgorevanje.



Način delovanja vzporednega hibridnega pogona [13]

Prednost vzporednega hibridnega pogona se kaže v tem, da lahko s pomočjo krmilne logike motorji na notranje izogrevanje več časa delujejo v območju največjega izkoristka, kar jim omogočajo elektromotorji, ki imajo velik navor tudi pri nizkih vrtiljajih. S tem se poveča tudi ekonomičnost vožnje, ki se odraža predvsem v manjši porabi goriva in nižjih izpustih škodljivih snovi. Večina trenutno dostopnih hibridnih električnih vozil ima elektromotor, ki zagotavlja približno tretjino skupnih zmogljivosti vozila, ta delež pa se počasi povečuje. Podobno kot pri serijskem hibridnem pogonu, tudi pri vzporednem hibridnem pogonu pogonski elektromotor pri regenerativnem zaviranju deluje kot generator, kar povečuje doseg vozila.

Električna vozila s pogonom na gorivne celice

Posebno obliko električnih vozil na trgu predstavljajo električna vozila s pogonom na gorivne celice ali FCEV (**Fuel Cell Electric Vehicle**). Tudi vozila na gorivne celice uvrščamo med hibridna vozila, saj pri vozilih na gorivne celice primarno energijo za pogon zagotavljajo gorivne celice v trenutkih, ko energija iz gorivnih celic ni na voljo, pa energijo za pogon zagotavljajo akumulatorji. Težave z dobavo energije iz gorivnih celic nastopijo pri nenadnih spremembah režima vožnje in pri hladnem zagonu vozila, kajti gorivne celice potrebujejo približno 5 minut, da dosežejo obratovalno temperaturo. V naštetih primerih v vmesnem času, ko energija iz gorivnih celic ni na voljo, energijo za pogon zagotavljajo v vozilo vgrajeni akumulatorji.

Najbolj pogosto gorivo vozil s pogonom na gorivne celice je vodik, v nekaterih izvedbah pa vozila za pogon uporabljajo tudi metan. Razlika med različnima gorivoma se kaže pri izpušnih plinih, ki jih pri vodiku nastaja čista vodna para, pri metanu pa kot stranski produkt nastaja ogljikov dioksid. Ker je ogljikov dioksid toplogredni plin, predstavljajo vozila s pogonom na vodik okoljsko sprejemljivejšo rešitev.

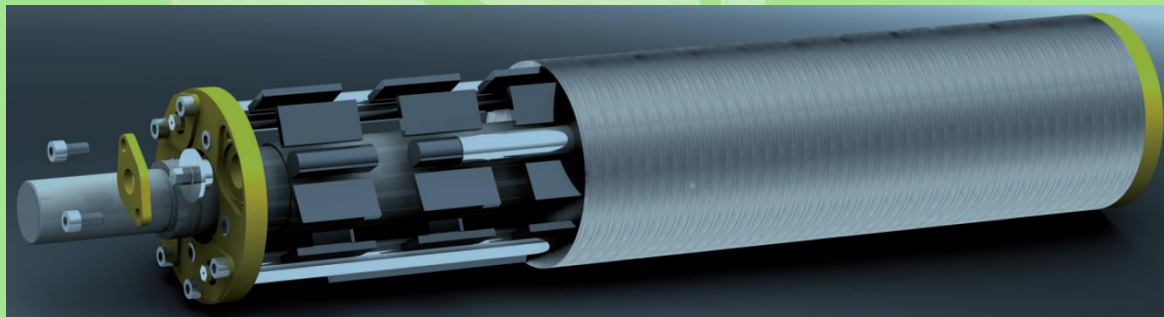
Doseg vozil s pogonom na gorivne celice je primerljiv z dosegom vozil z motorji na notranje zgorevanje, saj lahko znaša 400 km in več, pri tem pa je tudi polnjenje posode za gorivo primerljivo hitro. V povprečju velja, da vozila s pogonom na vodik porabijo približno 1 kilogram vodika za 100 prevoženih kilometrov.

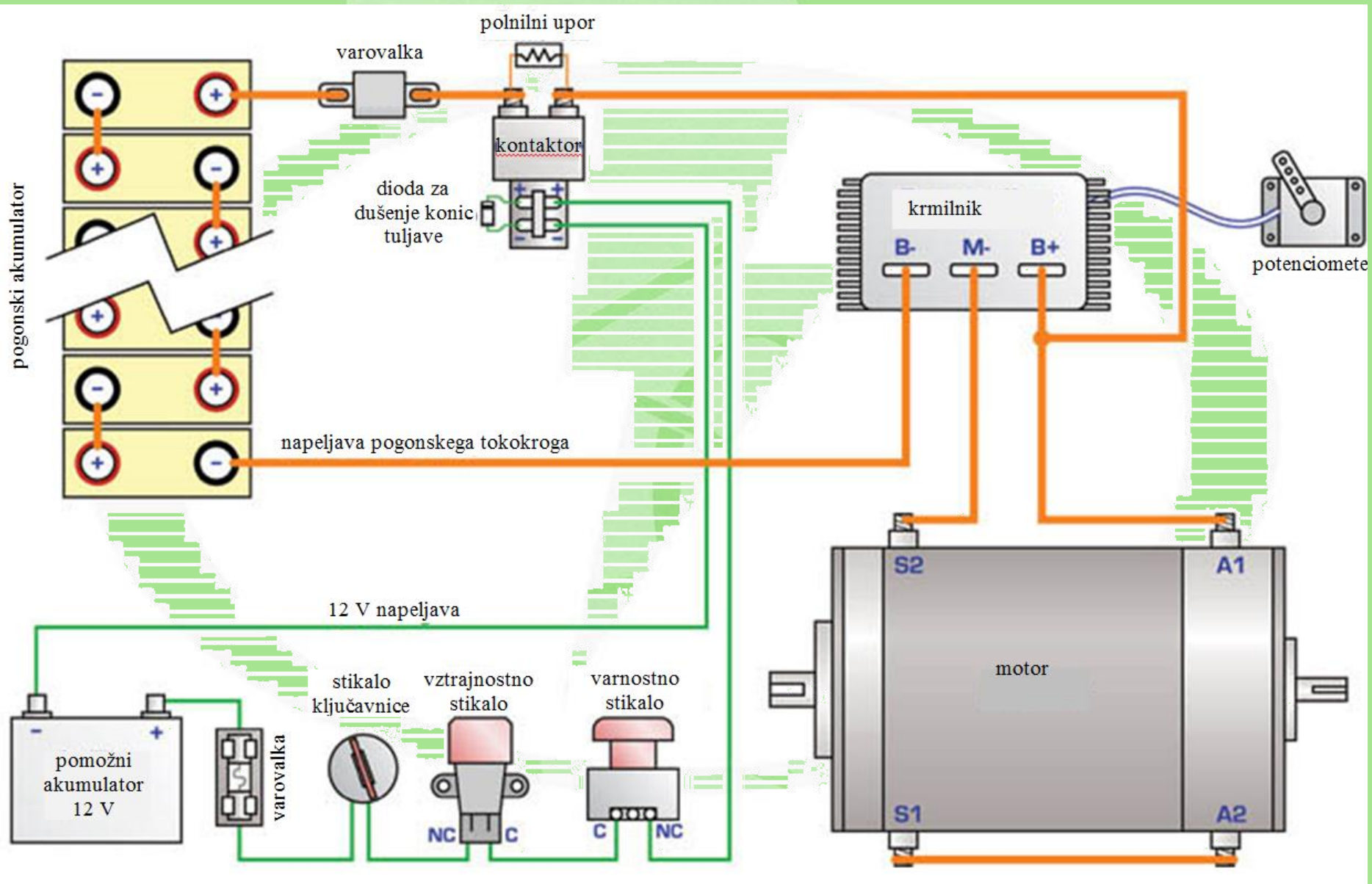
3.3.2 Pogon električnih vozil

V nasprotju z motorji z notranjim zgorevanjem imajo elektromotorji v velikem področju vrtljajev enak, brezstopenjski navor. Zato poskrbijo regulacijske zanke v povezavi z energetsko elektroniko, ki krmili enega ali več motorjev vozila. Zato v osnovi ni potreben niti ročni niti avtomatski menjalnik pa tudi ne sklopka. Tudi vzvratna vožnja je možna brez menjalnika. Elektromotorji se sami zaženejo. Tako tudi ni potreben poseben zaganjač kakor tudi ne generator.

Elektromotor je možno namestiti na pesto kolesa. Na pogonskih gredeh so tako kolesa z lastnim motorjem. Pri tej vrsti pogona odpade centralna motorska enota kakor tudi pogonske vezi od centralne enote do koles, kar poenostavi celotno zgradbo. Pri tem pa je treba vzeti v zakup dodatno nevzmeteno maso in večjo izpostavljenost motorja okoljskim vplivom.

Kot pogonski motor je trenutno prednostno obravnavan s pretvornikom krmiljen trifazni sinhronski stroj s trajnimi magneti. Sinhronski stroji imajo v primerjavi z enosmernimi stroji prednost, da nimajo drsnih kontaktov, kar pomeni mnogo manj vzdrževanja. Pretvornik deluje pri tem načinu motorskega obratovanja kot trifazni razsmernik medtem, ko pri zaviranju v generatorskem načinu deluje kot usmernik. Elektromotorji, natančneje rečeno sinhronski stroji s trajnimi magneti so dozorele naprave.

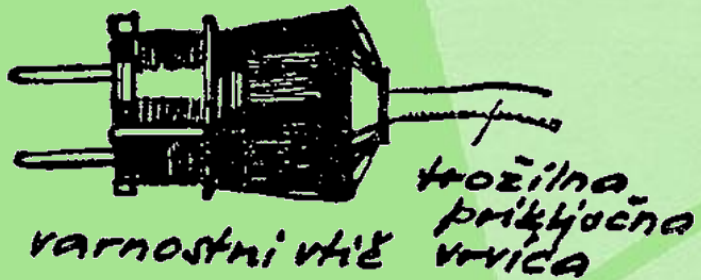




Poenostavljena slika električne napeljave električnega vozila [14]

3.3.3 Tveganje in (ne)varnost električnih cestnih vozil

Vsakdo bi naj znal rokovati z visoko napetostjo v gospodinjstvu. Poznani so predvideni zaščitni ukrepi pred električnim udarom, posebej pri posrednem dotiku. Zelo rahel (kratek) dotik 230 V izmenične napetosti ima praviloma za posledico samo strah.



Vtikač z zaščitnim kontaktom

Nikoli ne odstrani varnostnih kontaktov.

Zamenjaj vtič z dvema kontaktoma z vtičem z zaščitnim kontaktom in se prepričaj, da je resnično ozemljen. Zagotavlja namreč povezavo z zemljo in preprečuje električni udar ali zmanjša njegov učinek. [15, 16]

Kakšni zaščitni ukrepi morajo biti izvedeni pri današnjih običajnih 300 V do 600 V enosmerne napetosti (v bodočnosti celo pri 1000 V) v okolici električnega vozila? Izziv je zaznati in obvladati okvare izolacije v samem vozilu ali napajalni napravi.

Varnost električnih vozil je v mednarodnem standardu ISO 6469 dobro opisana in razdeljena v štiri dele [17]:

- Shranjevanje električne energije na samem vozilu (akumulatorji)
- Obratovalna varnostna sredstva in zaščita pred okvarami
- Zaščita ljudi pred električnim udarom
- Varnost po trku

Nanaša se na napetostni razred B:

Voltage class B:

The high-voltage level is max. $60 < U \leq 1500$ V DC, $30 < U \leq 1000$ V AC rms.

Napetostni razred B:

Visokonapetostni nivo je največ

$60 < U \leq 1500$ V enosmerne napetosti,

$30 < U \leq 1000$ V efektivne vrednosti izmenične napetosti

ISO 6469 – 1 *Shranjevanje električne energije v vozilu*

Ta del standarda ISO 6469 določa zahteve za vgrajene obrnljive sisteme za shranjevanje energije (RESS) električno gnanih cestnih vozil, vključujoč električna akumulatorska vozila (BEV), vozila z gorivnimi celicami (FEV) in hibridna električna vozila (HEV), glede zaščite oseb znotraj in zunaj vozil ter za zaščite okolice vozil.

ISO 6469 – 2 Obratovalna varnostna sredstva in zaščita pred okvarami

Ta del standarda ISO 6469 – 2 določa zahteve za obratovalna varnostna sredstva in zaščito pred okvarami v zvezi s posebnimi tveganji električno gnanih cestnih vozil, vključujoč električna akumulatorska vozila (BEV), vozila z gorivnimi celicami (FEV) in hibridna električna vozila (HEV), glede zaščite oseb znotraj in zunaj vozil ter zaščite okolice vozil. ISO 6469 – 2 velja samo, če je najvišja delovna napetost vgrajenega pogonskega sistema nižja od zgornje napetostne meje razreda B.

Trije požari v šestih tednih – to ne prizadene samo proizvajalca temveč vso gospodarsko panogo električnih vozil. Kako velika je nevarnost požarov v resnici? [18]



Ali so električni avtomobili manj varni kot običajni?

Ne, pravijo izvedenci. Glede varnosti niso električna vozila nič slabša od vozil z dizelskim ali bencinskim pogonom. EuroNcap preizkus so električna vozila prestala z odliko. Ni pa še bil tako uradno preizkušen Tesla model S, ima pa najvišje ocene ameriškega preizkusa.

Katere šibke točke električnega vozila lahko povzročijo požar?

Največje tveganje predstavlja v električnem vozilu akumulator. Akumulator je zaprt v čvrst zabojnik tako, da ni nihče izpostavljen visokim napetostim. V primerjavi s posodami za bencin pa ima akumulator veliko pomanjkljivost: medtem ko pogonsko gorivo zagori šele, ko ga zaneti iskra, se lahko poškodovani akumulatorji vžgejo sami – na primer zaradi kratkega stika.

Kakšna je verjetnost, da se bo električno vozilo po trku vžgalo?

Po raziskavah preizkuševalne družbe Dekra zagori po težki nesreči manj kot en odstotek vozil. Pri prvem vžigu električnega vozila Tesla je kovinski del na dnu razparal akumulatorski zabojnik.

So trije požari električnih vozil Tesla že črna serija?

Za javno podobo že, statistično pa je težko oceniti. Glede na letno proizvodnjo je to 0,014 odstotka. Pravzaprav malo. Če pomislimo, da pri težkih nesrečah zagori 1 odstotek vozil, je 0,014 odstotka v primerjavi s številom vozil brez nesreč, ugoden podatek. Žal ni podatkov o ostalih vozilih.

ISO 6469 – 3 Zaščita oseb pred električnimi tveganji

Ta del standarda ISO 6469 določa električne varnostne zahteve za napetostni razred B električnih napeljav električnega pogonskega sistema in prevodno povezane pomožne električne napeljave električno gnanih cestnih vozil.

Določa električne varnostne zahteve za zaščito oseb pred električnim udarom in toplotnimi nezgodami.

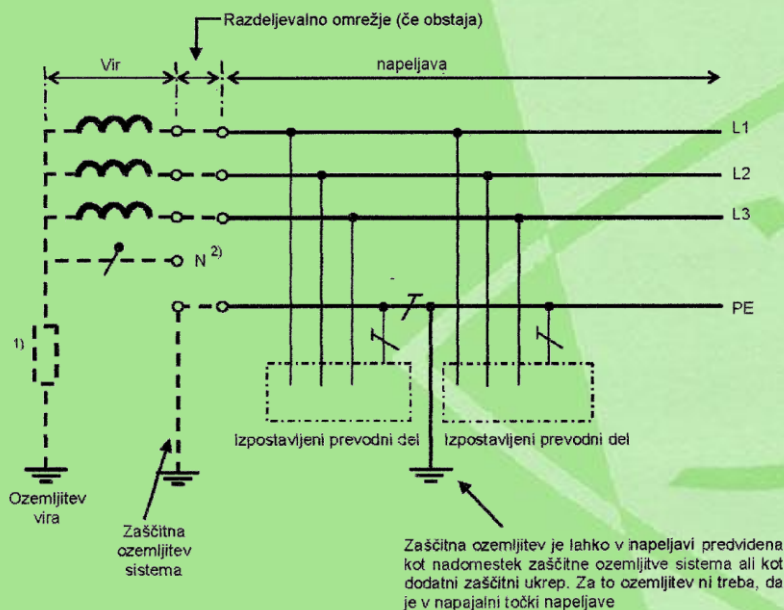
Voltage class B:

The high-voltage level is max. $60 < U \leq 1500$ V DC, $30 < U \leq 1000$ V AC rms.

Sodelovanje med ISO in IEC ter med IEC in CENELEC je na področju elektrotehnike zgledno. Tako so tudi slovenski standardi o električnem udaru povzeti po ISO standardih:

Analiza toka okvare [19]

Tok okvare je tisti del toka, ki ne teče nazaj k izvoru. V ozemljenem omrežju se pojavi tok okvare zaradi okvare izolacije. V odvisnosti od vrste napeljave so dovoljeni različni toki okvar brez opozorila ali izklopa naprav. Običajna gospodinjska ozemljena TN/TT – omrežja so praviloma zaščitena s 30 mA tokovnim zaščitnim stikalom (RCD) vrste A (občutljiv na izmenični in utripajoč tok).



IT- omrežje

Kakor hitro je električno vozilo priključeno na polnilno postajo, je napeljava vozila ozemljena in so potrebni drugačni zaščitni ukrepi kot so npr. tokovna zaščitna stikala.

Nasprotno pa prva okvara izolacije v neozemljenem IT-omrežju ne povzroči toka okvare. Ker aktivnega vodnika do zemlje (mase) ni, tokokrog ni sklenjen. Prvo okvaro zazna naprava za nadzor izolacije (IMD), ki prepreči ogroženost pri drugi okvari izolacije na nekem drugem aktivnem vodniku. Visokonapetostno omrežje električnega vozila je vse do priklopa na napajalno postajo IT-omrežje. Naprava za nadzor izolacije meri izolacijsko upornost napeljave.

ISO 6469 – 4 Električna varnost po trku

Ta del standarda ISO 6469 določa električne varnostne zahteve za električne pogonske sisteme in prevodno povezane pomožne električne napeljave električno gnanih cestnih vozil za zaščito oseb znotraj in zunaj vozila. Določa električne varnostne zahteve za stanje vozila po trku. Namenjen je za električno gnana cestna vozila z električnimi napeljavami napetostnega razreda B.



Vodja gasilcev pripoveduje: "Za nas je bila to prva nesreča z električnim avtomobilom." Težko ranjen voznik se je sam rešil iz vozila. "Lahko smo se posvetili tehniki. Poklicali smo zastopnika Tesle in dobili poročilo, da se pri sprožitvi katerekoli zračne blazine odklopi visokonapetostno omrežje od akumulatorja. Tako ni nobene nevarnosti, da bi lahko bila karoserija povzročiteljica električnega udara."

Zastopnik Tesle pa je še dodal, da naj vozilo zaradi možnega vžiga in eksplozije akumulatorja odstavijo na prostem. Verjetnost vžiga je predvsem velika, če so celice akumulatorja poškodovane. [21]

Po nesreči se visokonapetostno omrežje električnega vozila samo izključi. Vendar to ne deluje vedno: električni udar lahko prve reševalce opeče ali izzove še kaj hujšega. [23]

Reševanje ponesrečenih električnih ali hibridnih vozil je za gasilce in reševalce nevarnost, ki je ne smemo zanemariti. V električnih avtomobilih so kabli, ki so naelektreni tudi do 600 V. To so napetosti, podobne kot pri (še višjih) visokonapetostnih oskrbovalnih vodih. Za primerjavo – v vtičnici je 'samo' 230 V.



Da pri nesreči ne pride do preboja, so vodniki v električnih vozilih oplaščeni z zelo odpornim materialom (kevlar). Pri nesreči oziroma prelomu bi naj bil tako električni udar preprečen. Za zmanjšanje tveganja pri čelnem trčenju je visokonapetostna napeljava nameščena vedno med osema električnega vozila. V slučaju trka se izklopita visokonapetostna napeljava in akumulator. Tako se reševalcem ni treba bati električnega udara.



National Highway Traffic Administration je izvedla preizkus trkov na vozilu Chevrolet Volt. Najprej so preverili kakovost ob stranskem trku, potem še prevračanje. Pri vseh preizkusih je dobil avto vseh pet možnih zvezdic. Razbitino so odložili vendar je po 21 dneh začela goreti. Izvor ognja je bil akumulator. Pri trkih je bil poškodovan, prekinjen je bil hladilni sistem, kar je povzročilo pregrevanje celic. Po trku bi naj bil akumulator po navodilih proizvajalca izpraznjen, česar pa preskuševalci niso naredili..

Rettungskarte

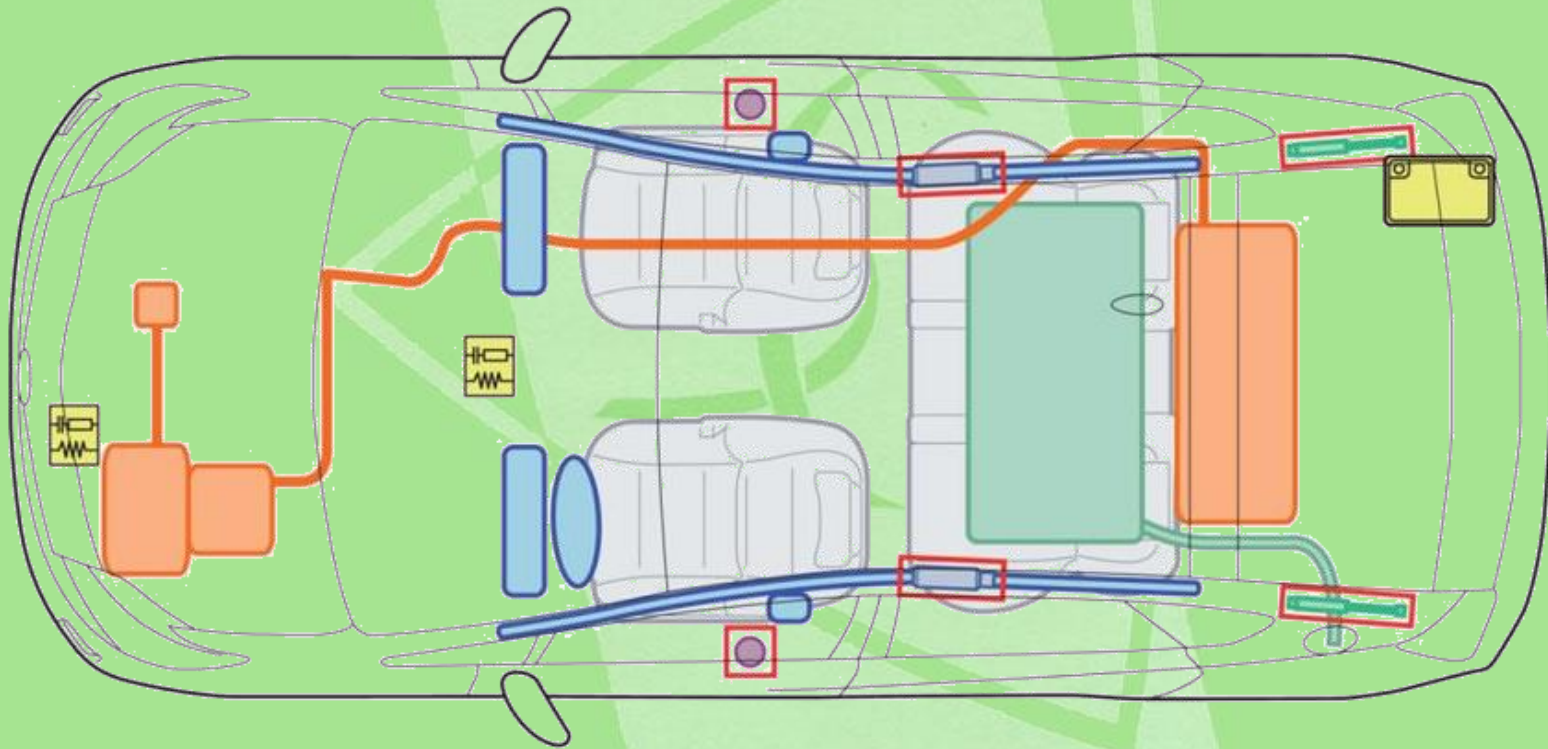
rescue sheet

car rescue card

hoja de rescate

Reševalni načrt – kos papirja, ki lahko rešuje življenja [23, 24]

Nalepka na vetrobranskem steklu obvešča reševalce, da je na 'krovu' načrt vozila z opisi za reševanje pomembnih gradnikov kot so zračne blazine, napenjalci varnostnih pasov, akumulator, posoda za gorivo ali ojačitve karoserije. Načrt pomaga reševalcem pri hitri in zanesljivi uporabi naprav za razpiranje. Večina podatkov je v obliki skic in simbolov, da ne pride do jezikovnih zapletov.



Rettungskarte

rescue sheet

car rescue card

hoja de rescate

Reševalni načrt bi naj bil v vsakem vozilu za senčnikom in predpisan tako, kot sta sedaj predpisana trikot in prva pomoč. Posebej so podatki pomembni pri električnih in hibridnih vozilih, da reševalci vedo, kje so položeni visokonapetostni kabli. Poškodovanje kablov lahko ogroža reševalce in potnike. Tudi pri vozilih s plinsko bombo je pomembno, da ne poškodujemo vodnikov ali varnostnih ventilov.

Daimler AG je konec leta 2013 uvedel še 'reševalno nalepko': vsak Mercedes ali Smart dobi dve nalepki s QR-kodo že v tovarni. Ena je nameščena na notranji strani pokrova za gorivo, druga na nasprotni strani vozila na B-stebri. S pametnim telefonom ali katerikoli čitalcem je možno priklicati reševalni načrt v jeziku telefona. Prednost je še, da je vozilo identificirano. Po nesreči je včasih težko prepoznati močno preoblikovano vozilo.

"S tem namenom je bila uvedena standardizirana shema v velikosti A4, ki ji rečemo Reševalna karta in vsebuje informacije o ojačitvah, rezervoarju goriva, akumulatorju, zračnih mehovah in jeklenkah s plinom pod tlakom. Na njej so prikazane tudi ustrezne točke za rezanje posameznih delov vozila, kar reševalcem oziroma gasilcem olajša delo in prihrani dragoceni čas," pojasnjujejo pri AMZS. "Standard za reševalno karto se uporablja po celotni Evropi, velika zasluga pa gre proizvajalcem avtomobilov, ki so bili pripravljene deliti podatke z reševalci in širšo javnostjo."

Pri AMZS svojim članom karto na podlagi vloge izdelajo brezplačno, poleg pa dobijo tudi nalepko za vetrobransko steklo, ki reševalce obvešča, da je v avtu karta.

Zaščita pred udarom strele

Avtomobile je že večkrat zadela strela. Največkrat se potnikom ni zgodilo nič, saj deluje kovinsko ohišje limuzine, pločevinasta kabina tovornjaka ali traktorja kot Faradayeva kletka. Michael Faraday je s poskusi dokazal, da tečejo vsi toki – tako tudi strela – samo po zunanji strani kovinske kletke in ne izzovejo nobenih električnih posledic znotraj kletke. Da preprečimo vdor strele, ni potrebna popolnoma zaprta kovinska lupina. Zadošča že kovinska kletka z relativno velikimi zankami (odprtini), kar je slučaj pri limuzinah.



Zaščita pred udarom strele

Priporočila (nujna) za voznike, ki se znajdejo sredi nevihte glasijo nekako tako:

- Zapeljite na najbližje parkirišče,
- odstranite anteno (če je najvišja točka avtomobila),
- ne zapuščajte zaprtega vozila, dokler se nevihta dovolj ne oddalji.

Kdor hoče vožnjo na vsak način nadaljevati, naj močno zniža hitrost in se mora zavedati, da lahko zaradi udara strele izpade delovanje cestne razsvetljave in cestne ali železniške signalizacije.



3.4 Varovanje okolja [8]

Električni avtomobili so kot emisijsko čisti posebno uporabni tam, kjer je treba lokalna onesnaženja močno zmanjšati (npr. območja s smogom). Izpolnjujejo predpise o nični emisiji (»zero-emission«), ki veljajo v Kaliforniji od leta 1990.

Iskanje vpliva avtomobilov na okolje je pogosto omejeno samo na porabo energije oz. goriva (**od tanka do kolesa**). Nekoliko širše meri vpliv analiza **od izvora do kolesa**, ki upošteva izkoristke in izpuste pri pripravi energije. Pravo primerjavo pa da seveda **analiza življenjskega cikla**, ki upošteva proizvodnjo in razgradnjo avtomobila, pripravo energije in hrup.



fosilna goriva 57%



obnovljivi viri 23%



jedrska 15%

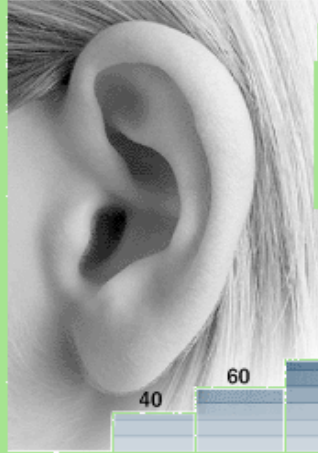


drugo 5%

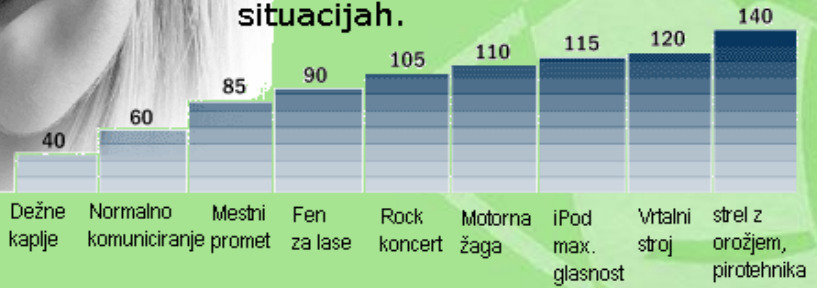
Ob uporabi evropske mešanice virov proizvodnje električne energije (fosilna goriva 57,1, obnovljivi viri 23,1, jedrska goriva 15,4, drugo 4,1 %) izpuščajo električni avtomobili v ozračje pol manj CO₂ na prevožen kilometer kot avtomobili z notranjim zgorevanjem. Je pa poraba energije pri proizvodnji električnih avtomobilov večja kot pri proizvodnji avtomobilov z notranjim zgorevanjem. Pri električnih avtomobilih odpade 15 % vpliva na okolje na proizvodnjo akumulatorjev.

Hrup

Z električnimi avtomobili je možno delno zmanjšati prometni hrup. Elektromotorji so zelo tihi, saj ne uporabljajo glasnih eksplozijam podobnih zgorevanj pri pretvorbi v mehansko energijo. Zmanjšanje hrupa je posebej veliko pri tovornjakih in dvotaktnih motorjih motornih kolesih.



IZPOSTAVLJENOST HRUPU
Raziskave kažejo, da je meja izpostavljenosti hrupu pri 85 decibelih 8h dnevno. Spodaj je primerjava meritev hrupa v naključnih vsakodnevni situacijah.



Ogljikov dvokis CO₂

Pri presoji obremenjevanja okolja s CO₂ je treba upoštevati emisije pri proizvodnji električne energije. Tako je vpliv na okolje električnega avta približno enak vplivu avtomobila z motorjem na notranje zgorevanje, če je vsa električna energija iz termoelektrarn.

Ljudje s svojim delovanjem oddajamo ogljikov dioksid. Oddaja ga že naše telo, s tem ko se segreva. Ko vdihnemo zrak, istočasno vdihnemo kisik. Ko izdihnemo, izdihnemo ogljikov dioksid. A naše telo odda tako malo ogljikovega dioksida, da to ne predstavlja bistvene težave. Težavo predstavljajo najrazličnejše človeške dejavnosti, pri katerih prihaja do večjih izpustov ogljikovega dioksida v ozračje.

Količino izpustov ogljikovega dioksida ponazorimo z izrazom **ogljikni odtis**. Na zmanjševanje slednjega lahko vplivamo že z enostavnimi dejanji:

- s pravilnim ločevanjem odpadkov,
- z recikliranjem in ponovno uporabo,
- s preprečevanjem nastajanja odpadkov,
- z varčno porabo vode,
- z varčno porabo energije,
- s trajnostno mobilnostjo,
- s trajnostno potrošnjo.



3.5 Recikliranje, odstranjevanje [8]

Dragocene surovine kot so kobalt, baker, aluminij in nikelj so posebej atraktivne za procesno ekonomijo in procesno ekologijo. Za recikliranje sekundarnih litij-ionskih akumulatorjev in primarnih litij-ionskih baterij so različni postopki združeni v obsežne procesne verige:

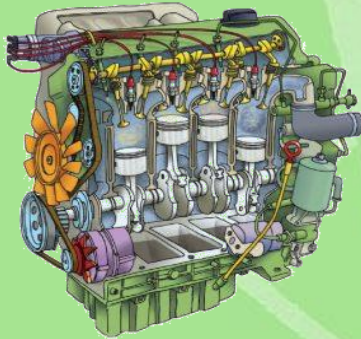
- Dezaktiviranje – praznjenje (posebej pomembno za pogonske akumulatorje)
- Razstavljanje napeljave (posebej pomembno za pogonske akumulatorje)
- Mehanski procesi (drobljenje, prebiranje, rešetje itd.)
- Hidrometalurški procesi
- Pirometalurški procesi

Prvi komercialni postroj za recikliranje je bil leta 2017 postavljen v Južni Koreji. Litijev fosfat iz starih litijevih akumulatorjev pretvarjajo v litijev karbonat, ki je vmesna surovina za proizvodnjo.

Litij ionski akumulatorji vsebujejo manj toksičnih kovin kot drugi akumulatorji, ki lahko vsebujejo svinec ali kadmij, in so splošno označeni kot ne tvegan odpadek. Litij ionski akumulatorji, ki vsebujejo železo, baker, nikelj in kobalt veljajo kot varni za sežigalnice in smetišča. Te kovine pa je možno tudi reciklirati vendar je trenutno rudarjenje cenejše. Trenutno ni veliko vlaganj v recikliranje litij-ionskih akumulatorjev zaradi stroškov, obsega in majhnega donosa. Najdražja kovina za gradnjo celice je kobalt. Litij železov fosfat je cenejši, ima pa druge nevšečnosti. Litij je manj drag kot ostale uporabljene kovine, lahko pa recikliranje prepreči bodoče pomanjkanje. Proizvodni procesi niklja, kobalta in topila predstavljajo tveganje za zdravje in okolje. Izdelava kg Litij - ionskega akumulatorja potrebuje 1,6 kg surove nafte.

4 Hranilniki energije

Bistvo razvoja električnega avtomobila je hranilnik energije, saj električni avtomobil – drugače kot električna tirna vozila – med vožnjo ne more biti povezan na javno električno omrežje. Šele visoko učinkoviti hranilniki energije z veliko energijsko gostoto omogočajo električnim avtomobilom doseg, ki je enakovreden dosegu avtomobilov z motorji z notranjim zgorevanjem. Doseg do 500 km je pri današnjem stanju tehnike mogoč.

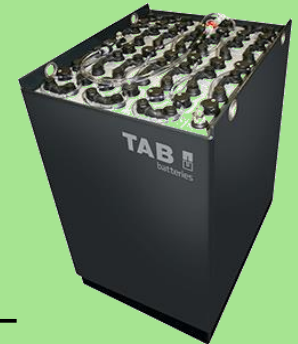


+

motor z notranjim zgorevanjem + tank za gorivo
akcijski radij 800 do 1000 km



+



elektromotor + akumulator
akcijski radij 100 do ??? km

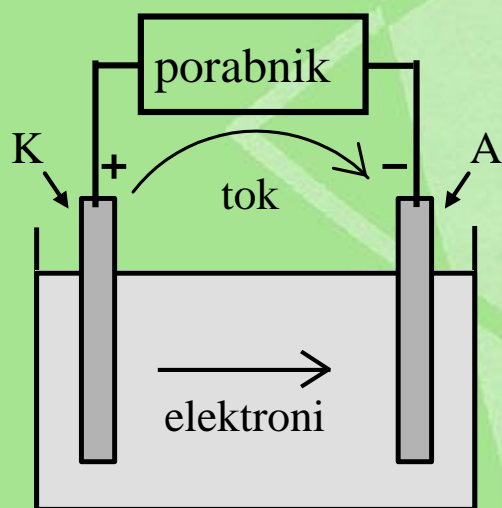
V preglednici je primerjava kakšno zalogo goriva mora avto naložiti in voziti s seboj, da brez ponovnega ustavljanja prevozi 800 km. Za tako razdaljo je potrebno približno 100 kWh energije. Podane so ocene in srednje vrednosti, zato je pri vseh številkah treba upoštevati 30 % toleranco.

Zaloga različnih goriv za prevoženih 800 km (100 kWh)

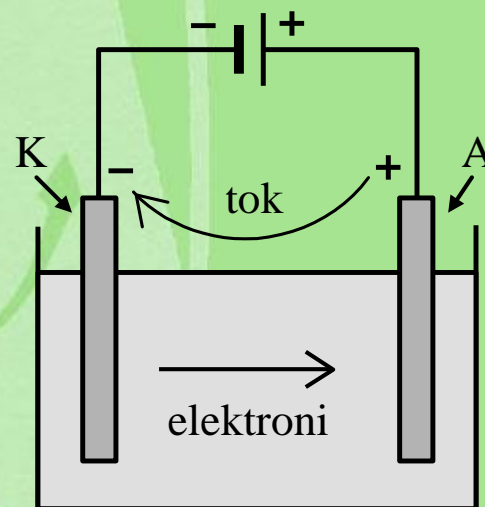
| Gorivo | Energijska gostota [kWh/kg] | Pogonske naprave | Povprečni izkoristek | Skupna masa [kg] hranilnika energije za 100 kWh |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|---|
| elektrika iz svinčevega akumulatorja | 0,03 | elektromotor z vračanjem energije | 95 % do 97 % | 2700 |
| elektrika iz Li ionskega akumulatorja | 0,13 | elektromotor z vračanjem energije | 95 % do 97 % | 620 |
| nafta | 11,8 | dieselski motor z menjalnikom | 25 % 23,5 % | 36 (+50 posoda za gorivo) |
| super bencin | 12,0 | Otto motor z menjalnikom | 15 % 14 % | 59 (+50 posoda za gorivo) |
| tekoči vodik | 33,3 | gorivna celica PAFC elektromotor | 38 % 95 % | 8,3 (+600 posoda za gorivo) |

4.1 Elektrokemijska tehnologija [27]

Elektrokemija je veja fizikalne kemije, interdisciplinarna, posebna v proučevanju reakcij med snovjo in elektroni ter povsem splošna pri uporabi. Pri elektrolizi uporabljamo električno energijo za izločanje elementov iz spojin (pridobivanje kovin kot so baker, aluminij, srebro ali vodika in kisika iz vode). Obraten proces predstavljajo elektrokemijski izvori energije, ki energijo shranjujejo v strukturi kemijskih vezi, ki jo ob preklopu stikala pretvarjajo v električno. Elektrokemijski proces je tudi korozija, ki “uničuje” tako koristno energijo kot materijo. Elektrokemijski procesi se dogajajo v okviru elektrokemijskega sistema: v raztopino ali talino elektrolita sta potopljeni dve elektrodi (kovinski palici, plošči ali podobno).



a) izvor električne energije

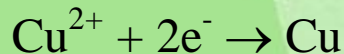
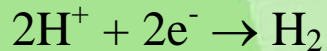


b) elektroliza

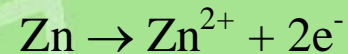
Reakcije, do katerih pride spontano, dajo električno energijo. Takšne sisteme imenujemo galvanski členi. Elektrokemijski sistem, v katerem pride do reakcije le ob vloženi električni energiji, pa elektrokemijski reaktor.

Pri prehodu toka se elektroni s katode selijo v elektrolit in na anodo. Kemijska reakcija ob elektrodah je redukcija ali oksidacija. Osnovni pojav teh reakcij je pridobitev ali izguba elektronov iz molekularne strukture:

redukcija / katodna reakcija

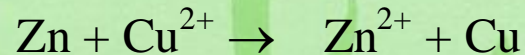


oksidacija / anodna reakcija



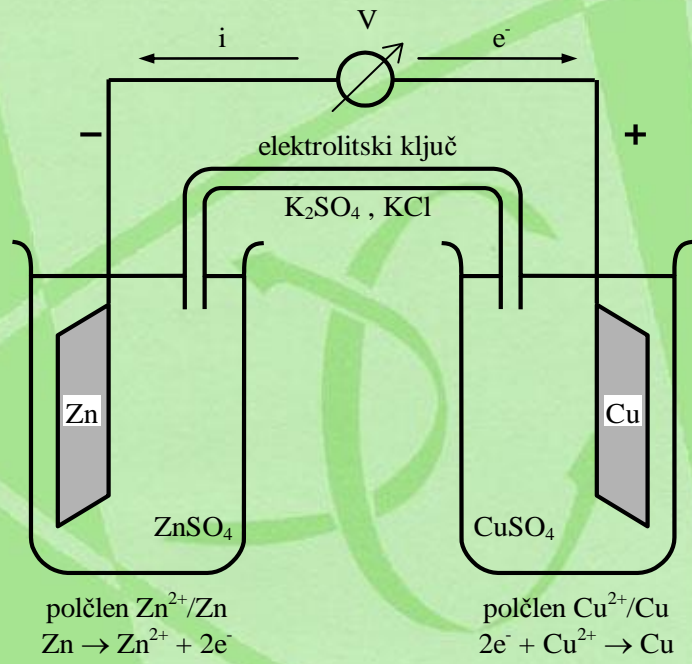
Število elektronov, ki sodelujejo v elektrokemijskih reakcijah na anodi in katodi, je enako. Vsota anodne in katodne reakcije je enaka kemijski reakciji, ki se odvija brez posredovanja električne energije.

Reakcijo med cinkom in hidratiziranimi bakrovimi ioni lahko formalno prikažemo, kot da je sestavljena iz dveh procesov:



Reakcijo lahko izvedemo neposredno, tako da potopimo kovinski cink v raztopino, ki vsebuje hidratizirane bakrove ione. Pri tem se cink "raztaplja", nastajajo hidratizirani cinkovi ioni, baker pa se izloča v trdnem stanju. Isto reakcijo lahko izvedemo posredno, v galvanskem členu, tako da proces oksidacije in redukcije prostorsko ločimo, prenos elektronov pa omogočimo z električnim vodnikom.

Galvanski člen je sestavljen iz dveh polčlenov (ali elektrod; označimo ju Zn^{2+}/Zn in Cu^{2+}/Cu). Cinkov polčlen je ploščica cinka, potopljena v raztopino cinkovega sulfata, bakrov polčlen je ploščica bakra, potopljena v raztopino bakrovega sulfata. Polčlena sta povezana z električnim vodnikom in elektrolitskim ključem. Med polčlenoma teče tok, napetost galvanskega člena lahko izmerimo.



Daniellov člen $Zn/ Zn^{2+} // Cu^{2+}/Cu$

Napetost člena, ki je sestavljen iz določenega polčlena in standardnega vodikovega polčlena, imenujemo redoks potencial (U). Redoks potencial je merilo za redukcijsko oziroma oksidacijsko sposobnost nekega redoks para. Zaradi lažjega medsebojnega primerjanja redoks potencialov, jih navajamo vselej pri standardnih pogojih; v tem primeru imenujemo redoks potencial standardni potencial (U^0).

Standardni potenciali standardnega vodikovega polčlena ter cinkovega in bakrovega polčlena so na primer:

$$U^0(\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2) = 0,$$

$$U^0(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,76 \text{ V},$$

$$U^0(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = +0,34 \text{ V}$$

Glede na vrednost standardnega potenciala lahko razvrstimo vse redoks pare v napetostno vrsto. Po dogovoru navajamo v napetostni vrsti redukcijske potenciale (na primer za cinkov polčlen za reakcijo $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$), negativni predznak imajo standardni potenciali polčlenov, ki so glede na standardni vodikov polčlen reducenti. Tako predznak standardnega potenciala za nek polčlen ustreza dejanskemu naboju elektrode v galvanskem členu (negativni pol ima bolj negativni redoks potencial). V preglednici so navedeni standardni potenciali za nekatere značilne redoks pare.

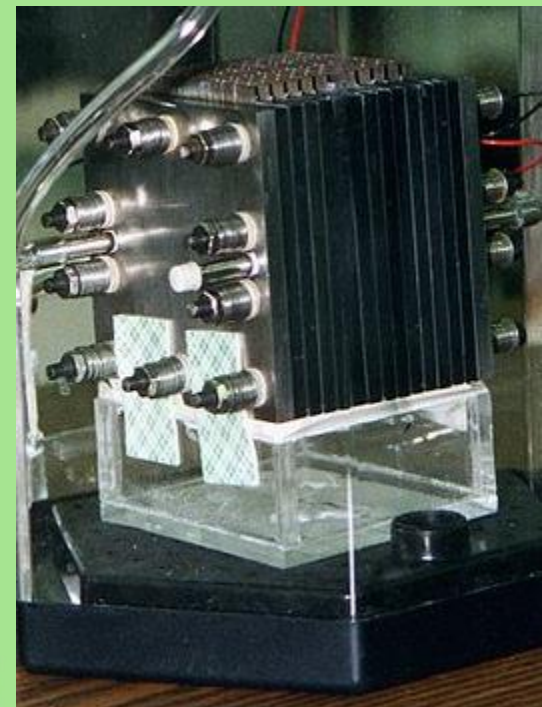
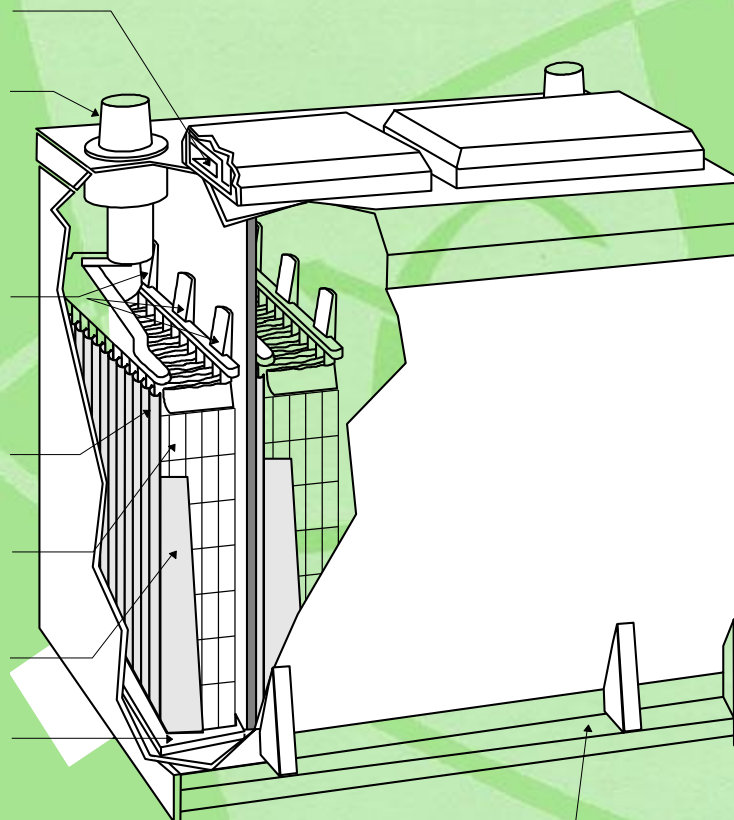
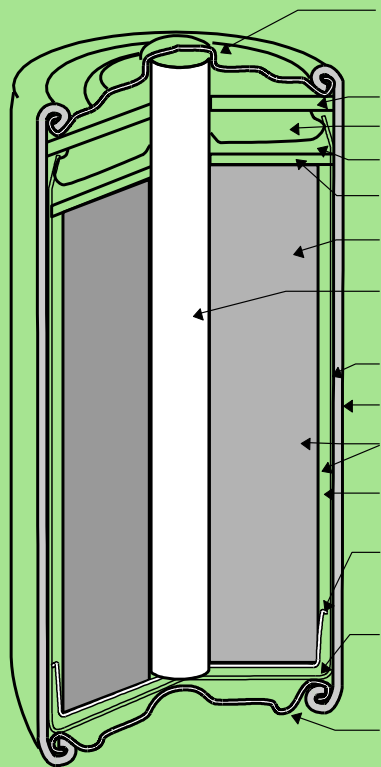
Napetost galvanskega člena izračunamo iz redoks vrste tako, da od bolj pozitivnega standardnega potenciala odštejemo bolj negativni standardni potencial. Napetost galvanskega člena s cinkovim in bakrovim polčlenom je: $+0,34 - (-0,76) = 1,1 \text{ V}$

| Redoks par | $U^0(\text{V})$ | Redoks par | $U^0(\text{V})$ |
|---|-----------------|---|-----------------|
| $\text{Li}^+ + \text{e}^- \Leftrightarrow \text{Li}$ | -3,0401 | $2\text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{H}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ | 0,000 |
| $\text{Rb}^+ + \text{e}^- \Leftrightarrow \text{Rb}$ | -2,98 | $\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Sn}^{2+}$ | 0,151 |
| $\text{K}^+ + \text{e}^- \Leftrightarrow \text{K}$ | -2,931 | $\text{Bi}^{3+} + 3\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Bi}$ | 0,29 |
| $\text{Cs}^+ + \text{e}^- \Leftrightarrow \text{Cs}$ | -2,92 | $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Cu}$ | 0,34 |
| $\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Ba}$ | -2,91 | $2\text{ClO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Cl}_2 + 4\text{OH}^-$ | 0,40 |
| $\text{Sr}^{2+} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Sr}$ | -2,89 | $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}^+ + 4\text{e}^- \Leftrightarrow 4\text{OH}^-$ | 0,401 |
| $\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Ca}$ | -2,87 | $\text{I}_2 + 2\text{e}^- \Leftrightarrow 2\text{I}^-$ | 0,53 |
| $\text{Na}^+ + \text{e}^- \Leftrightarrow \text{Na}$ | -2,71 | $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \Leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$ | 0,77 |
| $\text{La}^{3+} + 3\text{e}^- \Leftrightarrow \text{La}$ | -2,522 | $\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow 2\text{Hg}$ | 0,797 |
| $\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Mg}$ | -2,37 | $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \Leftrightarrow \text{Ag}$ | 0,7996 |
| $\text{H}_2 + 2\text{e}^- \Leftrightarrow 2\text{H}^-$ | -2,23 | $\text{NO}_3^- + 4\text{H}_3\text{O}^+ + 3\text{e}^- \Leftrightarrow \text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$ | 0,96 |
| $\text{Lu}^{3+} + 3\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Lu}$ | -2,25 | $\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \Leftrightarrow 2\text{Br}^-$ | 1,07 |
| $\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Al}$ | -1,66 | $\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e}^- \Leftrightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$ | 1,23 |
| $\text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{HPO}_3^{2-} + 3\text{OH}^-$ | -1,05 | $\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}_3\text{O}^+ + 3\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Cr}^{3+} + 12\text{H}_2\text{O}$ | 1,35 |
| $2\text{SO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{S}_2\text{O}_4^{2-} + 4\text{OH}^-$ | -1,12 | $\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \Leftrightarrow 2\text{Cl}^-$ | 1,36 |
| $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$ | -0,93 | $2\text{BrO}_3^- + 12\text{H}_3\text{O}^+ + 10\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Br}_2 + 18\text{H}_2\text{O}$ | 1,48 |
| $\text{Se} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Se}^{2-}$ | -0,92 | $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}_3\text{O}^+ + 5\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + 12\text{H}_2\text{O}$ | 1,51 |
| $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Zn}$ | -0,762 | $\text{MnO}_4^- + 4\text{H}_3\text{O}^+ + 3\text{e}^- \Leftrightarrow \text{MnO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ | 1,68 |
| $\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Fe}$ | -0,447 | $\text{Ce}^{4+} + \text{e}^- \Leftrightarrow \text{Ce}^{3+}$ | 1,61 |
| $\text{S} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{S}^{2-}$ | -0,476 | $\text{O}_3 + 2\text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ | 2,07 |
| $\text{SeO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Se} + 6\text{OH}^-$ | -0,37 | $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow 2\text{SO}_4^{2-}$ | 2,1 |
| $\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ | -0,28 | $\text{XeF}_2 + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Xe} + 2\text{F}^-$ | 2,2 |
| $\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Pb}$ | -0,13 | $2\text{F}_2 + 2\text{e}^- \Leftrightarrow 2\text{F}^-$ | 2,87 |
| $2\text{D}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^- \Leftrightarrow \text{D}_2 + 2\text{D}_2\text{O}$ (devterij) | -0,003 | | |

primarni člani baterije

sekundarni člani akumulatrji

gorivne celice

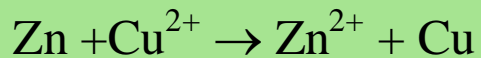


4.2 Baterije (primarni členi)

Primarni členi se razlikujejo od sekundarnih v tem, da elektrokemijske reakcije niso reverzibilne oziroma, če so, so v zelo malem obsegu. Vzrok so fizikalne spremembe, na primer izguba električnega kontakta zaradi kemijskih proizvodov pri praznjenju. Pri pogosto uporabljanem "suhem" členu je vzrok v močni koroziji cinkove posodice, ki predstavlja eno elektrodo. V sekundarnih členih ali akumulatorjih so reakcije obrnljive. Prvotne kemijske spojine ponovno dobimo ob pretoku električnega toka v obrnjeni smeri.

Zmogljivost členov merimo s kapacitivnostjo, ki je skupna električna energija, ki jo lahko člen (ali baterija) odda pri predpisanih pogojih. Izražamo jo v vat-urah, amper-urah ali času, ki je potreben za praznjenje. Najpogosteje uporabljane amper-ure niso najbolj primerne za primarne člene, saj je napetost (s katero je treba pomnožiti amper-ure, da dobimo energijo) za različne člene zelo različna.

Teoretično zmogljivost dobimo s Faradayevo konstanto: 1 mol aktivne snovi da 96,487 As oziroma 26,8 Ah. 1 mol aktivne snovi je atomska ali molekulska masa deljena s številom elektronov, ki sodelujejo v reakciji. Teoretična specifična zmogljivost je tako za sistem Zn/Cu 830 Ah/kg :



Pri tem gre v raztopino 1,22 g/Ah cinka, reducira se pa 1,18 grama bakrovega iona.

Napetost praznega teka (napetost galvanskega člena pri odprtih sponkah) tega člena je 1,1 V. Tako je teoretična specifična energija

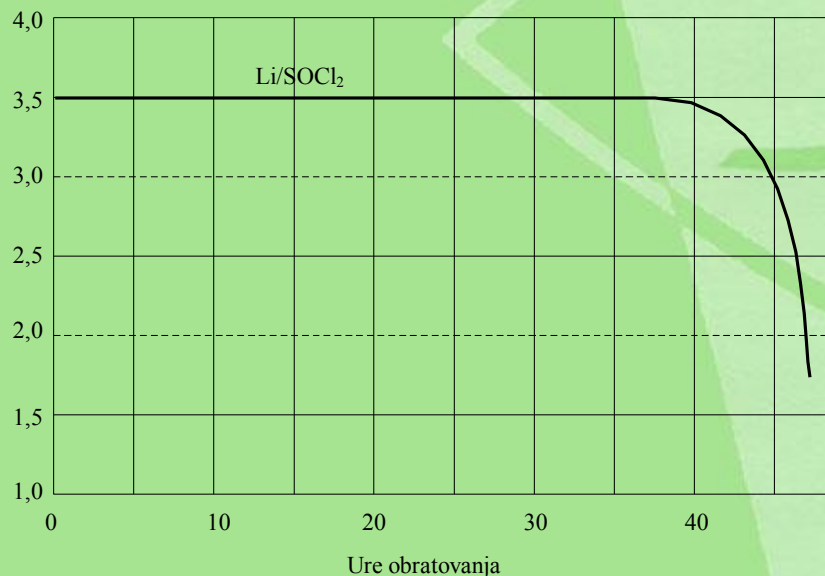
$$1,1 \text{ V} \times 830 \text{ Ah/kg} = 913 \text{ Wh/kg}$$

Dejanska shranjena specifična energija je petkrat manjša

Litijeve baterije

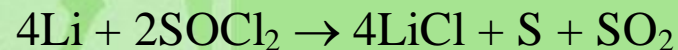
V napetostni vrsti ima litij najbolj negativen potencial. Majhna gostota in visoka električna prevodnost sta le še dodatni lastnosti, ki ga opredeljujeta kot idealen material za anodo. Katoda je lahko tekočina ali plin (SO_2 ali SOCl_2), lahko je kovinski oksid ali sulfid (V_2O_5 , FeS), v členih s trdnim elektrolitom pa je katoda svinec ali svinčeve spojine. Litij burno reagira z vodo, zato so običajno elektroliti organske tekočine. Izjemi sta tionil klorid - SOCl_2 in SO_2Cl_2 , ki sta istočasno topilo in aktivna snov na katodi, električni kontakt pa je vzpostavljen preko oglene palčke. Litijeve baterije odlikujejo visoka napetost členov (3,9 V), velika specifična energija (2- do 4-krat večja kot pri običajnih suhih), veliko temperaturno delovno območje (-40 °C do 70 °C), stalna napetost in notranja upornost med praznjenjem ter visoka življenjska doba (uporabne tudi po desetih letih skladiščenja).

Napetost celice [V]



Praznjenje litijevega Li/SOCl_2 R14 člena s 100 mA tokom

Kemijska reakcija:



daje napetost praznega teka 3,65 V in teoretično zmogljivost 1470 Wh/kg. Na sliki je prikazana napetostna odvisnost od časa praznjenja.

Tovrstne cilindrične baterije so izvor energije za CMOS pomnilnike, velike kvadrataste pa v vojski za rezervno napajanje.

4.3 Akumulatorji (sekundarni člani)

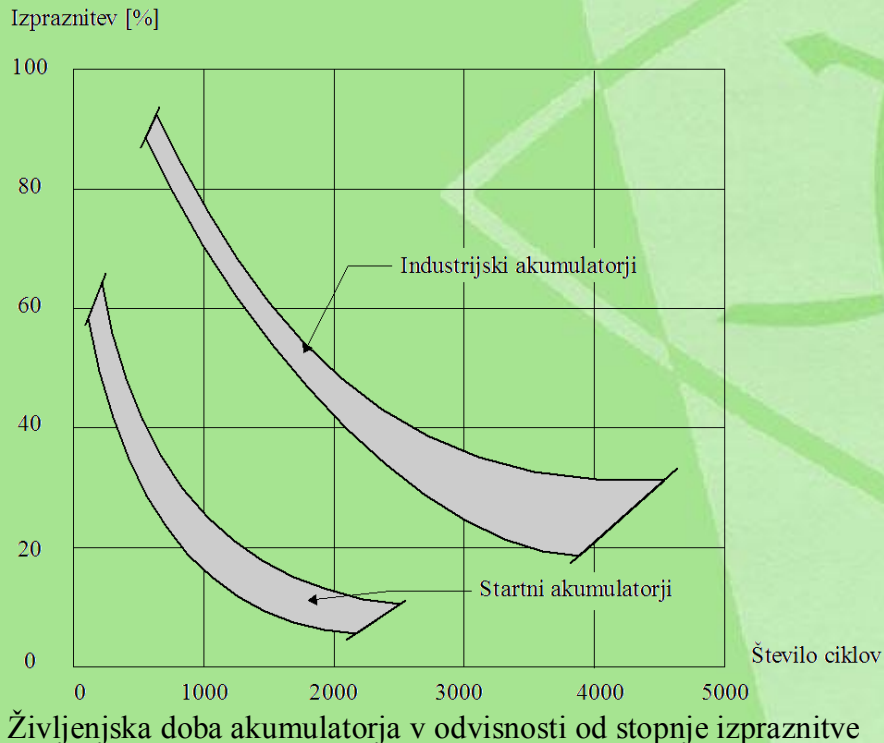
Zelo važna lastnost sekundarnih ali obrnljivih galvanskih členov je praznjenje in polnjenje - pretvorba električne energije v kemijsko energijo in zopet nazaj v električno. Temu nizu dogajanj pravimo cikel, mora pa potekati (skoraj) popolnoma obrnljivo, mora imeti visok energijski izkoristek ter minimalne fizikalne spremembe, ki bi lahko vplivale na življenjsko dobo člena. Razen tega zahtevamo še visoko energijsko gostoto, majhno notranjo upornost in široko temperaturno delovno območje. Vse te zahteve močno omejujejo nabor snovi, ki jih lahko uspešno uporabljamo v akumulatorjih.

Najvažnejša dela akumulatorja sta dve elektrodi, ločeni z električno neprevodno pregrado in in sta potopljeni v elektrolit, vse skupaj pa je vgrajeno v primerno posodo. Pri svinčevem akumulatorju je anoda svinčev(IV) oksid, katoda pa čist svinec. V alkalnem akumulatorju je anoda nikljev hidroksid, katoda pa železo ali kadmij. Elektrolit je pri svinčevem akumulatorju razredčena žveplova(VI) kislina in pri alkalnem razredčen kalijev lug.

Hranilniki energije imajo različne zasnove. Trenutno uživajo največjo naklonjenost akumulatorji NiMH, Li-ion in Zebra akumulator.

Dosege 300 do 500 km omogočajo šele akumulatorji na osnovi litija, ki imajo bistveno večjo energijsko gostoto. Teoretično je možno v vsakem vozilu zamenjati dosedanje svinčeve ali Ni-Cd akumulatorje z litijevimi in ustrezno spremeniti tudi polno napravo.

Večina električnih avtomobilov je primerna za vožnjo v mestih oziroma za kratke razdalje. V preteklosti je bila večina avtomobilov opremljena s svinčevimi ali Ni-Cd akumulatorji, ki so bili sposobni obratovati pri najvišji hitrosti eno uro in so z enim polnjenjem prevozili 40 do 130 km. Nadaljnja slabost akumulatorjev v primerjavi z motorji na notranje zgorevanje so dolgi časi polnjenja.



Razpoložljivi akumulatorji imajo v glavnem kratko življenjsko dobo. Določena je s številom polnjen in praznjenj – največjim možnim številom do vidne izgube zmogljivosti. Zmogljivost je odvisna je od vrste in načina uporabe akumulatorja. Običajni svinčevi akumulatorji, ki jih uporabljamo kot startne akumulatorje za motorje z notranjim zgorevanjem, niso primerni za velika praznjenja in so neprimerni za pogon. Pogonski akumulatorji so boljši, imajo pa še vedno kratko življenjsko dobo. Pri parkiranih avtomobilih moramo Li-ionske akumulatorje pri nizkih temperaturah greti in pri visokih hladiti.

Akumulatorji za vleko (vlečni akumulatorji, pogonski akumulatorji) so razen za pogon električnih vozil uporabni tudi kot stacionarni akumulatorji za razsvetljavo, hlajenje itd. v hišah, bivalnih prikolicah, rešilnih avtomobilih. V uporabi so akumulatorji z dolgo življenjsko dobo, ki so sposobni shranjeno energijo oddajati daljše časovno obdobje. V nasprotju s startnimi akumulatorji jih lahko praznimo brez škode do 80 %.

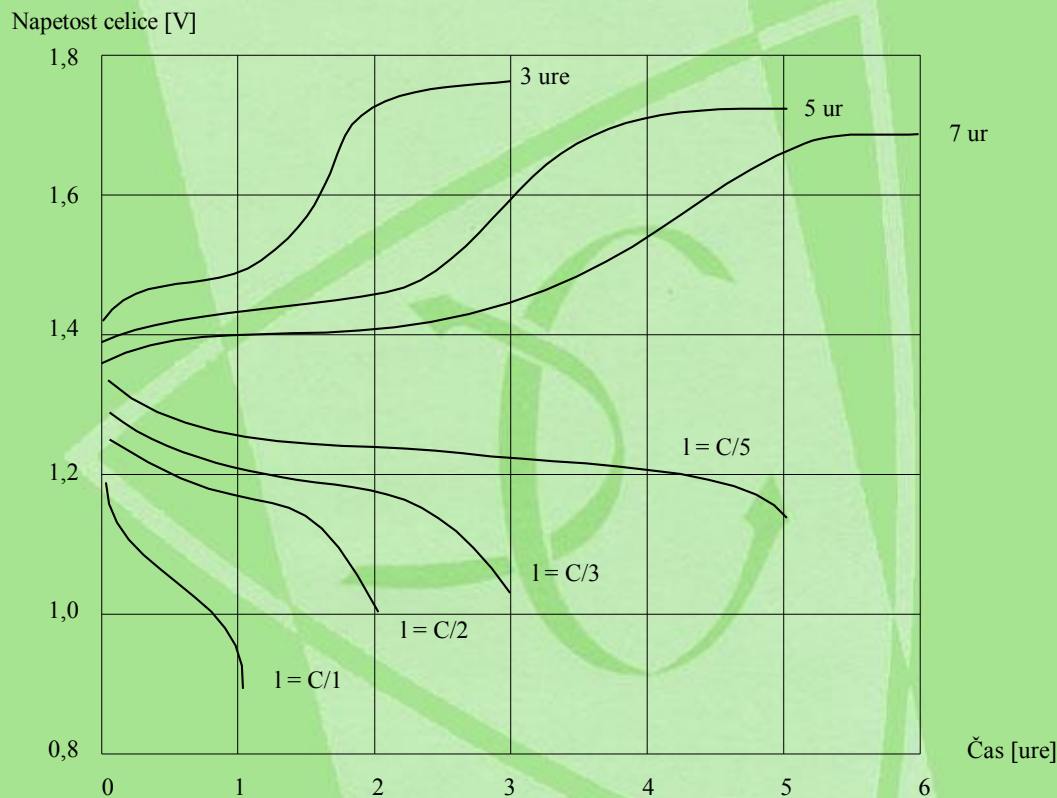
Startni akumulatorji za osebne avtomobile imajo zmogljivost od 36 – 80 Ah pri 12 V, za viličarje uporabljajo akumulatorje z zmogljivostjo 100 do 600 Ah pri napetosti 48 V.

Pri hibridnih avtomobilih, kot sta Toyota Prius in Honda Civic IMA so uporabili Ni-metalhidridne (NiMH) akumulatorje pri nekaj 100 V in manj kot 10 Ah. Vedno pogosteje navajajo zmogljivost vlečnih akumulatorjev v Wh namesto Ah. Tako je možna takojšnja primerjava med različnimi vrstami. Preje omenjeni startni (zagonski) akumulatorji imajo tako energijsko zmogljivost 496,8 do 960 Wh za osebne avtomobile, 4800 do 28800 Wh za viličarje in akumulator za Toyota Prius II 1310 Wh.

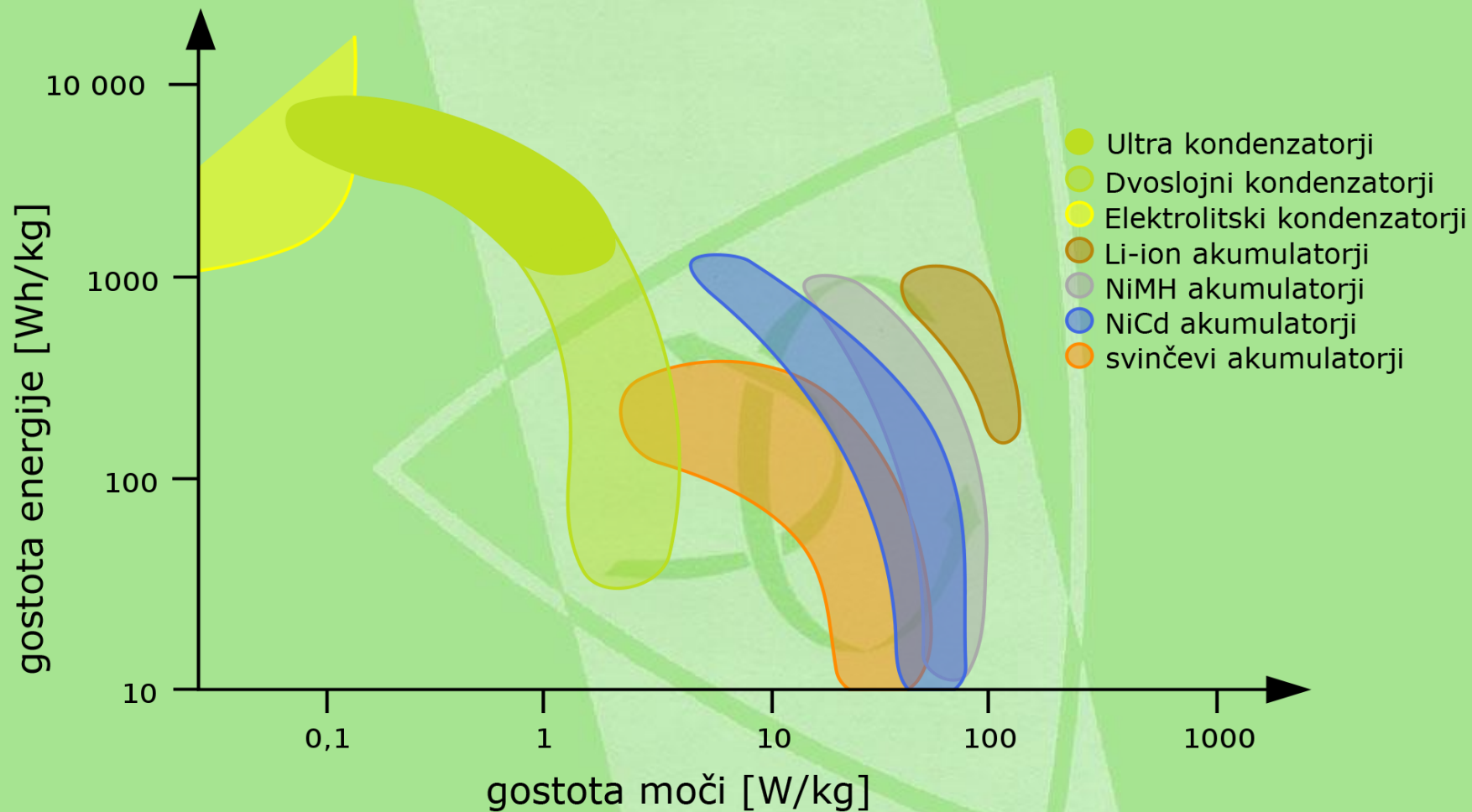
Višja napetost znižuje toke ter zmanjšuje ohmske izgube v vodnikih in termične izgube pri polnjenju in praznjenju.

Splošno je tok praznjenja ali polnjenja označen kot razmerje zmogljivosti C [Ah] in števila ur N praznjenja oziroma polnjenja :

$$I = \frac{C}{N} \text{ [A]}$$

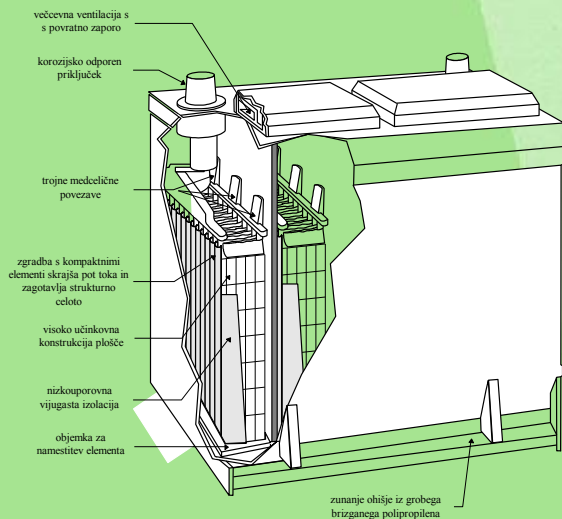


Spreminjanje napetosti med praznjenjem in polnjenjem nikelj kadmijevega člana z nizko notranjo upornostjo



Primerjava gostote moči in energije nekaterih hranilnikov energije

4.3.1 Svinčev akumulator

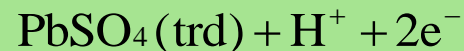


Tok v zunanjem tokokrogu teče od anode h katodi.

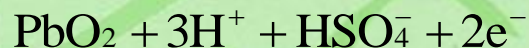
negativna elektroda



praznjenje →
← polnjenje



pozitivna elektroda



praznjenje →
← polnjenje



Potencialni razliki sta $+1,685 \text{ V}$ in $-0,356 \text{ V}$, kar da napetost praznega teka $2,041 \text{ V}$.

Za polnjenje moramo sekundarni člen priključiti na enosmerni vir.

Med praznjenjem se aktivni deli obeh elektrod pretvarjajo v svinčev sulfat, istočasno pada koncentracija elektrolita ob porabi sulfatnih ionov in nastajanju vode. Specifična energija je 20 Wh/kg , medtem ko je teoretična 120 Ah/kg . Samopraznjenje je $0,125 \%$ na dan, kar ga uvršča v sam vrh med akumulatorji glede samopraznjenja. Lahko ga polnimo brez regulatorja s tokom 8 mA/Ah . Življenjska doba je nizka (startni akumulatorji do 2000 praznjenj do 10%), industrijski (vlečni) do 4000 praznjenj pri globini praznjenja do 20% .

4.3.2 Nikelj – kadmijev akumulator (Ni – Cd)



Različne vrste NiCd akumulatorjev



NiCd akumulator skupine PSA Peugeot Citroën – 100 Ah, 120 V, 300 kg

NiCd akumulatorji imajo odlične lastnosti, vendar je uporaba omejena zaradi strupenosti kadmija. Do prepovedi je skupina PSA prodala več kot 10 000 NiCd akumulatorjev, ki so imeli zelo dolgo življenjsko dobo in bili odporni proti mrazu. Avtomobila Peugeot 106 in Citroën Saxo Electrica sta imela polnilnik z močjo 3 kW, ki je omogočal povečanje dosega za 15 km v eni uri.

NiCd akumulator je razvil leta 1899 Šved Waldemar Jungner. Elektrolit je baza (alkalni akumulator) in za razliko od najbolj razširjenega svinčevega akumulatorja ostaja med polnjenjem in praznjenjem nespremenjen.

Decembra 2004 je ministrski svet EU sprejel direktivo, katere cilj je bil zmanjšati industrijsko rabo kadmija – za začetek so prepovedali uporabo NiCd akumulatorjev. Izjema so električna orodja, alarmni sistemi, zasilna razsvetljava, medicinska oprema, ker ni enakovrednega nadomestila.

NiCd akumulatorji imajo delovno napetost 1,2 V in so tako 20 % pod napetostjo suhih baterij. To ne predstavlja problema, saj je večina naprav narejena za delovanje pri 0,9 – 1,0 V, kar je napetost praznih baterij. Zaradi majhne notranje upornosti lahko proizvajajo velike toke. Posebna prednost v primerjavi z drugimi akumulatorji je lastnost, da imajo tudi pri -40 °C na razpolago še 50 % zmogljivosti.

Elektrode NiCd akumulatorja so plošče; v napolnjenem stanju na – polu kadmij, na + polu Ni(III)-oksidhidroksid. Kot elektrolit služi 20 % raztopina kalijevega luga. Napetost praznega teka je 1,3 V ($E(\text{Cd}/\text{Cd}_2^+) = -0,81 \text{ V}$, $E(\text{NiO}(\text{OH})/\text{Ni}(\text{OH})_2) = +0,49$).

Praznjenje: na anodi (negativni elektrodi) oksidira kadmij v kadmijev hidroksid ($\text{Cd}(\text{OH})_2$). Prosti elektroni tečejo preko porabniške naprave na katodo (pozitivno elektrodo). Na njej se nikljev III oksidhidroksid (NiOOH) v nikljev(II)hidroksid ($\text{Ni}(\text{OH})_2$).

Polnjenje: Reakcije tečejo v obratni smeri. Kadmijeva elektroda je še vedno negativna, vendar katoda, saj se na njej dogaja redukcija; nikljeva elektroda je pozitivna (anoda) in na njej poteka oksidacija.

Skupna reakcija: $2\text{NiO}(\text{OH}) + \text{Cd} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Cd}(\text{OH})_2$

4.3.3 Nikelj metal hidridni akumulator (NiMH)

| | |
|---------------------|----------------------------------|
| Specifična energija | 30 - 80 Wh/kg |
| Gostota energije | 140 - 300 Wh/l |
| Specifična moč | 250 - 1000 W/kg |
| Izkoristek | 66 % |
| Samopraznjenje | 30 % na mesec |
| Življenjska doba | 500 - 1000 praznjenj in polnjenj |
| Napetost | 1,2 V |



Moderni NiMH akumulatorji z veliko zmogljivostjo



Ustroj NiMH R6 členu

1. Pozitivni kontakt
2. Zunanji kovinski tulec (tudi negibni kontakt)
3. Pozitivna elektroda
4. Negativna elektroda z zbiralnikom toka
5. Separator



NiMH akumulator Varta

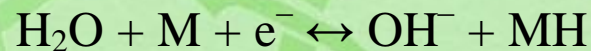


Visoko zmogljiv NiMH akumulator za Toyota Prius

Nikelj-metal hidridni člen je sekundarna člen, podoben nikel- kadmijevemu členu. NiMH člen uporablja za negativno elektrodo vodikovo zmes namesto kadmija. Kakor v NiCd členih je pozitivna elektroda nikljevoksihidroksid (NiOOH). NiMH člen ima lahko dva do trikrat večjo zmogljivost kot NiCd člen enake velikosti. Je primerljiva z Li_ionskim členom, ima pa mnogo večje samopraznjenje.

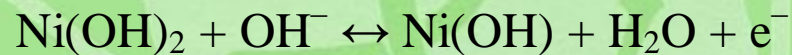
Povprečni LR6 NiMH akumulatorji imajo zmogljivosti od 1100 mAh do 3100 mAh pri napetosti 1,2 V, običajno merjeno pri praznjenju z 0,2xC na uro. Zmogljivost upada z večanjem praznilnega toka vendar do okoli 1xC (popolna izpraznitev v eni uri) ne upade znatno.

Na negativni elektrodi poteka kemična reakcija:



Reakcija med polnjenjem poteka iz leve v desno in med praznjenjem iz desne v levo.

Na pozitivni elektrodi se formira nikljev oksihidroksid:



Kovina "metal" M na negativni elektrodi NiMH celice je v resnici zmes več kovin. Za kovinske hidride pridejo v poštev materiali z več elementi, ki uporabljajo strukturno in kompozicijsko neurejenost na različnih nivojih oddaljenosti. Materiali za elektrode iz kovinskih hidridov se sedaj proizvajajo v velikem obsegu. Elektrolit je bazičen, običajno kalijev lug (KOH).

Samopraznjenje je 5 do 10 % prvi dan in se kasneje ustali pri 0,5 do 1 % dnevno. To ni problematično v kratkih obdobjih, so pa zato NiMH akumulatorji neuporabni za ure, krmiljenje, varnostne naprave, kjer pričakujemo, da bodo akumulatorji normalno obratovali mesece ali leta.

4.3.4 Litij ionski akumulator (Li-ion) [28]

| | | |
|-------------------------|---|---------------------|
| Specifična energija | 100 do 265 Wh/kg | 0,36 do 0,875 MJ/kg |
| Energijska gostota | 250 do 693 Wh/l | 0,90 do 2,43 MJ/l |
| Specifična moč | 250 do 340 W/kg | |
| Izkoristek | 80 do 90 % | |
| Samopraznjenje na mesec | 8 % pri 21 °C, 15 % pri 40 °C, 31 % pri 60 °C | |
| Življenjska doba | 400 do 1200 ciklov | |
| Nazivna napetost | LiCoO ₂ | 3,6 V |
| | LiNiMnCoO | 3,6/3,85 V |
| | LiFePO ₄ | 3,2 V |
| | Li ₂ FePO ₄ F | 3,6 V |

Litij ionski akumulator je nadrejeni pojem za akumulatorje. Reakcijske snovi na negativni kot tudi pozitivni elektrodi in v elektrolitu so litijevi ioni.

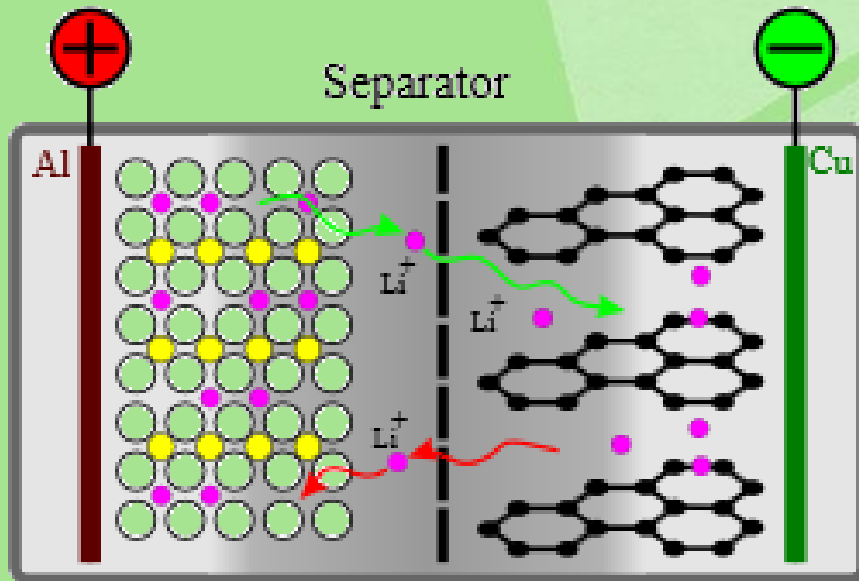
V primerjavi z drugimi akumulatorji imajo veliko specifično energijo, zahtevajo pa v večini primerov uporabe elektronske zaščitne naprave pred globokim praznjenjem in prevelikim polnjenjem.

Glede na zgradbo oziroma snovi elektrod Li ionske akumulatorji nadalje delimo v: LI-poly, Li-CoO₂, Li-Ti, Li- zrak, Li-MN, Li-FePO₄, Li- kositrov akumulator. Napetost, temperaturna občutljivost, največji tok itd. so močno odvisni od sestave, tako ni možno splošno govoriti o lastnostih.

Osnovne prednosti Li-ion akumulatorjev: Li ima najbolj negativen standardni potencial, Li je tretji najlažji element, njegov ionski polmer je med najmanjšimi. Vse to omogoča gradnjo zelo malih in lahkih akumulatorjev.

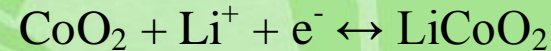
Prve raziskave reverzibilnega procesa so bile narejene leta 1970, 1980 prvi uporaben LiCoO₂ akumulator (John B. Goodenough, University of Oxford). Leta 1991 prvi komercialni Li-ion akumulator (Sony). Dva zaporedno vezana člena z napetostjo 7,2 V in zmogljivostjo 1200 mAh.

Od leta 1990 se zmogljivost Li-ion akumulatorjev večja za 7 do 8 % letno, kar pomeni podvojitev v desetih letih.

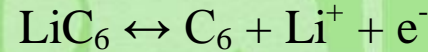


Shematska zgradba Li-ion celice
(pozitivna elektroda LiCoO₂, negativna Li-grafit)

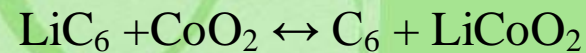
Pozitivna elektroda (katoda) z litijem dopiran kobaltov oksid



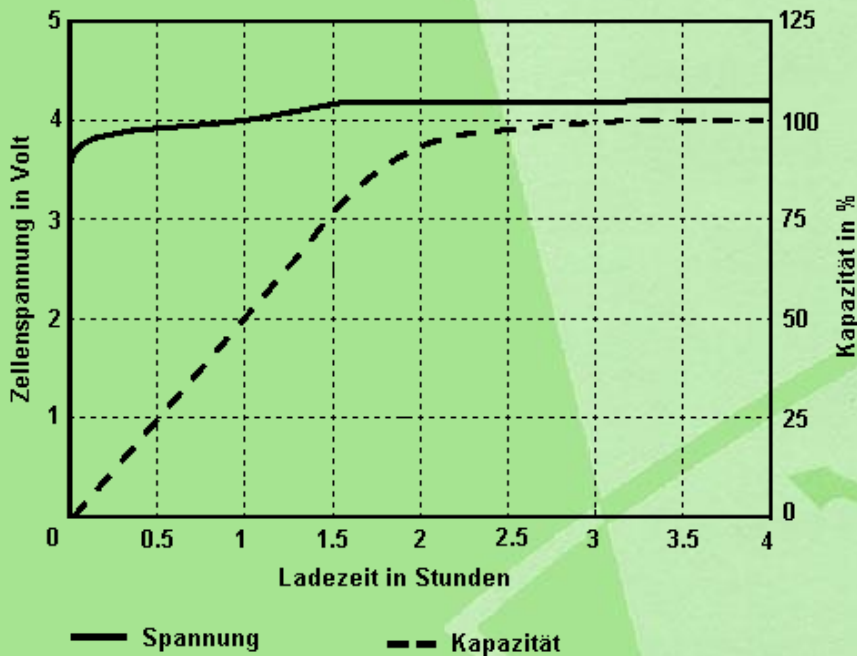
Negativna elektroda (anoda) grafit



Skupna reakcija (levo polnjenje, desno praznjenje)



Polnjenje

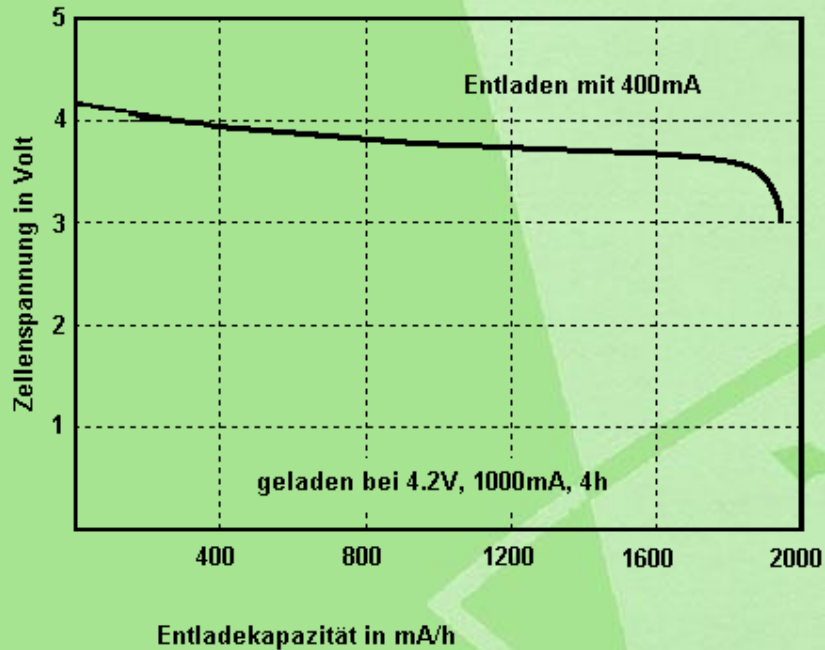


Končna napetost polnjenja znaša 4,0 do 4,2 V, pri nekaterih vrstah tudi 4,35 V, kar omogoča nekoliko večjo zmogljivost, vendar na račun zmanjšane števila ciklov. Li-ion akumulatorji nimajo spominskega efekta pa tudi formirati jih ni potrebno. Tako jih lahko polnimo vedno na enak način. Pri večini akumulatorjev, ki so na trgu, začnemo polniti s kakovostnim polnilnikom pri 2,5 V do 2,9 V iz varnostnih razlogov s konstantnim tokom $0,1 \times C$ ($C/10$). Nadaljujemo s stalnim tokom $C/3$ (prizanesljivo polnjeneje) do največ $C/1$ do končne napetosti polnjenja.

Akumulatorji za hitro polnjenje prenesejo, glede na vrsto, tudi polnjenje s tokom 2 C, 4 C ali celo 8 C. C predstavlja zmogljivost akumulatorja v Ah. Tako pomeni $0,5 C = C/2$ polnjenje v dveh urah, za akumulator z zmogljivostjo 1 Ah polnilni tok $I = C / N = 1 \text{ Ah} / 2 \text{ h} = 0,5 \text{ A}$.

Ko doseže akumulator končno napetost polnjenja 4,2 V, ostane napetost nespremenjena. Tok polnjenja se s časom znižuje. Ko doseže tok določeno vrednost, npr. $C/10$ ali celo samo 3 % začetnega toka, se polnjenje zaključi. Tudi končna napetost lahko prekorači predpisano vrednost samo malo (npr. 50 mV).

Praznjenje



Med praznjenjem pada napetost Li-ion akumulatorja na začetku zelo hitro iz končne napetosti polnjenja 4,2 V na nazivno napetost (3,6 do 3,7 V), v nadaljnjem obratovanju pa komaj še kaj. Šele malo pred popolnim izpraznjenem začne napetost močno padati. Končna napetost praznjenja znaša 2,5 V; ne sme biti prekoračena, sicer pride do neželenih kemičnih reakcij. Mnoge elektronske zaščitne naprave odklopijo že pri mnogo višjih napetostih (3,0 V).

Priporočljivo je Li-ion akumulator 'plitvo' prazniti, saj se tako močno poveča življenjska doba (število ciklov).

4.3.4.1 Tveganja in (ne)varnost litij ionskih akumulatorjev

(Integrirana) elektronika BMS (BaterieManagementSystem)



Li-ion akumulatorji so zelo občutljivi na napačno uporabo. Tako niso prišli na tržišče, čeprav so bili laboratorijsko zreli. Li-ion akumulatorji so danes uporabni v povezavi z BMS elektroniko. Pri manjših akumulatorjih je elektronika integrirana in jih ščiti pred preglobokim praznjenjem, prevelikim polnjenjem in pregretjem. Samodejna varovalka jih ščiti pred kratkim stikom. Procesno krmiljenje je prilagojeno vrsti akumulatorja.

Preveliko polnjenje

Pri prevelikem polnjenju se lahko nalaga kovinski litij na anodi, na katodi se izloča kisik. Kisik se sprošča skozi varnostne ventile ali pa reagira z elektrolitom anode. Na ta način se celica segreva in lahko pride do požara. Nekaterne vrste (npr. LiFePO_4) so termično stabilne.

Pregloboko praznjenje

Pri preglobokem praznjenju vgrajena elektronika izklopi akumulator, običajno začasno. Na zunanjih kontaktih ni napetosti, tako ga ni možno nadalje prazniti. Večina polnilnikov neče polniti, saj ne more meriti napetosti.

Pregloboko praznjenje vodi običajno do okvare in izgube zmogljivosti. Če pade napetost pod 1,5 V, je zelo velika verjetnost, da so se vzpostavile povezave, ki povzročijo kratek stik. Člen postane nestabilen in se močno pregreje. Nevarnost požara.

Polnilniki

Tudi če je akumulator opremljen z elektroniko, ga je treba polniti s prilagojenimi polnilniki. Polnilniki za hitro polnjenje niso primerni- sicer mora tako polnjenje potekati vedno pod nadzorom daleč od vnetljivih snovi.

Temperatura

V mrazu potekajo kemični procesi počasneje. Lahko se zgodi, da pri $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ uporabljeni elektroliti zmrznejo. Večin proizvajalcev navaja temperaturno območje 0 do $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, najugodnejše temperature so med 18 do $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri visokih temperaturah se elektrolit razgradi in obda elektrode z plastjo, ki močno poveča upornost celice. Celice se segrevajo tudi same pri praznjenju.

Če so Li-ionski členi pregreti ali preveč napolnjeni, lahko termično ubežijo. V skrajnem primeru lahko to privede do okvare, eksplozije in ognja. Večina akumulatorjev ima zato varnostni sistem, ki izključi akumulator, če je napetost izven varnega območja 3 – do $4,2\text{ V}$ oziroma, če je preveč izpraznjen ali preveč napolnjen. Že majhno zvišanje napetosti za nekaj mV, povzroči hitrejšo staranje akumulatorja, kar se kaže v tveganju varnosti zaradi reakcijskih snovi. Če akumulator dalj časa ni v uporabi, ga lahko majhen tok zaščitnih naprav izprazni pod napetost izklopa; običajne polnilne postaje nočejo polniti akumulatorja brez napetosti (merijo napolnjenost). Nesreča električnega vozila Chevrolet Volt je povzročila predelavo pogonskih akumulatorjev.

Mehanske obremenitve

Mehanske poškodbe lahko povzročijo notranje kratke stike. Veliki toki vodijo k pregrevanju akumulatorja. Ohišje iz plastike se lahko raztali in vname. Ni nujno, da takoj zaznamo mehansko poškodbo. Še dolgo po mehanski poškodbi lahko pride do kratkega stika. Zaradi zunanje poškodbe lahko v celico vdre zrak, še posebej nevarna je vlaga, ki izzove kemične reakcije.

Kemijske reakcije

Gorečih akumulatorjev zato naj ne bi gasili z vodo ampak na primer s peskom. V večini primerov pa je možno posledične požare pogasiti in pustiti akumulator kontrolirano zgoreti. Raztopina elektrolita je običajno gorljiva. Daleč od akumulatorja jo lahko gasimo z vodo. Nova spoznanja pri uporabi Li-ion akumulatorjev kažejo, da je za termični pobeg dovolj kisika v samem členu, da pa je z mnogo vode možno ohladiti sosednje člene. Velika količina vode tudi razredči nevarne snovi, ki se sprostijo. Manjšo nevarnost pri požaru v primerjavi z vozili na notranje zgorevanje je dejstvo, da ne izteče gorivo, ki bi lahko vnelo še okolico.

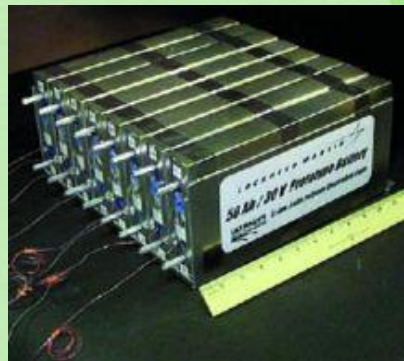
Termična obremenitev

Pri preveliki temperaturi lahko pri nekaterih litijevih akumulatorjih pride do taljenja separatorja in s tem do notranjega kratkega stika s trenutnim sproščanjem energije (pregretje, vžig). Nadaljnja nevarnost so eksotermne razgradne reakcije kemikalij, predvsem pri prekomernem polnjenju. Za varnost skrbijo tudi ukrepi v samem členu: porozni separator pri visoki temperaturi postane nepropusten; električni kontakt je navzven izveden kot taljiva varovalka. V samih členih so tudi elektronske zaščitne naprave (BMS) s temperaturnimi senzorji, elektroniko za polnjenje, nadzorom stanja akumulatorja ter z zunanjimi priključki za komuniciranje (pametni akumulatorji).

4.3.4.2 Litij ion polimerni akumulator (Li-poly)



Li-ion akumulator za mobilne telefone



Poskusni akumulator (NASA)



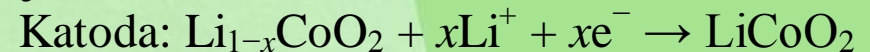
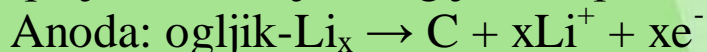
3-Cell LiPo za radijsko vodenje

| | | | |
|---------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| Specifična energija | 130 – 200 Wh/kg | Samopraznjenje | 5 % na mesec |
| Gostota energije | 300 Wh/l | Trajnost shranjevanja | 24 – 36 mesecev |
| Specifična moč | 7,1 kW/kg | Življenjska doba | > 1000 praz. in polnjenj |
| Izkoristek | 99,8 % | Napetost | 3,7 V |

Običajno so Li-poly akumulatorji sestavljeni iz več enakih sekundarnih členov za povečanje tokovne zmogljivosti pri praznjenju. Razvili so jih iz Li – ionskih akumulatorjev. Osnovna razlika je v tem, da litijev elektrolit (sol) ni v organski raztopini temveč v trdnem polimeru, npr. polietilen oksidu ali poliakril nitrilu. Prednosti pred Li-ionskim akumulatorjem so nižji stroški proizvodnje, možnost sestavljanja zelo različnih oblik in trdnost.

Napetost Li-poly celic je od 2,7 V (prazna) do 4,23 V (polna). Treba jih je zaščititi pred prevelikim polnjenjem (največ 4,235 V), sicer lahko pride do eksplozije in ognja. Praznjenje je treba prekiniti pri 3,0 V, sicer se zmogljivost zmanjša (poruši struktura).

Na katodi člena je LiCoO_2 ali LiMn_2O_4 , kot separator služi prevodni polimerski elektrolit, na anodi pa je zmes litija in ogljika. Tipična reakcija je:



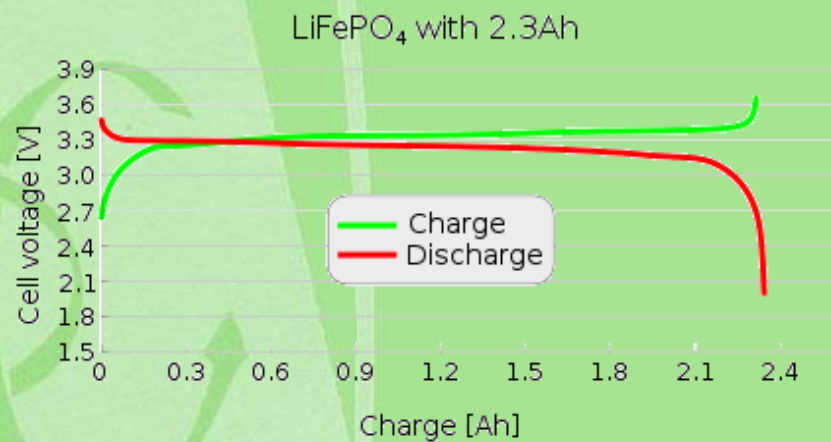
Polimerni elektrolit – separator je trden polimer (npr. polietilenoksid) z LiPF_6 ali kakšno drugo prevodno soljo in SiO_2 ali kakšna druga polnila za boljše mehanske lastnosti.

4.3.4.3 Litij-manganov akumulator

Pri Li-Mn akumulatorju je aktivna snov Litij manganov oksid. Anoda je iz grafita (visoko energijski členi) ali iz amorfne strukture (amorphus carbon) v členih velike moči. Velika anodna površina omogoča večje toke. Uporabljajo jih za kolesa, hibridne avtomobile in električne avtomobile (Nissan Leaf).

4.3.4.4 Litij-železov fosfat akumulator [29]

| | |
|---------------------|----------------|
| Specifična energija | 90 – 120 Wh/kg |
| Gostota energije | 220 Wh/l |
| Specifična moč | 200 W/kg |
| Izkoristek | 99,8 % |
| Samopraznjenje | 5 % na mesec |
| Življenjska doba | > 2000 ciklov |
| Napetost | 3,0 do 3,3 V |



LiFePO₄-akumulator je vrsta Li-ionskega akumulatorja, pri katerem je LiCoO₂ katoda zamenjana z litij železovim fosfatom. Odlikuje se z velikimi polnilnimi in praznilnimi toki, zelo dobro temperaturno stabilnostjo in dolgo življenjsko dobo (pri plitvem praznjenju včasih kot 8000 polnjenj in praznjenj).

4.3.4.5 Litij-titanat-akumulator [30]

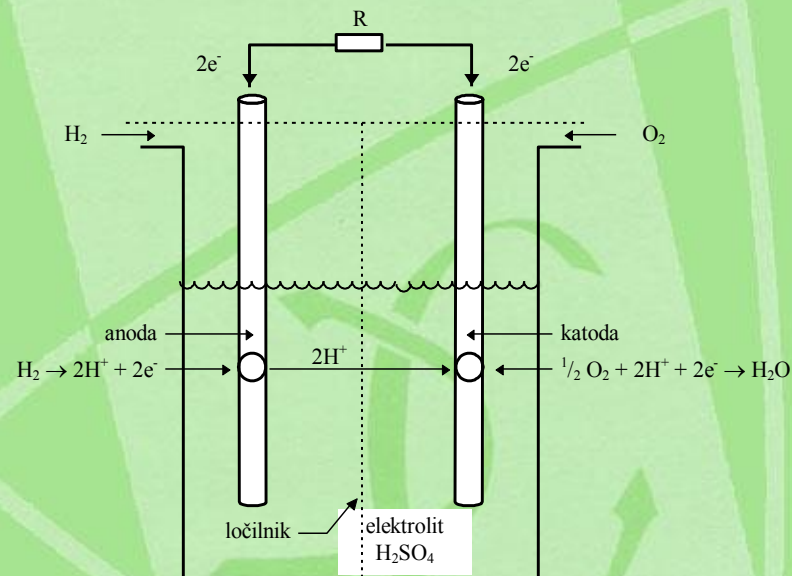
| | |
|---------------------|----------------|
| Specifična energija | 30 – 110 Wh/kg |
| Gostota energije | Wh/l |
| Specifična moč | W/kg |
| Izkoristek | % |
| Samopraznjenje | % na mesec |
| Življenjska doba | > 2000 ciklov |
| Napetost | 2,4 do 2,8 V |



Negativna grafitna elektroda je zamenjana s sintrano elektrodo iz litij titanovega oksida ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$). Mnogo močnejša vezava litija v titanat preprečuje nastanek izolacijske plasti na sintrani elektrodi, kar je bil pogost vzrok za hitro staranje Li-ionskih akumulatorjev. S tem je povečano število polnjenj in praznjenj. Ker titanat ne more več reagirati s kisikom (oksidi) iz katode, je termični pobeg akumulatorja preprečen, tudi pri poškodbah. V nasprotju z običajnimi Li-ionskimi akumulatorji zaradi litij-titanatne anode obratuje v temperaturnem obsegu od $-40\text{ }^\circ\text{C}$ do $+55\text{ }^\circ\text{C}$.

4.4 Gorivne celice

Pri uporabi gorivnih celic je energija shranjena v utekočinjenem vodiku ali nizko molekularnem alkohol (metanol, etanol). Gorivne celice je možno kupiti na trgu. Avtomobili z gorivnimi celicami pa so trenutno samo prototipi.



Dolivanje goriva je podobno kot pri bencinskih motorjih. Sklop gorivna celica – posoda za gorivo ima boljšo energijsko gostoto kot akumulatorji. Gorivo za gorivne celice je potrebno proizvesti, transportirati in razdeljevati z novo mrežo črpalk. Gorivo je možno pridobiti iz fosilnih virov, iz biomase in s pomočjo električne energije (elektroliza).

Pri primerjavi izkoristka ob upoštevanju električne energije kot primarne energije se izkaže, da je gorivna celica slabša od akumulatorja. Izkoristek elektrolize je okoli 70 %, gorivne celice pri normalnem obratovanju ne presežejo 40 %, kar da brez upoštevanja izgub vodika 28 %.

Pri Fordu so leta 2009 ustavili raziskave z gorivnimi celicami; stavijo na razvoj akumulatorjev in električni motor.

5 ELEKTROMOBILNOST

Elektromobilnost je besedno leporečje, namenjeno uporabi električnih avtomobilov za prevoz oseb in promet blaga kakor tudi za pripravo infrastrukture za polnjenje električnih avtomobilov. Je močno zamreženo povezana industrijska veja, osredotočena zadostitvi potreb mobilnosti ob upoštevanju varovanja okolja. Beseda je tudi skupni imenovalec za posebnosti (npr. omejitve), ki jih imajo električni avtomobili.



Po vsem svetu je nekaj krajev, kjer je vožnja z avtomobili na motorje z notranjim zgorevanjem prepovedana. To so na primer različni kraji v Švici (Wengen od leta 1923, Zermatt 1931)). Dovoljeni so samo električni avtomobili. Vozi mnogo malih, ozkih avtomobilov za obrtnike, dostavni avtomobili, taksiji in hotelski prevozi.

5.1 Stebrički in infrastruktura



Prometni znak: opozorilo na stebriček (Reykjavík)



Stebriček v Reykjavíku



Prvi stebriček v Sloveniji (grad Kodeljevo)



Stebriček v Freiburgu v Breisgau

Večina električnih avtomobilov se lahko za polnjenje akumulatorjev priključi na katerokoli električno vtičnico. Mreža javno dostopnih napajalnih postaj za električne avtomobile je zelo redka, časi polnjenja akumulatorjev pa so dolgi. Potovanja na večje razdalje zahtevajo zelo skrbno načrtovanje poti in časa. Že nekaj let obstaja sistem Park & Charge javnih stebričkov za električne avtomobile, ki je najprej nastal v Švici. Stebrički so dostopni s ključem, ki je po vsej Evropi enak. Imajo priključno moč glede na izvedbo 3,5 ali 5 kW. (leto 2010)



Napajalni stebriček Piran - Fornače



Napajalni stebrček Piran - Fornače

5.2 Tehnika polnilnih postaj [31, 32]

Po *zasnovi* lahko miselno razdelimo polnilne postaje v štiri skupine, nadalje so v IEC 61851 določeni štiri načini polnjenja:

1. V (zasebnih) stanovanjskih hišah: Lastnik električnega vozila ga priključi, ko se vrne domov in ga polni preko noči. Domača polnilna postaja običajno ni uradno overjena, nima merilne naprave, lahko ima namensko napeljavo. Prenosne polnilne naprave so lahko nameščene na zid. Priklop je enofazen s trajno močjo 3,6 kW. Polnilnik je vgrajen v vozilo. V nekaterih vozilih vgrajeni polnilniki ne omogočajo trifaznega polnjenja.



IEC 61851 **Način 1**: polnjenje z izmeničnim (AC) tokom po eno- ali trifaznih vtičnicah, podobnih hišnim vtičnicam, najvišji tok (3x) 16 A, maksimalna moč polnjenja 3,7 kW (11 kW pri trifaznem napajanju) – npr. **zaščitna vtičnica, industrijska vtičnica**.

2. Parkiraj in polni (tudi javne polnilne postaje). Trgovska (reklamna) ponudba za plačilo ali brezplačno v povezavi z lastnikom parkirišča. Polnilne postaje so lahko počasne ali hitre in omogočajo lastnikom električnih vozil, da napolnijo svoja vozila med zadrževanjem v bližini. Lahko so velika ali mala parkirišča in parkirišča za zaposlene. Za hitro polnjenje je vozilo priključeno na trifazno 0,4 kV omrežje z ICCB-kablom. Kabel za polnilno postajo je v vozilu in na obeh kocih opremljen z vtičnico tipa 2, lahko pa je tudi pritrjen na polnilno postajo. V vozilu je polnilnik, ki usmerja trifazni izmenični tok in krmili polnjenje v povezavi z v akumulator vgrajeno elektroniko (BMS). S kablom je vozilu posredovana možna obremenitev kabla in polnilne postaje.



IEC 61851 **Način 2:** polnjenje z izmeničnim (AC) tokom po eno- ali trifaznih vtičnicah, podobnih hišnim vtičnicam, najvišji tok (3x) 32 A, maksimalna moč polnjenja 7,4 kW (22 kW pri trifaznem napajanju). Upornost kabla je elektroniki v vozilu informacija o moči polnilne postaje. – npr. **industrijska vtičnica.**

IEC 61851 **Način 3:** polnjenje z izmeničnim (AC) tokom po posebnih eno- ali trifaznih vtičnicah, najvišji tok običajno 32 A (dovoljene so tudi višje vrednosti), polnilna postaja in električno vozilo sta povezana s krmilnim vodom, ki omogoča krmiljenje moči polnjenja, maksimalna moč polnjenja 7,4 kW (22 kW pri trifaznem napajanju) – npr. **tip 1, tip 2, tip 3.**

3. Javne polnilne postaje za hitro polnjenje (10 do 30 minut) z močjo, večjo od 40 kW, razporejene v razdaljah do 100 km. To so postaje za počitek med daljšimi potovanji. Lahko jih redno uporabljajo dnevni vozači v mestih za polnjenje med krajšim ali daljšim parkiranjem. Common examples are [CHAdEMO](#), [SAE Combined Charging System](#), in [Tesla Superchargers](#). Pri enosmernem polnjenju teče enosmerni tok iz polnilne postaje v električno vozilo. Vir enosmernega toka so močni usmerniki v polnilni postaji ali veliki akumulatorji v postajah s sončnimi celicami. V vozilu je samo elektronika (BMS), ki se pogovarja s polnilno postajo, da prilagaja jakost toka in odklopi, ko je akumulator poln. Takšne polnilne postaje so drage, saj se morajo prilagoditi različnim akumulatorjem. Enosmerni priključki, ki neposredno povezujejo polnilno postajo z akumulatorjem, imajo majhne izgube, prenašajo velike toke in omogočajo kratke čase polnjenja.



IEC 61851 **Način 4**: polnjenje z enosmernim (DC) tokom preko posebnih vtičnic, najvišji tok 400 A, napetost do 250 V, tipična moč polnjenja med 20 kW in 150 kW. Polnilna postaja in električno vozilo sta povezana s krmilnim vodom, ki omogoča krmiljenje moči polnjenja – npr. **CHAdEMO, CCS, Tesla supercharger**.

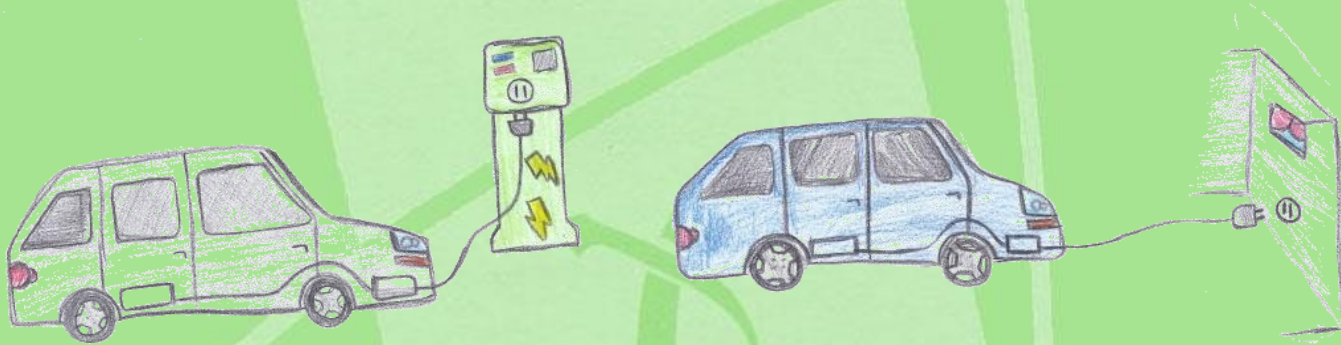
4. Zamenjava akumulatorjev ali polnjenje krajše od 15 minut. Ta tehnika sedaj še ni na voljo električnim vozilom (BEV), pač pa takim z menjavo akumulatorjev in hibridnim električnim vozilom.



5.2.1 Povezava med vozilom in polnilno postajo

V standardu IEC 61851 so opisani trije načini povezave:

- A: Kabel je togo povezan z vozilom.



- B: Kabel ima obojestransko vtikača.



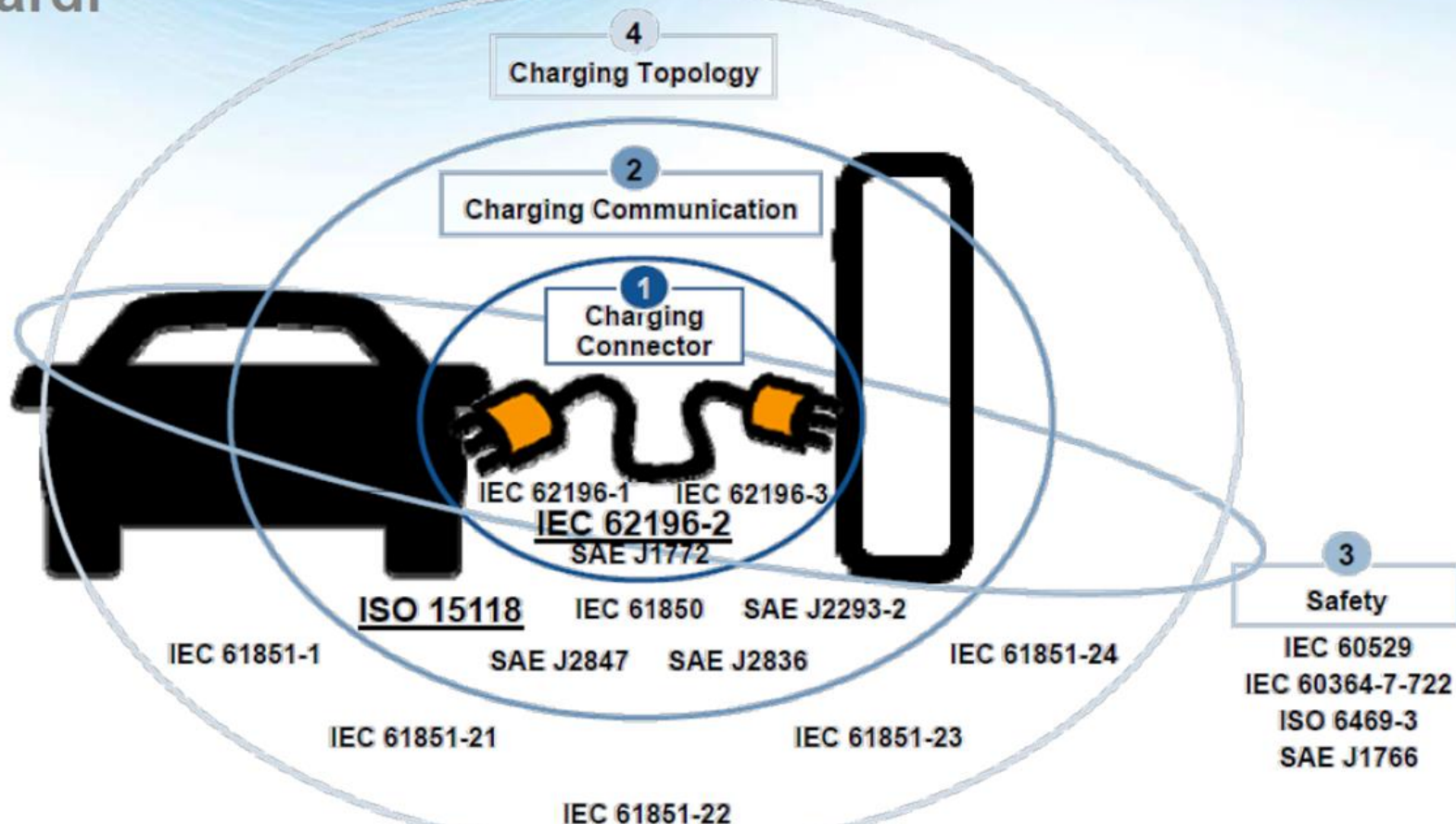
- C: Kabel je togo povezan s polnilno postajo.



5.2.2 Vrste vtičnic

Ob renesansi električnih vozil se je pojavila poplava raznovrstnih vtičnic, počasi pa je vendarle prišlo do standardizacije

Standardi



[34]

in danes ima večina električnih vozil naslednje vtičnice oziroma vtikače [32]:

Tip 1



Severnoameriški proizvajalci so dosegli soglasje za vtikač SAE J1772-2009, ki je bil kasneje v Standardu IEC 62196-2 poimenovan kot Tip 1. Je okrogel pet-polni vtikač s premerom 43 mm, namenjen za enofazne priklope na izmenično omrežje. Dva kontakta sta namenjena za enofazni priklop, eden je ozemljitev, dva za signale in se ujemata z dogovorom iz leta 2001.

Tip 2



V članicah EU so šele leta 2013 opredelili univerzalni sistem vtičnic in vtikačev s standardom EN 62196 Tip 2 (poznani tudi kot Mennekerjev vtikač) za moči do 1,9 kW in 240 V. Vtikač omogoča na CP-pinu dvosmerno komunikacijo med vozilom in polnilno postajo. Če je na črpalki več polnilnih postaj, lahko centralno upravljanje polnjenja razporedi polnjenje med vozili tako, da skupna priključna moč postaj ni prekoračena.

Combo 2



Če služi Tip 2 samo za napajanje z izmeničnim tokom, so vtikač Tip 2 razširili v Combo 2 z dvema dodatnima kontaktoma, ki omogočata tudi polnjenje z enosmernim tokom. Uporabljajo ga predvsem v Evropi.

CCS Združen način polnjenja

| AC & DC Ladesteckvorrichtungen Typ 2 | | |
|--------------------------------------|---|---|
| | AC ein - bis dreiphasig | max. 500V AC 3 x 63A oder 1 x 80A |
| | AC ein - bis dreiphasig DC-Low | max. 500V AC/DC 3 x 63A AC oder 1 x 70A AC oder 1 x 80A DC |
| | DC-Mid | max. 500V DC 1 x 140 A |
| | DC-High | ≥ 500V DC 1 x 200A |

CCS je standardiziran za evropske avtomobile za uporabo vtikača Tip-2 in vtikača Combo-2. Izmenično polnjenje uporablja do sedem kontaktov.

Sposobnost enofaznega, trifaznega in enosmernega polnjenja ima do sedaj samo evropski Tesla model S. Večina drugih vozil uporablja ta vtikač za enofazno, dvofazno ali trifazno polnjenje z izmeničnim tokom.

PE potencial zemlje

CP (Control Pilot) dialog med polnilno postajo in vozilom z analognim signalom

PP (Proximity Pilot) za omejevanje toka s pomočjo uporovnega kodiranja

DC+ enosmerno polnjenje (+kontakt)

DC- enosmerno polnjenje (-kontakt)

Za standard IEC 62196 predlagane obratovalne različice; sprejeti sta bili samo prva in zadnja.

CHAdemo trgovsko ime na Japonskem razvite vtičnice za enosmerno polnjenje.



CHAdemo protokol se poveže z BMS protokolom vozila, ki prevzame krmiljenje. Javi:

- Stopnjo napolnjenosti akumulatorja,
- Višino napetosti in največji tok,
- Napetost, temperaturo in druge parametre.

Polnilna postaja skrbi, da parametri polnjenja ustrezajo javljenim vrednostim. Na ta način avto krmili polnjenj, kar zagotavlja k čim hitrejše polnjenje in istočasno k akumulatorju prijaznemu polnjenju.

Tesla supercharger



Tesla uporablja vtikač Tip-2 za polnjenje svojih evropskih vozil. Povezava omogoča tako enofazno kot trifazno polnjenje na običajnih Tip-2 polnilnih postajah pa tudi polnjenje z močjo do 135 kW s posebnim polnilnim enosmernim postopkom za avtomobile Tesla na tako imenovanih Tesla superchargerjih. Na teh postajah so kabli in vtikači togo pritrjeni na stebričke.

| Izvor toka | Napetost/tok/moč | | Tehnika polnjenja |
|---|--|----|---|
| Gospodinjska vtičnica Vtikač z zaščitnim kontaktom | Enofazna 230 V/10 A/2,3 kW | AC | ICCB- kabel z ustreznim vtikačem ali neposredni priklop; vtikač z zaščitnim kontaktom je primeren samo za kratkotrajno obremenitev s 16 A |
| Vtičnica Camping (modra) | Enofazna 230 V/16 A/3,6 kW | AC | ICCB-kabel z usklajenim vtikačem na vozilu in ustreznim polnilnikom v vozilu |
| Vtičnica CEE 16 A | Trifazna 400 V/16 A/11 kW | AC | (prenosna) stenska polnilna postaja ali ICCB-kabel z usklajenim vtikačem na vozilu in ustreznim polnilnikom v vozilu |
| Vtičnica CEE 32 A | Trifazna 400 V/32 A/22 kW | AC | (prenosna) stenska polnilna postaja ali ICCB-kabel z ujemačim vtikačem na vozilu in ustreznim polnilnikom v vozilu |
| Vtičnica CEE 63 A | Trifazna 400 V/63 A/43 kW | AC | (prenosna) stenska polnilna postaja ali ICCB-kabel z ujemačim vtikačem na vozilu in ustreznim polnilnikom v vozilu |
| Polnilna postaja Tip-1 | Odvisno od postaje/značilno 240 V/16 A/3,8 kW 240 V/24 A/5,8 kW 240 V/30 A/7,2 kW | AC | Na vozilu vtikač Tip-1 in polnilnik v vozilu ustrezne moči |
| Polnilna postaja Tip-2 | Odvisno od postaje/značilno 3,6/11/22/43 kW | AC | Vtikač Tip-2 ali Combo-2 na vozilu polnilnik ustrezne moči |
| Polnilna postaja CCS Combo-1 | | DC | Standard za Severno Ameriko |
| Polnilna postaja Combo-2 | Odvisno od postaje/značilno 50 kW | DC | Vtikač CCS Combo-2 na vozilu |
| Polnilna postaja CHAdeMo | Odvisno od postaje/značilno 22/50 kW | DC | Vtikač CHAdeMo na vozilu |
| Polnilna postaja Tesla Supercharger | Odvisno od kraja/značilno 135 kW | DC | Vozilo znamke Tesla |

Zamenjava akumulatorjev



V postajah za zamenjavo akumulatorjev prazne akumulatorje zamenjajo za napolnjene. To je zelo pogosto v industrijskih obratih (za viličarje). Čas polnjenja je nepomemben.

Za 60 električnih avtobusov so v Pekingu v času olimpijskih iger imeli takšno postajo s priključno močjo nekaj 100 kW.

Indukcijsko polnjenje



Električno energijo je možno prenašati tudi z indukcijo. Prednost: ni zgorelih kontaktov na vtičalih in ni nevarnosti dotika. Prenos deluje na osnovi transformatorja: Primarno navitje je v tleh, sekundarno v vozilu, kjer je izmenični tok usmerjen in polni akumulator. Način je že dolgo znan in uporabljan pri mnogih gospodinjskih aparatih. Dober magnetni sklop zagotavlja majhna razdalja med obema tuljavama. Ta tehnika je v fazi preizkušanja. Dobre rezultate so dosegli tudi pri hitrostih 30 km/h.

5.3 Gradnja domačih polnilnih postaj



BMW-Wandladestation für den Stellplatz
oder Garage



Tri in pet polna CEE vtičnica



CE znak je samocertificiran znak, ni potrjen
od neodvisne certifikacijske ustanove

Akumulatorji zasebnih avtomobilov so večinoma polnjeni doma in tu in tam na javnih polnilnih postajah. Domače polnjenje pomeni po ocenah 90 % vseh polnjenj.

Mala električna vozila kot so električna kolesa, mali avtomobili imajo majhne akumulatorje in jih je možno polniti z enostavnimi napravami (vtičnica z zaščitnimi kontakti: 230 V, 16 A).

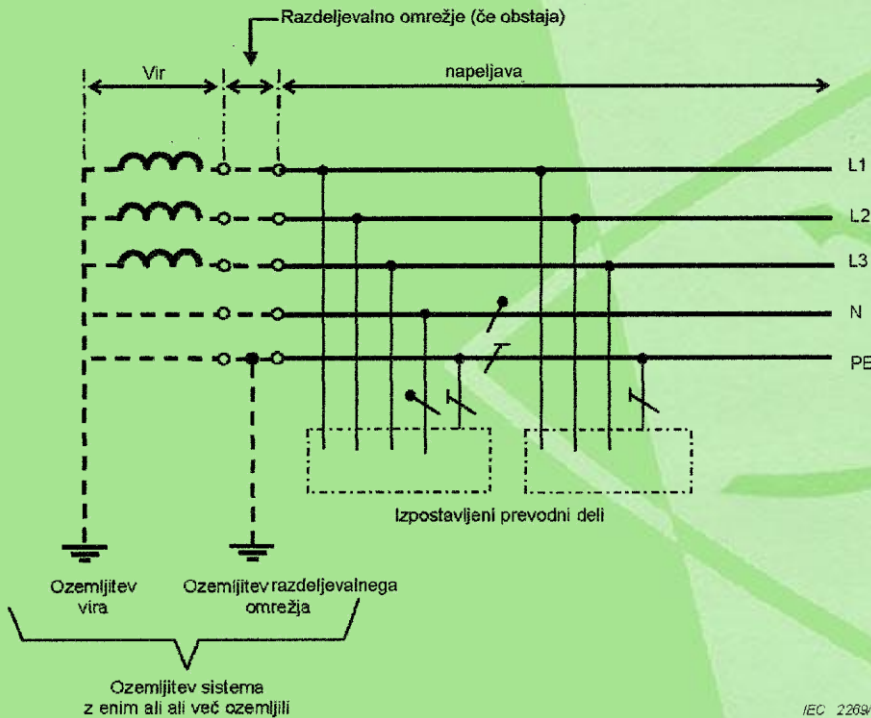
Za električno cestno vozilo z večjo zmogljivostjo akumulatorja so potrebni posebni priklopi. Industrijske vtičnice (CEE) so mehansko bolj odporne in so zaščitene tudi pred vdorom vode.

Za večje moči so na trgu stenske polnilne postaje, uradno EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment), ki omogočajo enostavno polnjenje. V vsakem primeru je treba upoštevati navodila proizvajalca električnega vozila in upravljalca razdeljevalnega omrežja. Znak CE na polnilni postaji ne pomeni, da je napravo certificirala neodvisna ustanova!

Za vsako vozilo je treba vgraditi lastno varovalko in lastno tokovno zaščitno stikalo (FI, RCD). Pri izbiri tokovnega zaščitnega stikala moramo biti pozorni na prisotnost enosmerne komponente v toku (FI vrste B).

5.4 Gradnja javnih polnilnih postaj

Glede na moč in število stebričkov na polnilni postaji je potrebno določiti konično moč ter izvesti neposreden NN priključek v najbližjo transformatorsko postajo. Ob polnilni postaji je potrebno vgraditi novo prostostoječo priključno-merilno omaro v kateri je merilno mesto porabljene električne energije. Dovod je treba zaščititi s primernimi varovalkami in s prenapetostnimi odvodniki.



TN sistem omrežja

IEC 2269/0.

Za uspešno delovanje zaščite s samodejnim odklopom napajanja morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji in zahteve (SIST HD 60364-4-41 - Niskonapetostne električne inštalacije - 4-41. del: Zaščitni ukrepi - Zaščita pred električnim udarom):

- Na zaščitni vodnik so povezani vsi izpostavljeni prevodni deli porabnikov, ki so priključeni na napetost višjo od 50V.
- Vsi hkrati dostopni prevodni deli porabnikov so vezani na isto ozemljitev.
- Nevtralni in zaščitni vodniki so po svoji celi dolžini enakovredno izolirani in enako skrbno položeni kot fazni vodniki.
- Nevtralni in zaščitni vodniki ne smejo biti zaščiteni z varovalkami.
- Posebni zaščitni vodnik je rumeno-zelene barve in je eden izmed vodnikov več žilnega kabla.

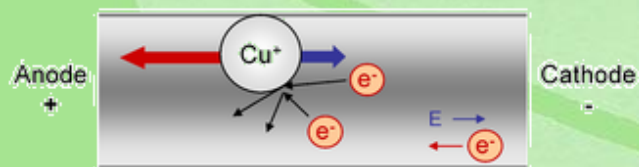
5.5 Tveganja in (ne)varnost električnih polnilnih postaj in vozil [19]

Kakšne varnostne ukrepe je treba izvesti pri danes običajnih 300 do 600 V enosmernih napeljavah (v bodočnosti celo 1000 V) v bližini električnih vozil? Okvare izolacije v samem vozilu ali polnilni postaji je treba prepoznati in obvladati.

Usklajevanje (koordinacija izolacije) izolacije

Medsebojno usklajevanje med napetostnim naprežanjem električne izolacije in zmogljivostjo električne izolacije je pomembna naloga za preprečevanje okvar izolacije med obratovanjem neke naprave.

Nestrokovna uskladitev izolacije vodi k napetostnim prebojem ali elektromigraciji in s tem povezanimi toki okvar. Z vzdrževanjem ustreznih razdalj v zraku in plazečih razdalj po izolaciji kakor tudi oceni kraja namestitve je narejenega mnogo pri varovanju pred električnim udarom. Možne okvare izolacije in toki okvar so tako zmanjšani na najmanjšo možno vrednost. Nadalje je treba posvečati pozornost najmanjši možni odvodni kapacitivnosti. Ta dodatno povišuje jalov tok v izmenični napeljavi in skriva z nakopičeno energijo veliko nevarnost pri izključenih enosmernih napeljavah.



Elektromigracija je posledica trkov gibljivih elektronov v ione v kristalni mreži

Nadzor izolacijske upornosti

V neozemljenih omrežjih se pojavi v primeru prve okvare samo zelo majhen tok okvare proti zemlji, saj tokokrog zaradi manjkajoče povezave z ozemljitvijo ni sklenjen. V tem primeru je izolacija nadzorovana z napravo za nadzor izolacije, ki prepozna okvaro.

Možna druga okvara na nekem drugem vodniku lahko sklene tokokrog (še le takrat steče tok okvare), zato je potrebno prvo okvaro kar se da hitro prepoznati in javiti. Ob prvi okvari v IT napeljavi ni nevarnosti, tako tudi postroj praviloma ni izklopljen.

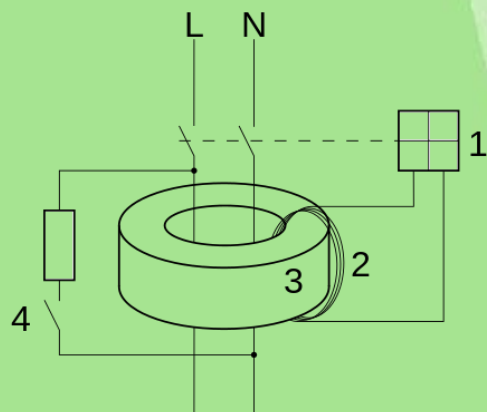
V visokonapetostni napeljavi električnega vozila je IMD (naprava za nadzor izolacije) običajno nameščena v krmilniku (mikrokontroler). En sam IMD nadzira vso galvansko povezano visokonapetostno napeljavo vozila.

Naslednji IMD je vgrajen v enosmernem stebričku, redko v izmeničnem. Med polnjenjem je treba na vozilu galvansko priključeni IMD izključiti. Dve aktivni IMD napravi v eni napeljavi lahko povzročita motnje (okvare).



Naprava za nadzor izolacije meri izolacijsko impedanco med vodniki pod napetostjo (0 do 800 V DC in ozemljitvijo (maso vozila)

Meritev uhajavega toka



- 1–Elektromagnet z elektroniko
- 2–Sekundarno navije tokvnega transformatorja
- 3–Jedro transformatorja
- 4–Preskusno stikalo
- L–Fazni vodnik
- N–Nevtralni vodnik

RCD, FI meri tokovno ravnovesje med dvema vodnikoma s pomočjo diferencialnega tokovnega transformatorja. Ta meri razliko med tokom v faznem vodniku in tokom, ki se vrača skozi nevtralni vodnik. Če razlika ni nič, neke obstoja uhajavi tok (proti zemlji/ozemljitvi ali drugemu tokokrogu); naprava bo razklenila kontakte.

Pri izmeničnem polnjenju (načini polnjenja 1 do 3) je za odkrivanje okvare izvedena meritev uhajavega toka. Praviloma je za to v stebriček nameščeno tokovno zaščitno stikalo (FI, RCD) vrste A. Enosmerni tok lahko premakne izklopno krivuljo tudi popolnoma. Izklop v takem primeru ni zagotovljen.

Eden izmed ukrepov je galvanska ločitev polnilnika v vozilu.

Druga možnost je uporaba tokovnega zaščitnega stikala vrste B (občutljiv na vse toke; preglednica). Pozorni moramo biti, da ni priključeno še kakšno stikalo vrste A, saj lahko teče 30 mA enosmerni tok brez reakcije stikala vrste B, stikalo vrste A pa ne reagira. Če nismo pozorni na takšne možnosti, lahko imajo okvare v vozilu povratni vpliv na zaščito celotne napeljave v hiši.

| B | A | AC | Schaltung | Laststrom | Fehlerstrom | |
|---|---|----|-----------|-----------|-------------|--|
| | | | 1 | | | |
| | | | 2 | | | |
| | | | 3 | | | |
| | | | 4 | | | |
| | | | 5 | | | |
| | | | 6 | | | |
| | | | 7 | | | |
| | | | 8 | | | |
| | | | 9 | | | |
| | | | 10 | | | |

V grobem obstajajo tri vrste tokovno zaščitnih stikal RCD, ki lahko zaznajo toke okvar glede na obliko

1- Tip AC zazna samo čiste sinusne okvarne toke. Pri tokih, ki imajo superponirano enosmerno komponento, ne pride do sprožitve zaradi nasičenja tokovnika.

2- Tip A so običajna tokovno zaščitna stikala RCD. Zaznajo tako čisto sinusne toke kakor tudi pulzirajoče enosmerne toke. Dodatna občutljivost je dosežena s posebnimi magnetnimi materiali in resonančnim vezjem.

3- Tip F je občutljiva na mešane frekvence. Zajame vse toke kot tip A, dodatno pa še vse frekvence do 1 kHz. Tako obvlado tudi možne oblike okvarnega toka na izhodu iz frekvenčnih pretvornikov (npr. pralni stroji, črpalke). Tudi enosmerni toki do 10 mA ne vplivajo na delovanje.

4- Tip B so tokovna zaščitna stikala RCD, ki zaznajo razen izmeničnih tokov tudi čiste enosmerne toke. Imajo še dodaten tokovnik in elektronsko napravo. Nadzor nad enosmernimi toki zahteva dodatno napajanje, ki je neodvisno od omrežja. Izmenični del stikala deluje neodvisno od dodatnega napajanja kakor tip A.

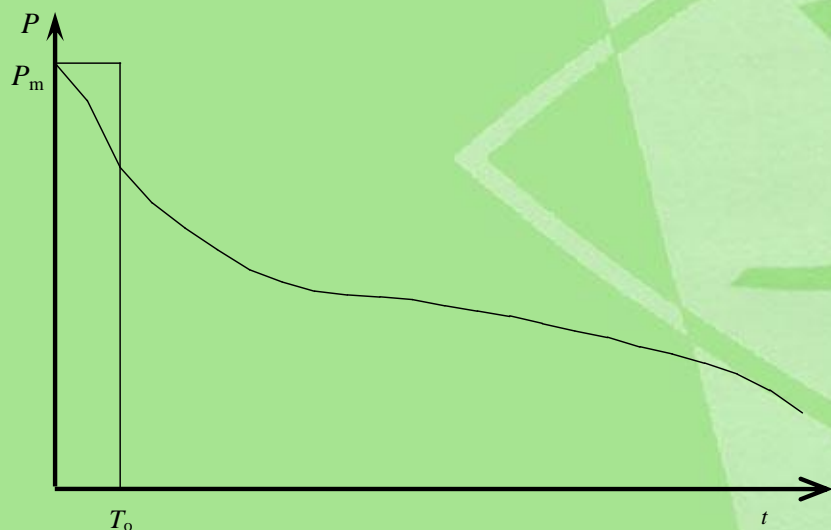
Uporaba tipa B je bistvena pri mostiščnih usmernikih in frekvenčnih pretvornikih.

6 SKLEPNE UGOTOVITVE

Število električnih avtomobilov v Evropi in Sloveniji vztrajno raste. To seveda posledično terja razvoj in gradnjo celotne napajalne infrastrukture, od razdeljevalnega omrežja do postavitve napajalnih postaj.

Letna rast registriranih električnih avtomobilov je zadnjih nekaj let 50 %, kar pa je v skupnih prodajnih številkah zanemarljivo (pod enim odstotkom)

Po oceni je trenutno v Sloveniji 250 javnih polnilnih postaj in tri Tesline supercharger postaje. V povprečju sta na vsaki postaji dva priključka.

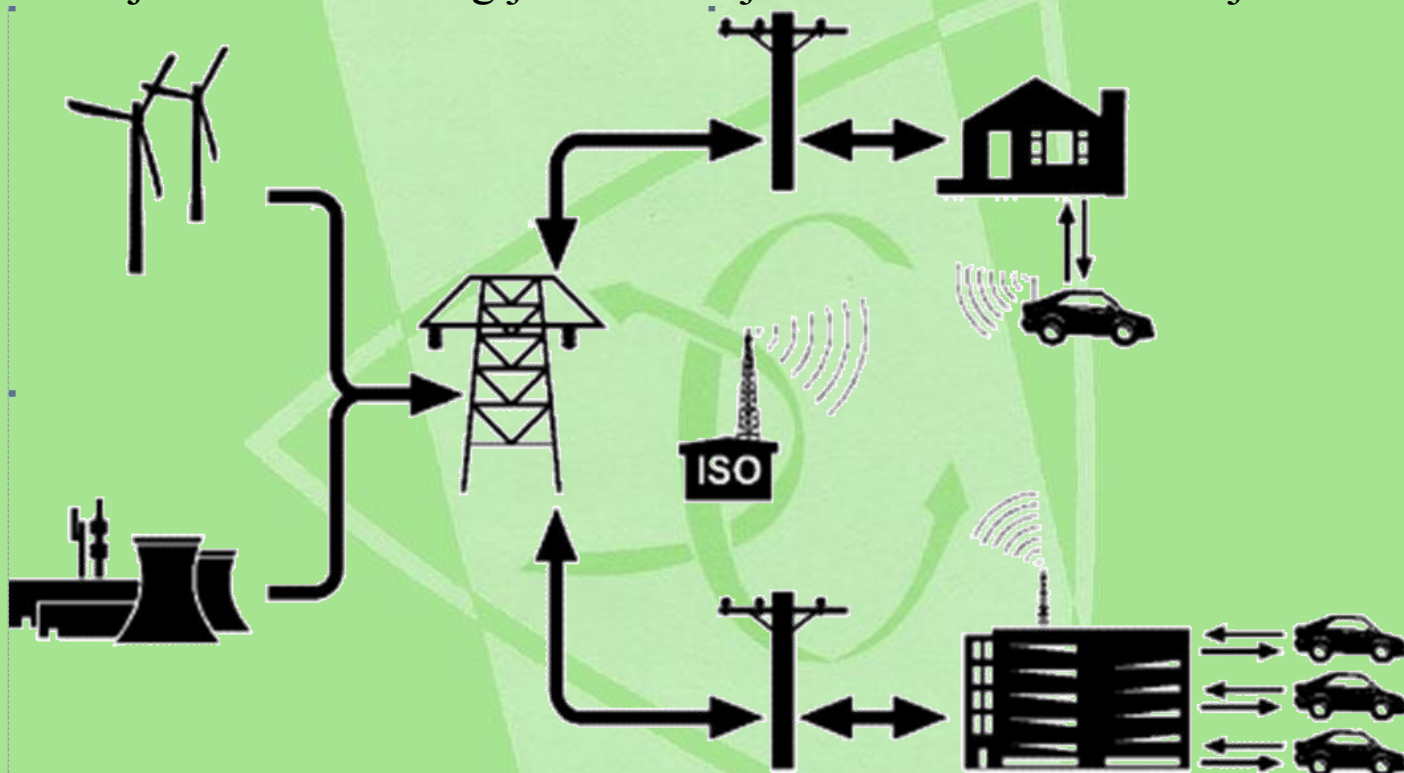


Modificiran prikaz krivulje trajanja obremenitve
(obratovalne ure)

20 000 km pri povprečni hitrosti 40 km/h pomeni 500 ur vožnje letno. Groba ocena je tako, da mirujejo avtomobili 8000 ur na leto. Ko bi bili to električni avtomobili z vgrajenimi akumulatorji po 25 kWh, bi to bil hranilnik energije z zmogljivostjo 25 GWh.

Potrebni bo še nekaj utopičnih rešitev: akumulator last sistema(!?), napoved dolžine naslednje vožnje itd.

Zamisli V2G Vehicle-to-Grid (vozila v omrežju), V2H Vehicle-to-home (vozilo doma) in V2V Vehicle-to-vehicle (vozilo vozilu) predvidevajo, da bi koristno uporabili hranilnike energije električnih in hibridnih avtomobilov za javno omrežje, saj avtomobili večino časa stojijo in bi lahko bili ta čas povezani z napajalno postajo in omrežjem. To bi znatno omililo nihanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov in izravnavanje konice.



Ilustrativni prikaz povezljivosti med različnimi uporabniki elektroenergetskega omrežja [12]

Možnosti uporabe električnih vozil v okviru EES bi naj pripomogli k *upravljanje s porabo, sodelovanju na trgu z električno energijo, maksimizaciji izrabe obnovljivih virov energije, zagotavljanju sistemskih storitev in zagotavljanju zanesljivosti EES.*

VIRI, LITERATURA

- [1] Mladen Žunec, *Elektromobilnost*, posvetovanje Nova energetika, Vodice, 2012
- [2] Jože Voršič, *Električna vleka*, Zapiski predavanj 2007, UM FERi, Maribor, 2007
- [3] <http://www.stat.si/StatWeb/News/Index/5921>
- [4] VORŠIČ, Jože, ORGULAN, Andrej. *Gospodarjenje z energijo : zbrano gradivo. Zv. 1, Splošna energetika*. Maribor: Tehniška fakulteta, Elektrotehnika, računalništvo in informatika, 1994. II, 61 str., ilustr. [COBISS.SI-ID [1666070](#)]
- [5] <http://www.energetika-portal.si/statistika/statisticna-podrocja/elektricna-energija-kolicine/>
- [6] <https://de.wikipedia.org/wiki/Elektroauto>
- [7] <https://greentransportation.info/ev-charging/range-confidence/chap5-ev-range/epa-estimates.html>
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Miles_per_gallon_gasoline_equivalent
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle

- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Euro_NCAP
- [12] Dušan BOŽIČ, *Vpliv električnih vozil na zanesljivost elektroenergetskega sistema*, doktorska disertacije, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana 2017
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_vehicle_drivetrain
- [14] https://www.google.si/search?q=electric+car+wiring+images&tbm=isch&source=iu&pf=m&ictx=1&fir=_q6JGXCiTQ1LGM%253A%252Ce8692jtpCEP0PM%252C_&usg=__5n--1hcKG4Xt1cgFiy-9UBNH-M%3D&sa=X&ved=0ahUKEwjv5WVvNfWAhWPZIAKHUjTAasQ9QEILzAD#imgrc=U8HBsRZldsبز0M:&spf=1507137370059
- [15] Ontario Hydro, *What everyone should know about electrical safety*, Electrical safety, Toronto, 1990
- [16] Gustav Büscher, *Elektrotehnika v slikah*, Življenje in tehnika, Ljubljana 1960
- [17] <https://www.iso.org/standard/60584.html>
- [18] <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/tesla-braende-experten-glauben-an-sicherheit-von-elektro-autos-a-932594.html>
- [19] <http://optec.ch/wp-content/uploads/2016/09/Sicherheit-beim-Elektroauto>
- [20] Günter G. Seip, *Elektrische Instalationstechnik*, Siemens Aktiengesellschaft, Erlangen 1985

- [21]
- [22] <https://www.welt.de/wirtschaft/elektrotechnik/article159793495/Bergung-von-Elektroautos-ist-lebensgefuehrlich-fuer-Retter.html>
- [23] <https://www.welt.de/motor/news/article108471237/Kfz-Rettungskarte.html>
- [24] <https://de.wikipedia.org/wiki/Rettungsleitfaden>
- [25] H. Aafting, A. Weiß, P. Hasse, *Leben mit Blitzen*, Winterthur Versicherungen, München 1987
- [26] <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=26232>
- [27] VORŠIČ, Jože, ORGULAN, Andrej. *Pretvarjanje v električno energijo*. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 1996. 156 str., ilustr. ISBN 86-435-0165-4. [COBISS.SI-ID [40449793](#)]
- [28] <https://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Ionen-Akkumulator>
- [29] https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery
- [30] <https://de.wikipedia.org/wiki/Lithiumtitanat-Akkumulator>

- [31] Andrej KOSMAČIN, *Pregled napajalnih sistemov za polnilne postaje električnih avtomobilov*, Inženirska zbornica Slovenije, Ljubljana 2015
- [32] [https://de.wikipedia.org/wiki/Ladestation_\(Elektrofahrzeug\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Ladestation_(Elektrofahrzeug))
- [33] Mikica Mikulandra, *Infrastruktura za punjenje električnih vozila*, posvetovanje Nova energetika, Vodice , 2012
- [34] VORŠIČ, Jože, PIHLER, Jože. *Tehnika visokih napetosti in velikih tokov*. 1. izd. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2005. 334 str., ilustr. ISBN 86-435-0729-6. [COBISS.SI-ID [55437057](#)]
- [35]

