Sodobni materiali

Seminar

14. 4. 2015

Obstojnost materialov

- Steklo in napake v steklu
- Korozija
- 5 minut za statistiko

Materiali za shranjevanje energije

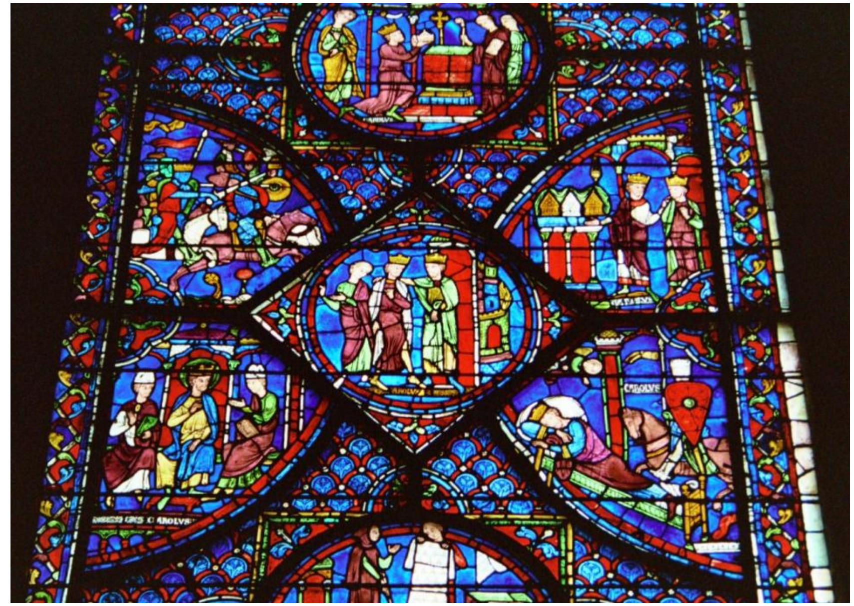
- Baterije in akumulatorji
- Tehnologija vodika

Obstojnost materialov
- Steklo in napake v steklu -

Sodobni materiali

Seminar

I



Struktura stekla → trdnost

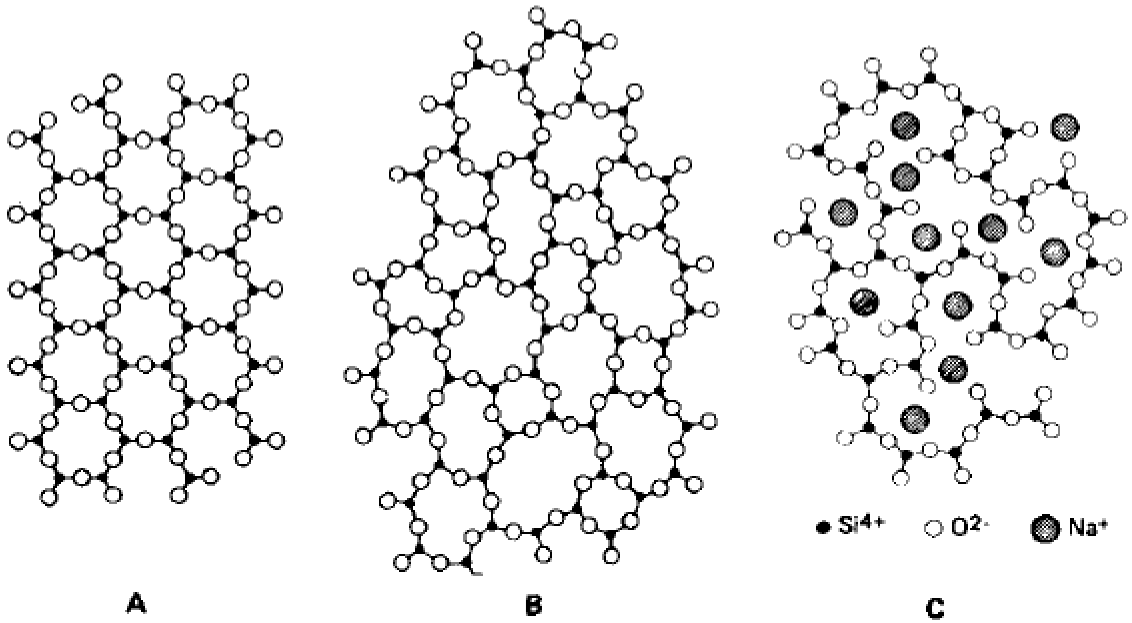
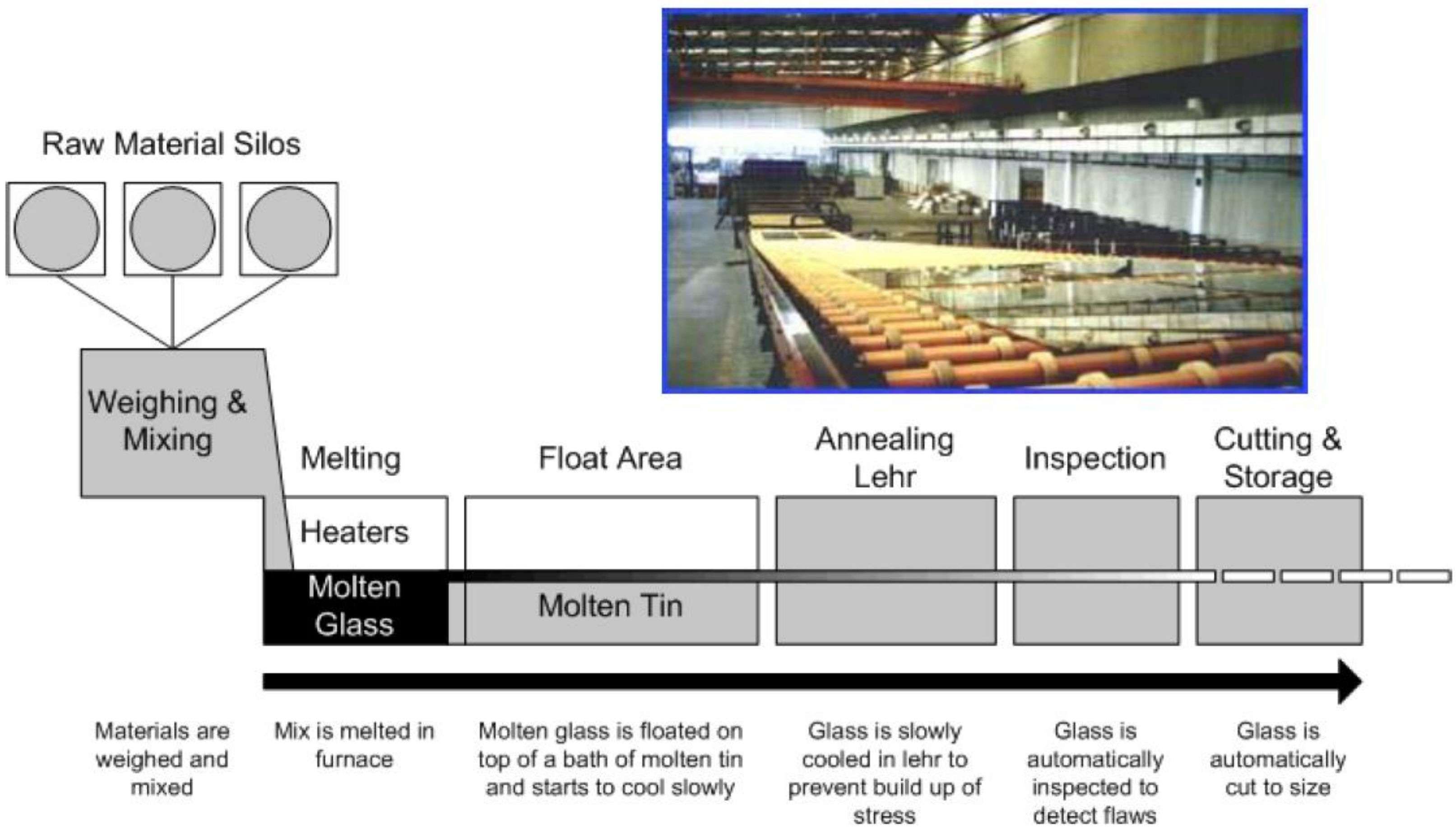


Fig. 1
Structure of crystallised silica (A), of fused silica (B) and of sodium silicate glass (C).

- Teoretična trdnost amorfnih materialov do 7000 MPa
- S primerno obdelavo kristalnega SiO_2 do 14 000 MPa
- Napake izvirajo iz razporeditve atomov

Proizvodnja stekla
→ uvajanje napak na mikro nivoju



Realna površina → hrapavost, razpoke

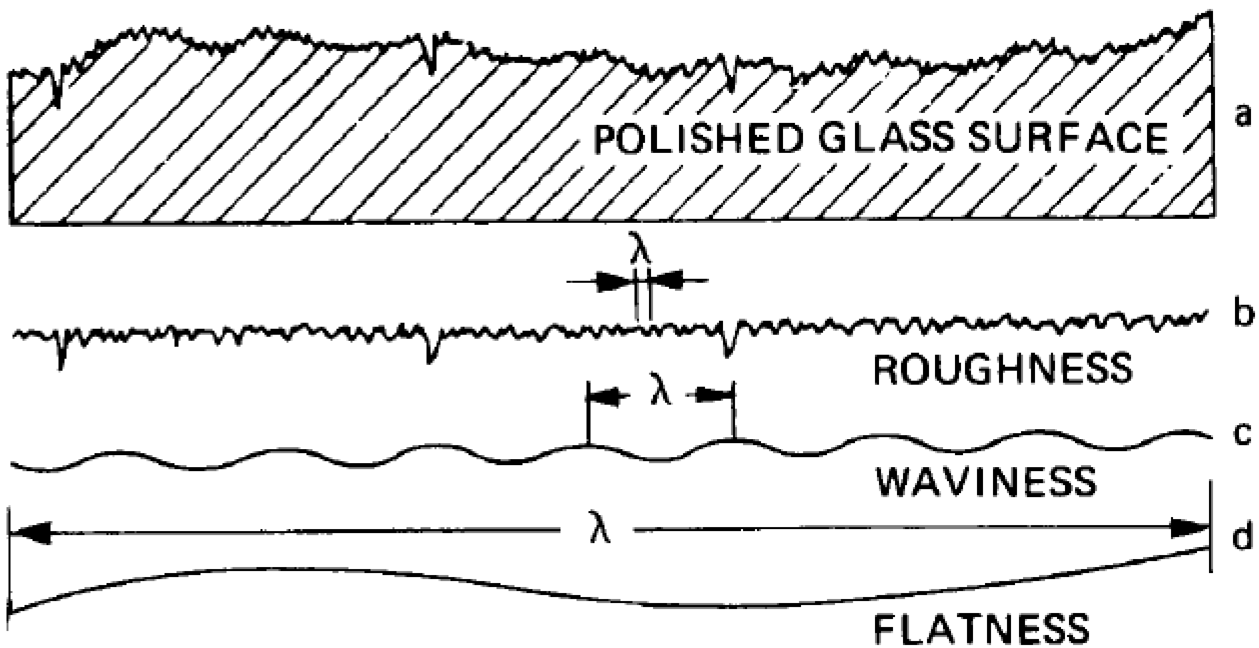
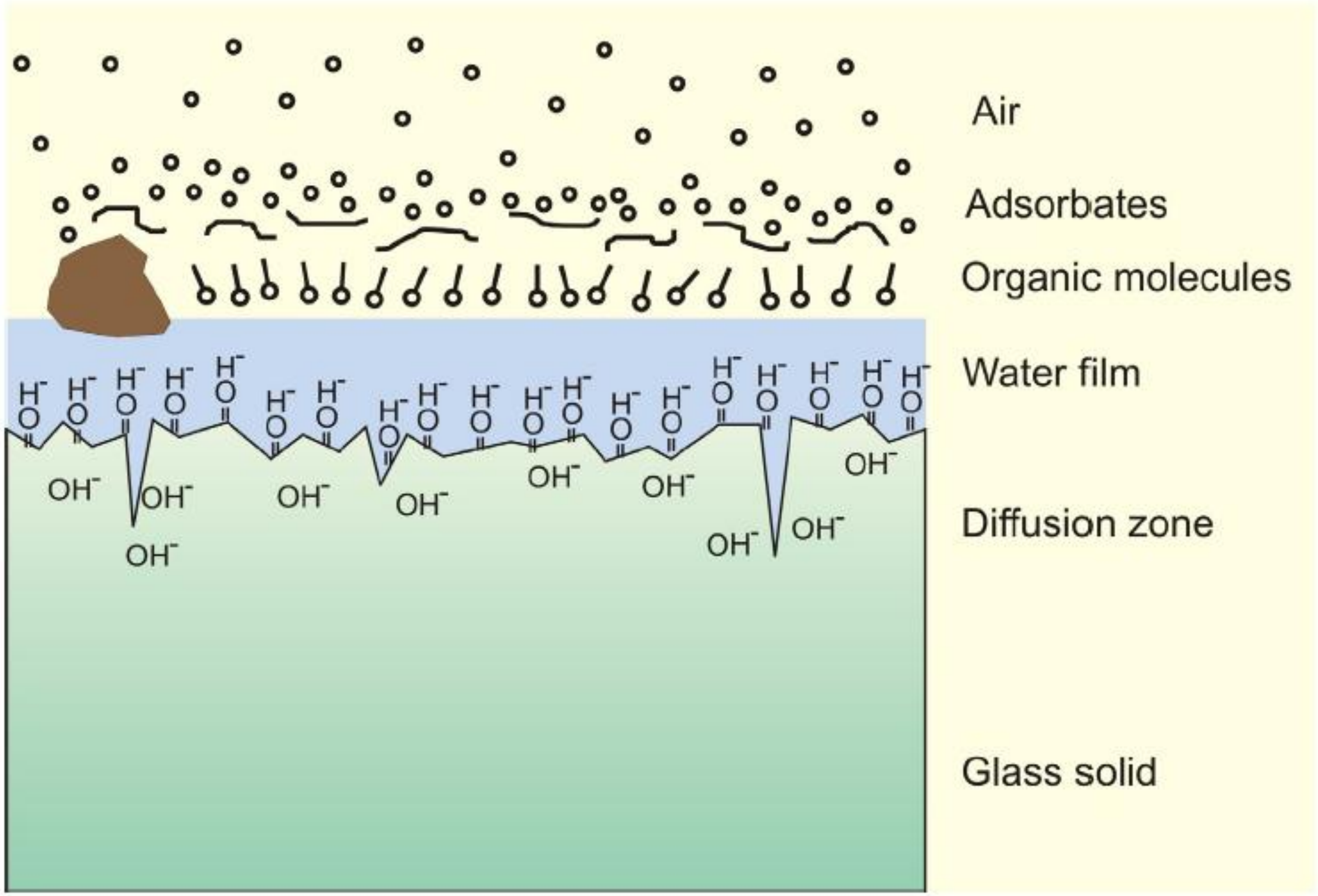


Fig. 1
Schematic representation of the surface topography of polished glass (a): and the various components of topography (b, c, d).

Realna površina → interakcija z okolico



Mehanski stres na razpoko

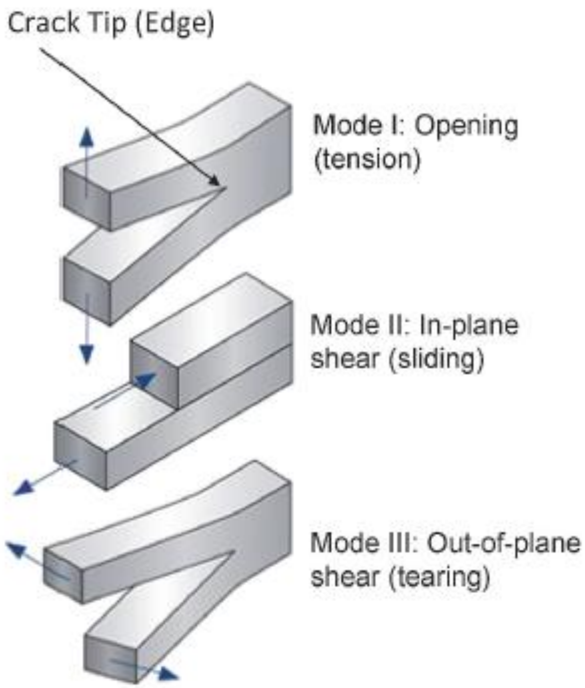


Figure 1.1 Flaw failure modes.

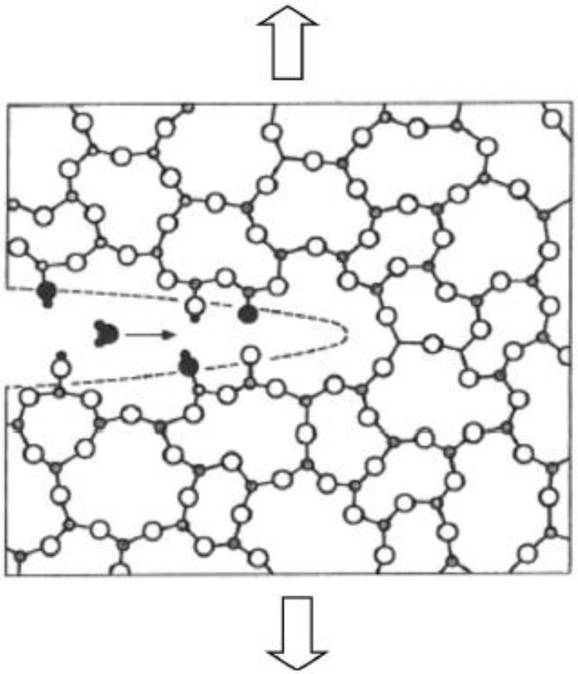


Figure 4.1 Stress corrosion process for fused silica. Shaded circles are silicon, while open circles are oxygen; filled circles are water. The crack is represented by the dashed curve. Arrows represent the stress field (adapted from Ref. 2 with permission).

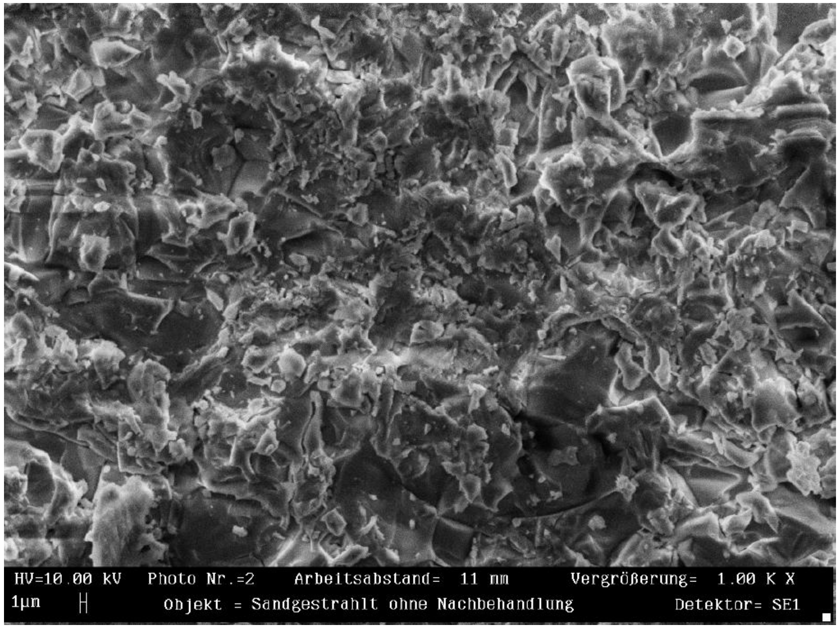
Modifikacija površine
- Odstranjevanje materiala -

Mehanično

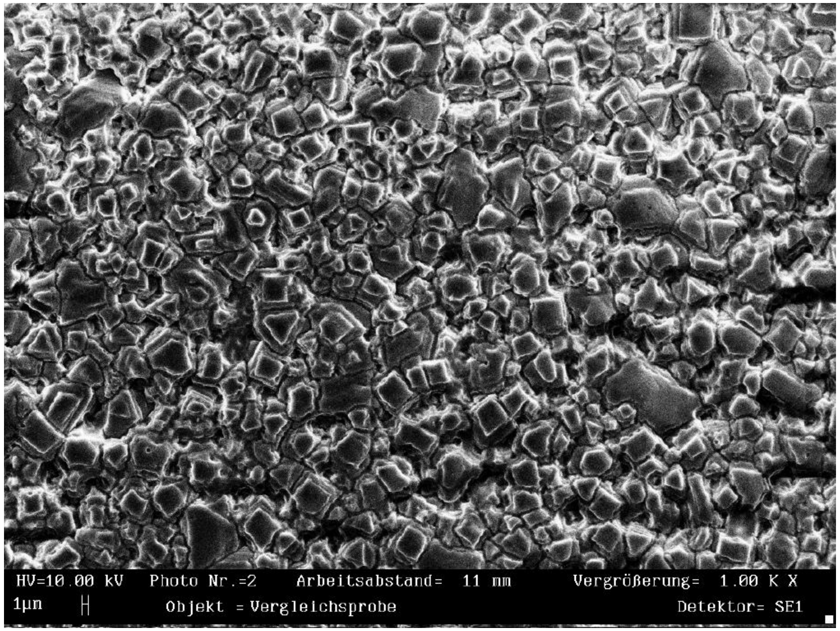
- brušenje
- poliranje

Kemijsko

- Kislinsko jedkanje



Nujno pri oblikovanju, cenejše, vnaša razpoke



Gladka površina, manj občutljiva na kisline

Modifikacija površine
- Izmenjava materiala -

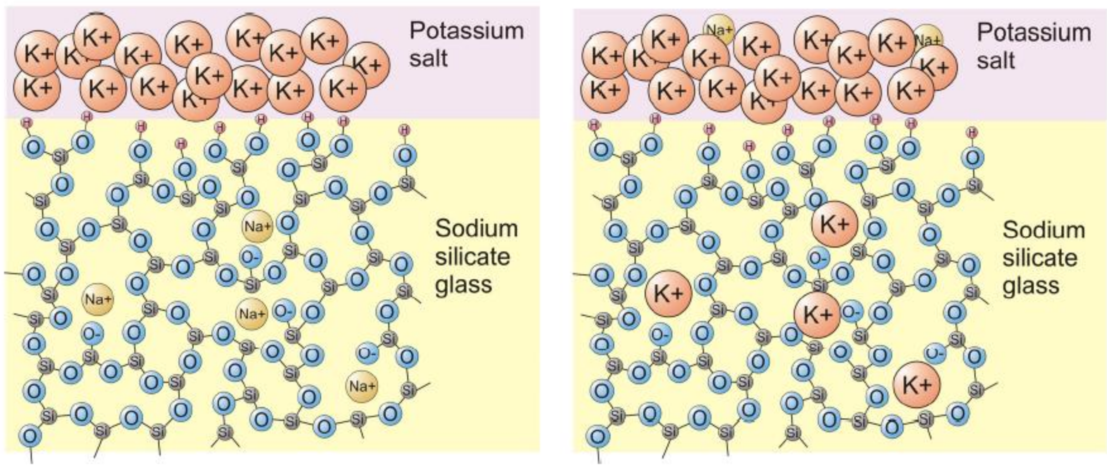
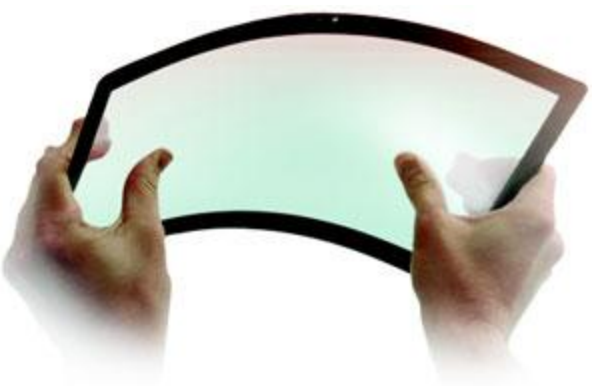


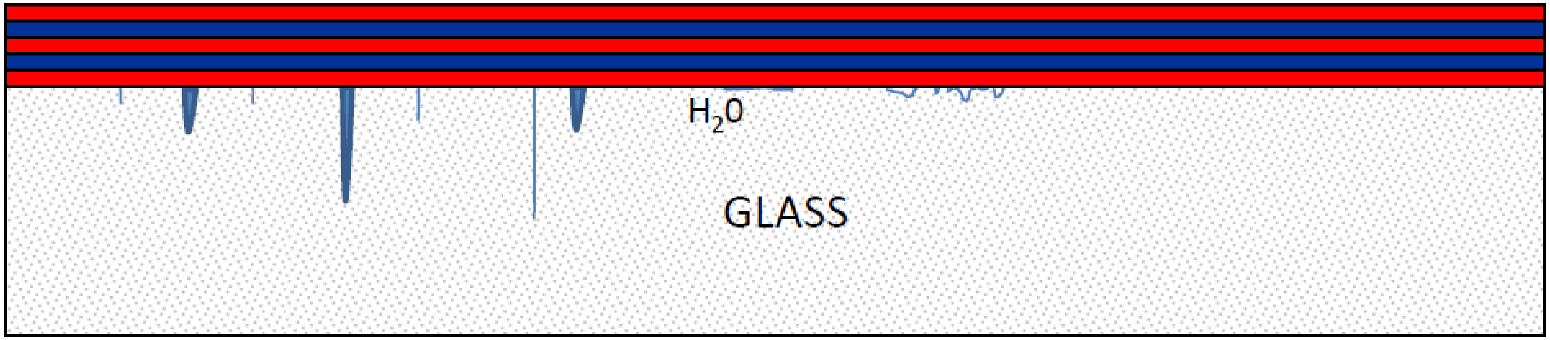
Fig. 7: Scheme of chemical strengthening:

7a: before ion exchange (left) **7b: after ion exchange (right)**

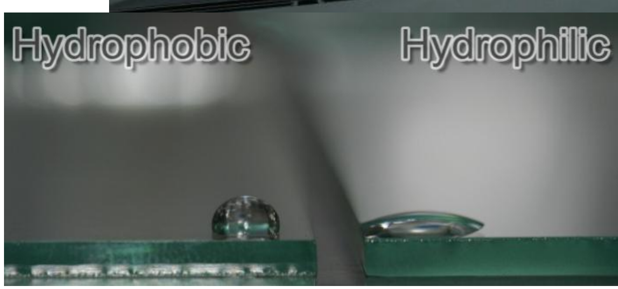


Modifikacija površine
- Nanos materiala -

- Iz plazme
  nanos ionov, nanos par
- Iz plinaste faze
  napprševanje, nanos par (fizikalno ali kemijsko)
- Iz tekočine ali trdne faze
  barva, keramične prevleke, kovine, sol-gel



Modifikacija površine
- Modifikacijo pogojuje cilj -



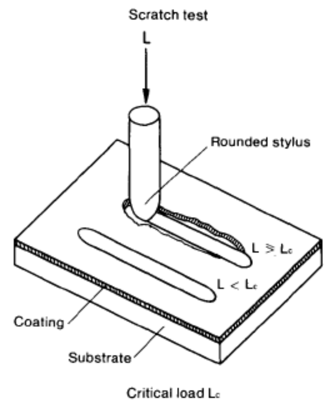
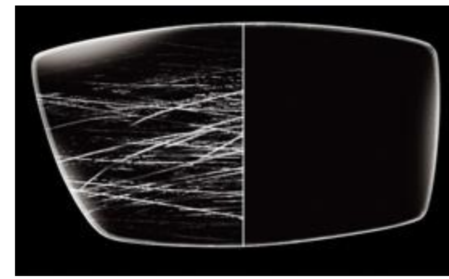
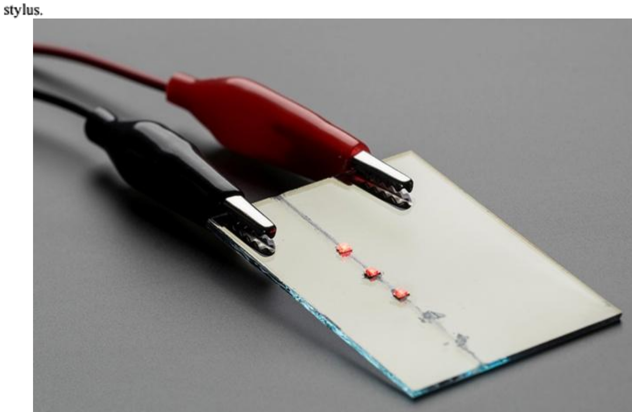


Fig. 7
Production of scratches by a loaded stylus.





Tudi nanosi se obrabijo!

Obstojnost materialov
- Korozija -

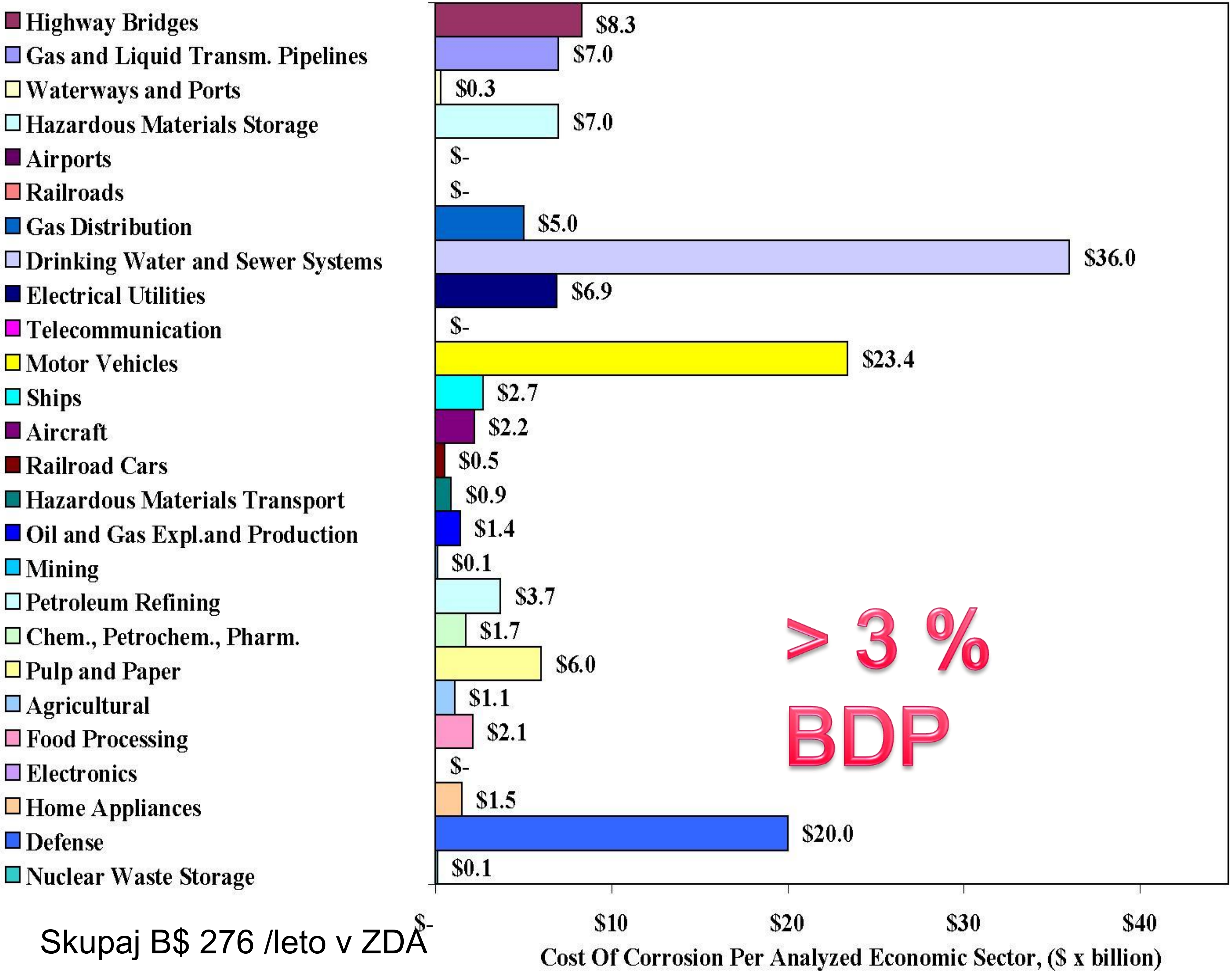
Sodobni materiali

Seminar

II



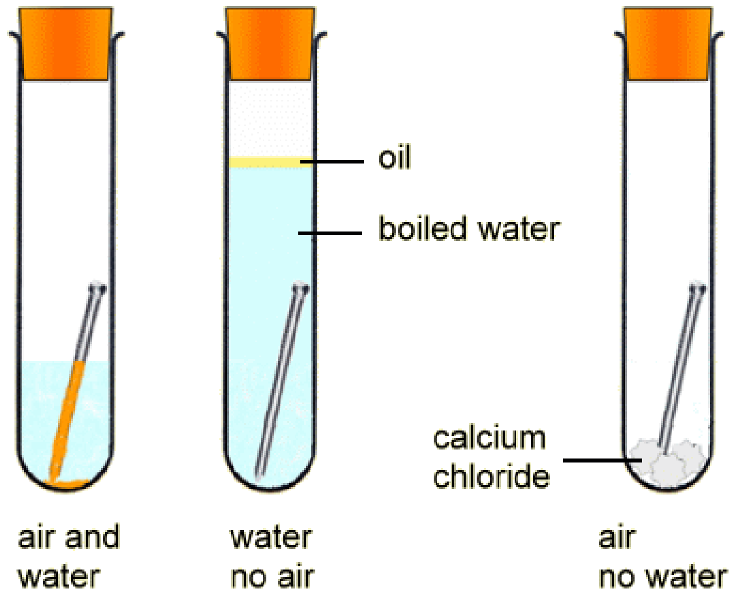


Skupaj B$ 276 /leto v ZDA

Pogoji za galvansko korozijo

- Dve “ne enaki” kovini v električnem stiku
- Elektrolit (voda)
- Reducent (kisik, protoni, M^{n+})



Termodinamski vidik I

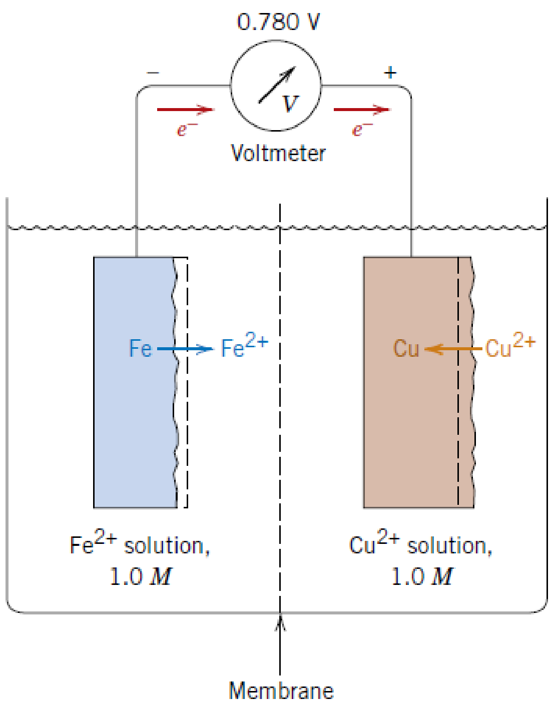


Figure 17.2 An electrochemical cell consisting of iron and copper electrodes, each of which is immersed in a 1 *M* solution of its ion. Iron corrodes while copper electrodeposits.

$$Cu^{2+} + Fe \longrightarrow Cu + Fe^{2+}$$

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^-$$

$$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$$

Termodinamski vidik II

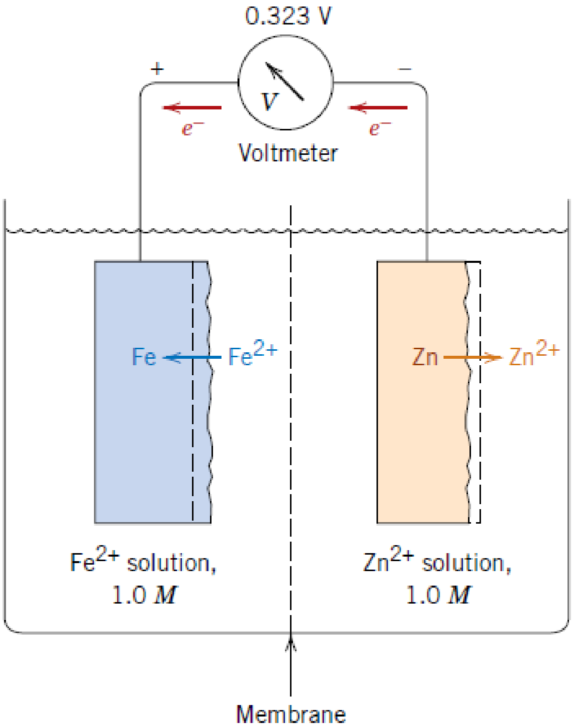


Figure 17.3 An electrochemical cell consisting of iron and zinc electrodes, each of which is immersed in a 1 *M* solution of its ion. The iron electrodeposits while the zinc corrodes.

Electrode Reaction	*Standard Electrode Potential, V^0 (V)*
$Au^{3+} + 3e^- \longrightarrow Au$	+1.420
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$	+1.229
$Pt^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pt$	~ +1.2
$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$	+0.800
$Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$	+0.771
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4(OH^-)$	+0.401
$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$	+0.340
$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$	0.000
$Pb^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pb$	−0.126
$Sn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Sn$	−0.136
$Ni^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ni$	−0.250
$Co^{2+} + 2e^- \longrightarrow Co$	−0.277
$Cd^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cd$	−0.403
$Fe^{2+} + 2e^- \longrightarrow Fe$	−0.440
$Cr^{3+} + 3e^- \longrightarrow Cr$	−0.744
$Zn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Zn$	−0.763
$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al$	−1.662
$Mg^{2+} + 2e^- \longrightarrow Mg$	−2.363
$Na^+ + e^- \longrightarrow Na$	−2.714
$K^+ + e^- \longrightarrow K$	−2.924

inertnost

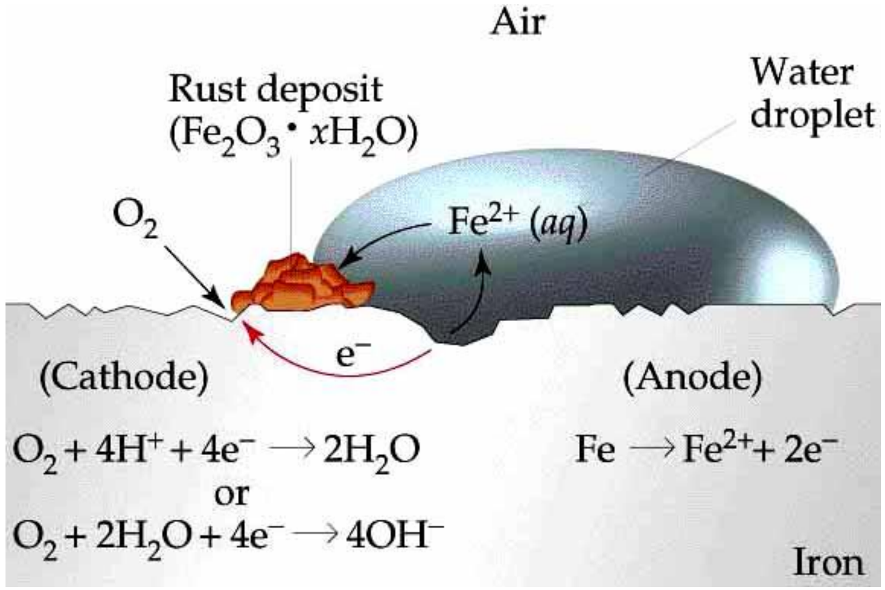
aktivnost

Termodinamski vidik III

inertnost

aktivnost

- Platinum
- Gold
- Graphite
- Titanium
- Silver
- 316 Stainless steel (passive)
- 304 Stainless steel (passive)
- Inconel (80Ni–13Cr–7Fe) (passive)
- Nickel (passive)
- Monel (70Ni–30Cu)
- Copper–nickel alloys
- Bronzes (Cu–Sn alloys)
- Copper
- Brasses (Cu–Zn alloys)
- Inconel (active)
- Nickel (active)
- Tin
- Lead
- 316 Stainless steel (active)
- 304 Stainless steel (active)
- Cast iron
- Iron and steel
- Aluminum alloys
- Cadmium
- Commercially pure aluminum
- Zinc
- Magnesium and magnesium alloys



$Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e^-$ Anodna reakcija

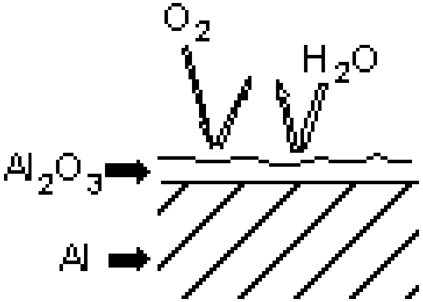
$4e^- + 4H^+(aq) + O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(l)$ Katodna reakcija

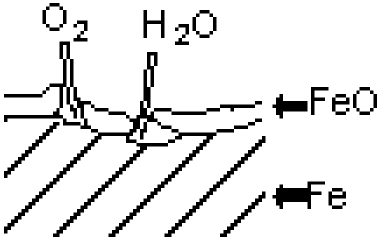
$Fe^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \leftrightarrow Fe(OH)_2(s)$ Zelena rja, ravnotežna reakcija

$Fe^{2+}(aq) + 4H^+(aq) + O_2(aq) \rightarrow Fe^{3+}(aq) + 2H_2O(l)$ Oksidacija Fe(II) ionov

$Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightarrow Fe(OH)_3(s) \xrightarrow{H_2O} Fe(OH)_3 \cdot H_2O$ Rjava rja

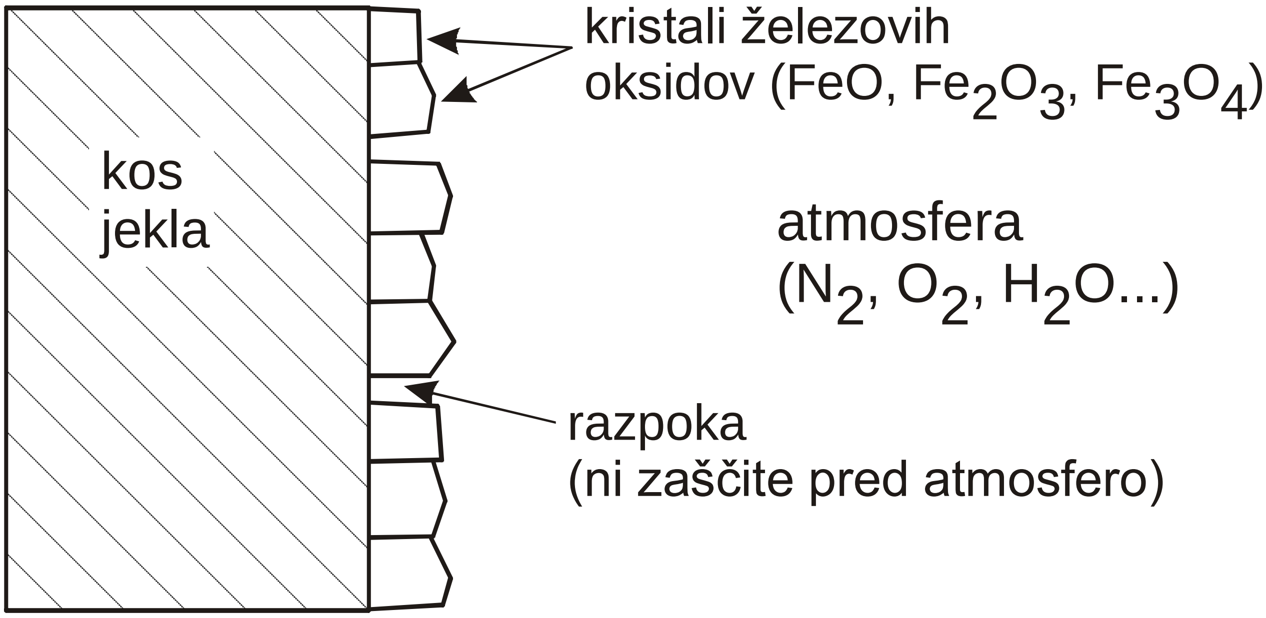
Pasivacija – kinetika kemijske reakcije





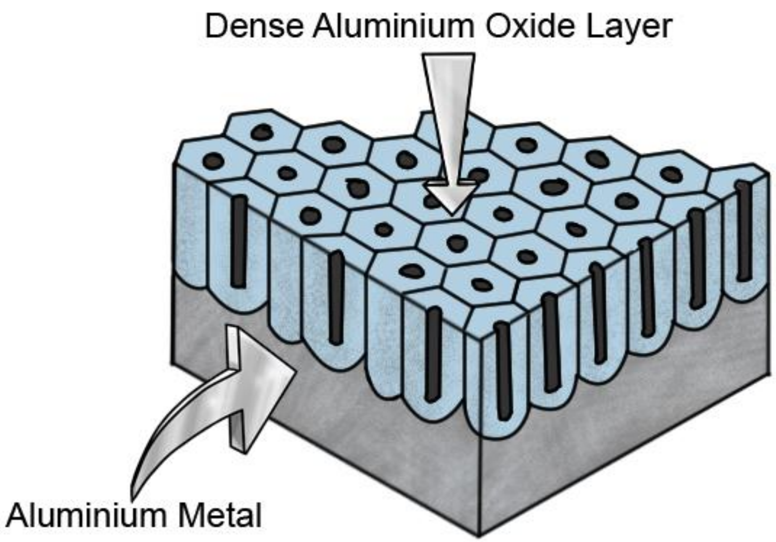
Korozija jekla

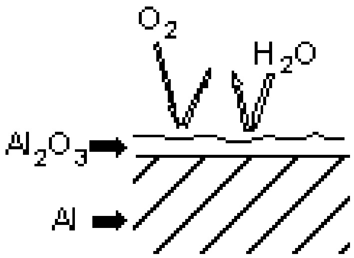
Zakaj jeklo korodira?

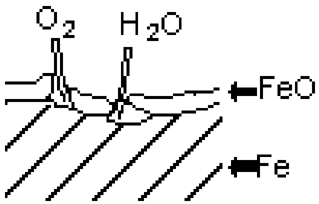


Hitrost korozije jekel v atmosferi: od 5-30 g/m^2 v 1 mesecu.

Korozija aluminija







Electrode Reaction	*Standard Electrode Potential, V^0 (V)*
$Au^{3+} + 3e^- \longrightarrow Au$	+1.420
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$	+1.229
$Pt^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pt$	~ +1.2
$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$	+0.800
$Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$	+0.771
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4(OH^-)$	+0.401
$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$	+0.340
$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$	0.000
$Pb^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pb$	−0.126
$Sn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Sn$	−0.136
$Ni^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ni$	−0.250
$Co^{2+} + 2e^- \longrightarrow Co$	−0.277
$Cd^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cd$	−0.403
$Fe^{2+} + 2e^- \longrightarrow Fe$	−0.440
$Cr^{3+} + 3e^- \longrightarrow Cr$	−0.744
$Zn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Zn$	−0.763
$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al$	−1.662
$Mg^{2+} + 2e^- \longrightarrow Mg$	−2.363
$Na^+ + e^- \longrightarrow Na$	−2.714
$K^+ + e^- \longrightarrow K$	−2.924

Pilling-Bedworthov količnik

$$R_{PB} = \frac{V_M(oksid)}{V_M(kovina)} = \frac{M(oksid)\rho(kovina)}{M(kovina)\rho(oksid)n}$$

n: razmerje med številom atomov kovine in molekul oksida

Približno velja:

R_{PB} < 1: pretanka oksidna plast (primer Mg)

1 < R_{PB} < 2: običajno je kovina zaščitena (Ti, Cr, Al)

R_{PB} > 2: oksid se odlušči (primer Fe)

Opomba: pravilo ima znatno število izjem.

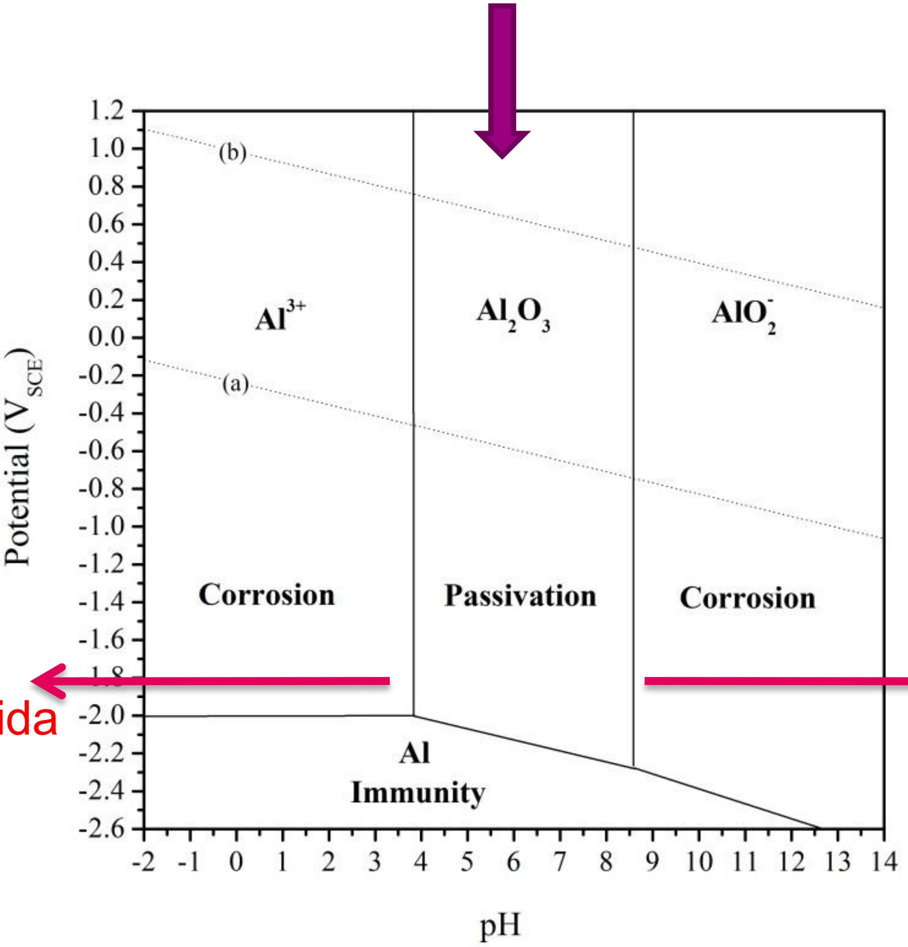
Pilling-Bedworthov količnik

Protective			*Nonprotective*		
Metal	*Oxide*	*P–B Ratio*	*Metal*	*Oxide*	*P–B Ratio*
Al	Al_2O_3	1.29	K	K_2O	0.46
Cu	Cu_2O	1.68	Li	Li_2O	0.57
Ni	NiO	1.69	Na	Na_2O	0.58
Fe	FeO	1.69	Ca	CaO	0.65
Be	BeO	1.71	Ag	AgO	1.61
Co	CoO	1.75	Ti	TiO_2	1.78
Mn	MnO	1.76	U	UO_2	1.98
Cr	Cr_2O_3	2.00	Mo	MoO_2	2.10
Si	SiO_2	2.14	W	WO_2	2.10
			Ta	Ta_2O_5	2.44
			Nb	Nb_2O_5	2.67

[a]Metal and oxide densities based on *Handbook of Chemistry and Physics*, 85th edition (2004–2005).

Kaj pa v kislem in alkalnem?

Aluminijev oksid stabilen pri atmosferskih pogojih

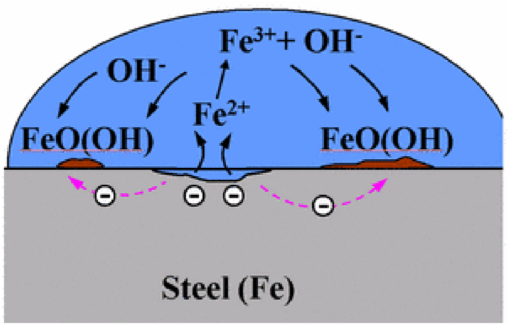


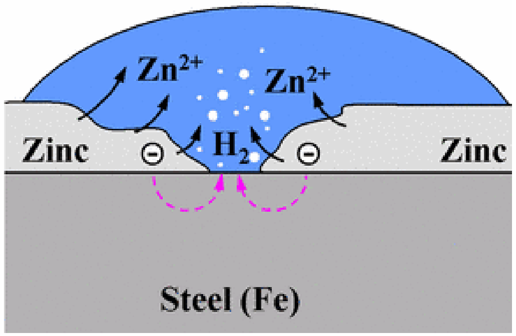
Raztapljanje aluminijevega oksida v močno kislem

Raztapljanje aluminijevega oksida v močno bazičnem

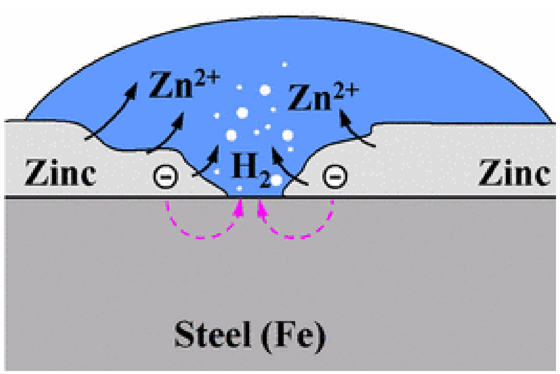
Zaščita pred korozijo I

- Prevleke:
  - Nekovinski premazi (oksidi, organske snovi)
  - Kovinske prevleke – katodne (Au, Ag, Ni, Cr, ...)
  - Kovinske prevleke – anodne (Zn)

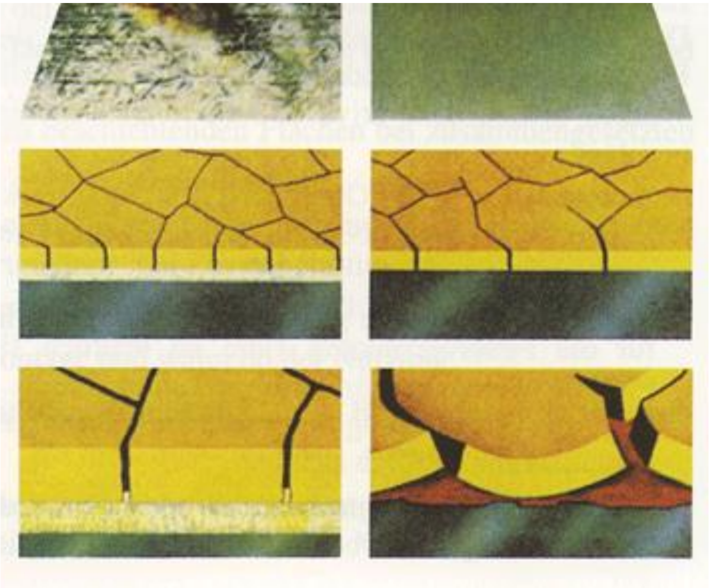




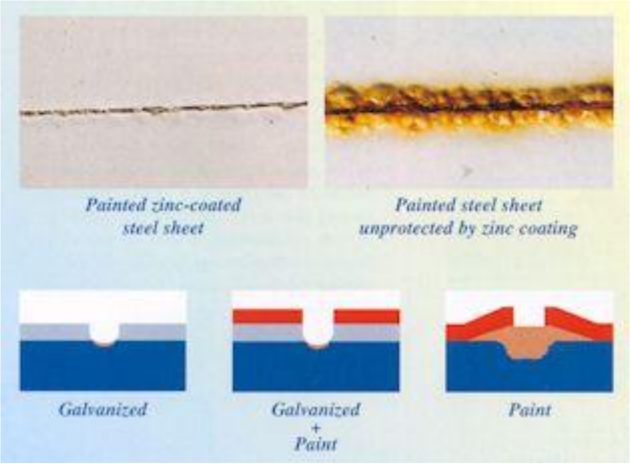
Kaj če prevleka razpoka



Cink
+
Barva

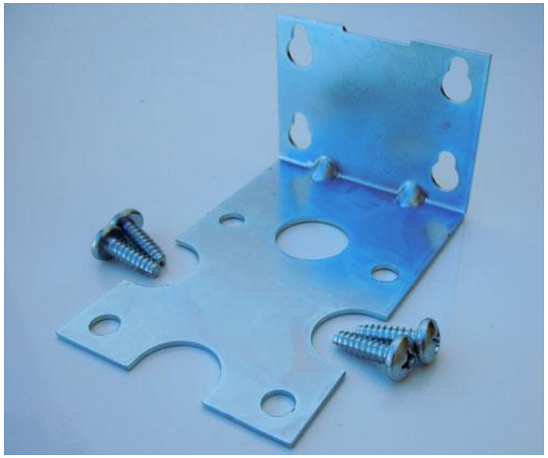


Barva



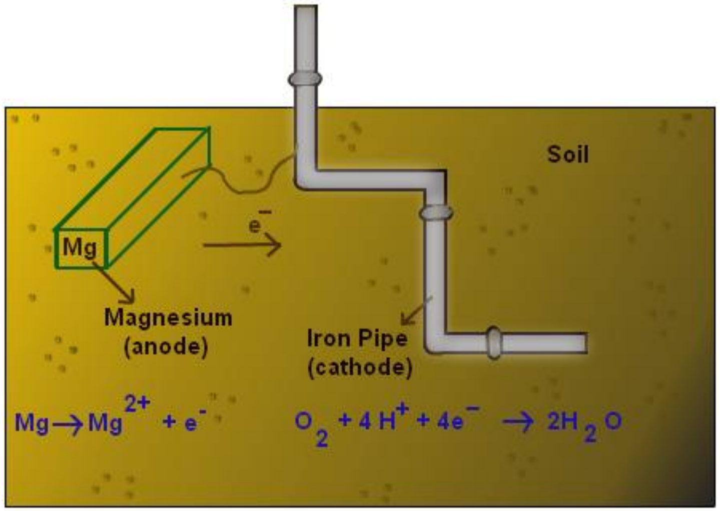
Zaščita pred korozijo II

- Oplemenitenje jekla
  - Na površini zlitine nastane zvišana koncentracija bolj obstojne kovine (Cr)
  - Spremenijo se mehanske (električne) lastnosti oksidov na površini (P, Cu)



Zaščita pred korozijo III

- Katodna zaščita
  - Jeklo vežemo v tak elektrokemijski člen, da jeklo predstavlja katodo – to pomeni, da se železo ne raztaplja več
- Anodna zaščita

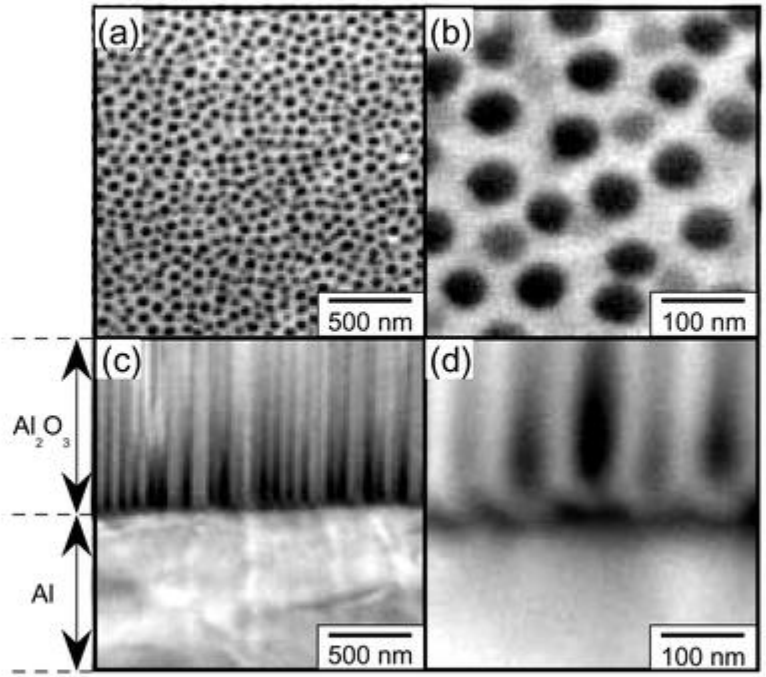


Anodizacija I

- Elektrokemijsko ustvarimo ali odebelimo oksidno plast na površini kovine
- Površino kovine lahko s tem električno izoliramo
- S postopkom lahko dekoriramo površino: obarvamo, osvetlimo, teksturiramo
- Povečamo lahko trdoto materiala, izboljšamo korozijsko in mehansko odpornost (zmanjšamo abrazivnost itd.)

Anodizacija II

- V industriji od 1923 - duraluminija na hidroplanskih delih (uporabili so kromovo kislino).
- Največkrat anodiziramo aluminij (eloksiran aluminij)
- Industrijsko anodizirajo še: Mg, Ti, Zn
- Zelo redko: Sn, Cu



Uporaba

- Zabavna industrija
- Vojaška/Letalska ind.
- Komercialna






Oprema za anodizacijo

- Izvor enosmernega toka
- Posode in držala za namestitev vzorcev
- Elektrolit (kislina):
  - Žveplova
  - Kromova
  - Oksalna
  - Fosforjeva
- Voda, barvila

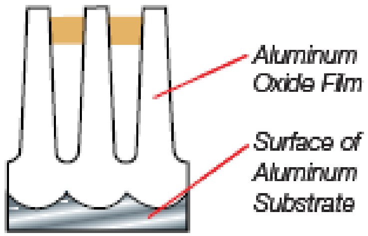
Proces anodizacije

Procesne variable:

- Čas ciklanja
- Napetost
- Gostota toka
- Kemizem elektrolita
- Koncentracija elek.
- Temperatura

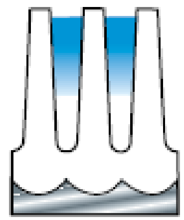
Barvna anodizacija

1. Inorganic Dyeing



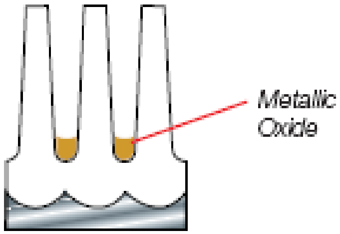
ANODIZING → INORGANIC DYE
Inorganic dye is absorbed at the surface of the anodic pores. Typical colors include pale to dark bronze and muted gold tones.

2. Organic Dyeing



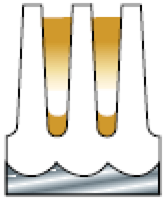
ANODIZING → ORGANIC DYE
Organic dye is distributed throughout the coating, but is principally concentrated near the surface and the middle area of the anodic pores. Typical colors include deep yellow, red, blue, green, turquoise, and black.

3. Electrolytic Coloring



ANODIZING → ELECTROCOLORING
Metal is deposited deep into the anodic pores.
Typical colors include brown, bronze, gray, slate, black, pink, and burgundy.

4. Electrolytic Coloring in Combination with Organic Dyeing



ANODIZING → ELECTROCOLORING → ORGANIC DYEING
Metal is deposited deep into the pores electrolytically, followed by a dye which is distributed throughout the coating nearer the surface. Many muted colors are attainable.

Prednosti in slabosti

- Postopek je primeren za masovno proizvodnjo
- Dimenzijske posebnosti imajo minimalni vpliv
- Nanos je trajen
- Barva je stabilna
- Lahko vzdrževanje
- Ugodna cena
- Zdravju neškodljivo

- Anodiziramo lahko le izbrane materiale
- Težko anodiziramo majhne objekte
- Na mestih kontaktov je nanos defekten

Polimeri?

Table 17.4 Resistance to Degradation by Various Environments for Selected Plastic Materials[a]

Material	*Nonoxidizing Acids ($20\%\ H_2SO_4$)*	*Oxidizing Acids ($10\%\ HNO_3$)*	*Aqueous Salt Solutions (NaCl)*	*Aqueous Alkalis (NaOH)*	*Polar Solvents (C_2H_5OH)*	*Nonpolar Solvents (C_6H_6)*	*Water*
Polytetrafluoroethylene	S	S	S	S	S	S	S
Nylon 6,6	U	U	S	S	Q	S	S
Polycarbonate	Q	U	S	U	S	U	S
Polyester	Q	Q	S	Q	Q	U	S
Polyetheretherketone	S	S	S	S	S	S	S
Low-density polyethylene	S	Q	S	—	S	Q	S
High-density polyethylene	S	Q	S	—	S	Q	S
Poly(ethylene terephthalate)	S	Q	S	S	S	S	S
Poly(phenylene oxide)	S	Q	S	S	S	U	S
Polypropylene	S	Q	S	S	S	Q	S
Polystyrene	S	Q	S	S	S	U	S
Polyurethane	Q	U	S	Q	U	Q	S
Epoxy	S	U	S	S	S	S	S
Silicone	Q	U	S	S	S	Q	S

[a]S = satisfactory; Q = questionable; U = unsatisfactory.

Source: Adapted from R. B. Seymour, *Polymers for Engineering Applications*, ASM International, Materials Park, OH, 1987.

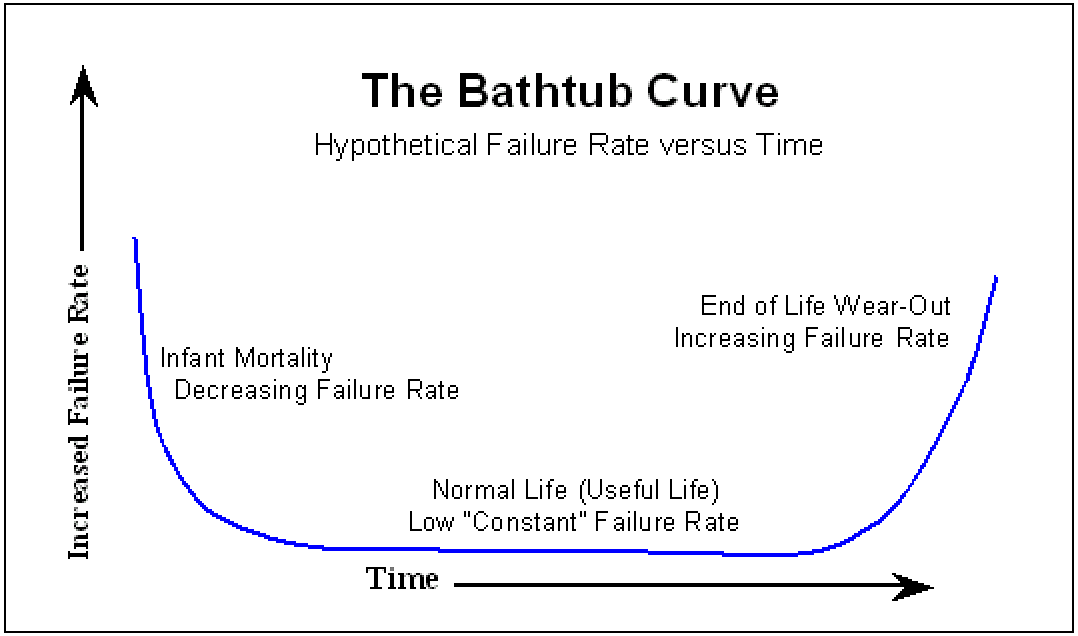
Obstojnost materialov
- 5 minut za statistiko -

Sodobni materiali

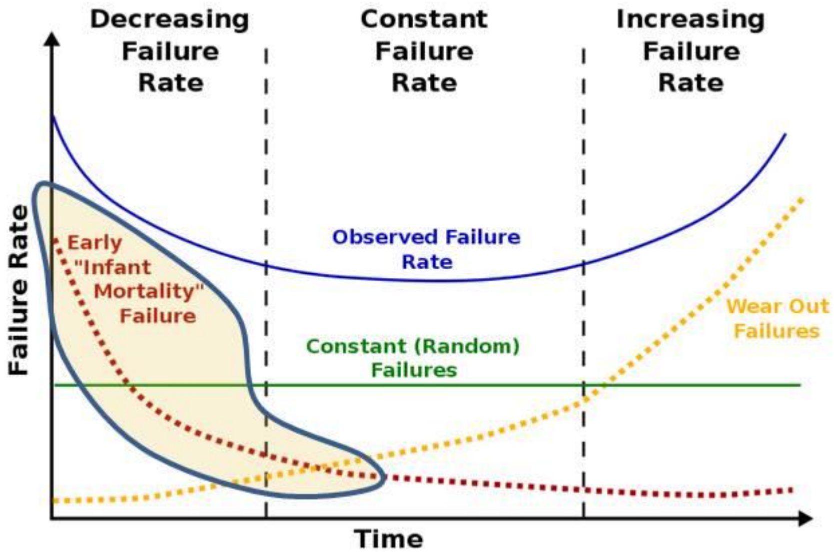
Seminar

III

Krivulja okvare

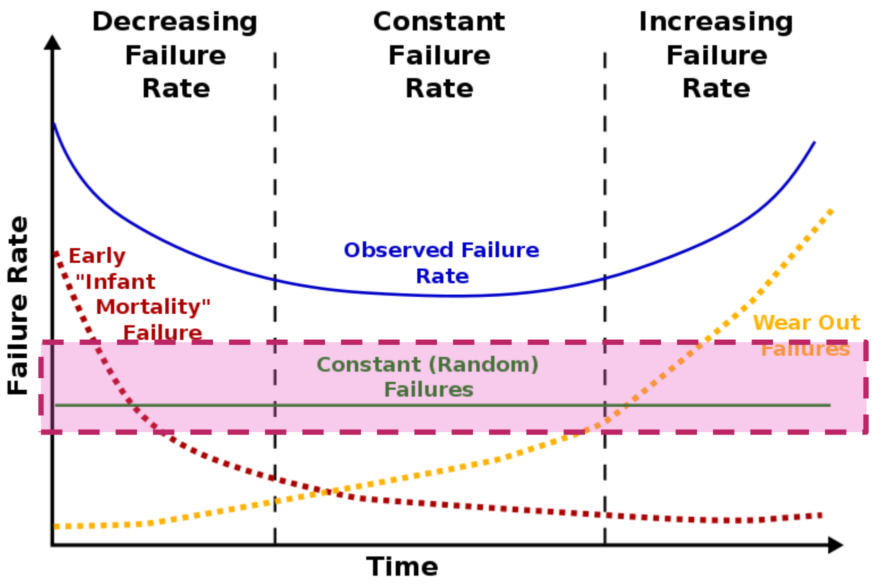


Zgodnje napake



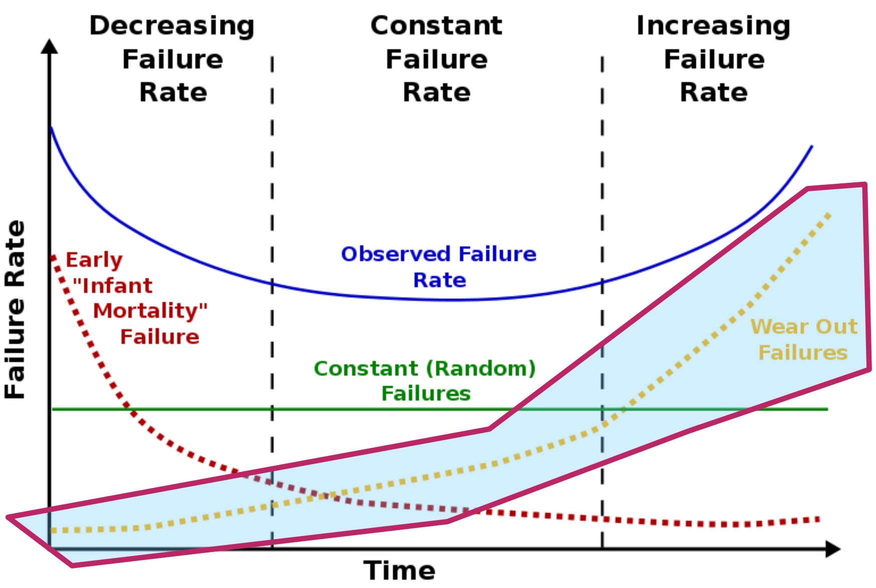
- Pojavijo se kmalu po začetku uporabe (tedni, meseci).
- Navadno so posledica napak v proizvodnji, defektov v materialih.
- Dobro je, če se izdelek za to obdobje že testira.
- Obdobje garancije

Obraba ob normalni uporabi



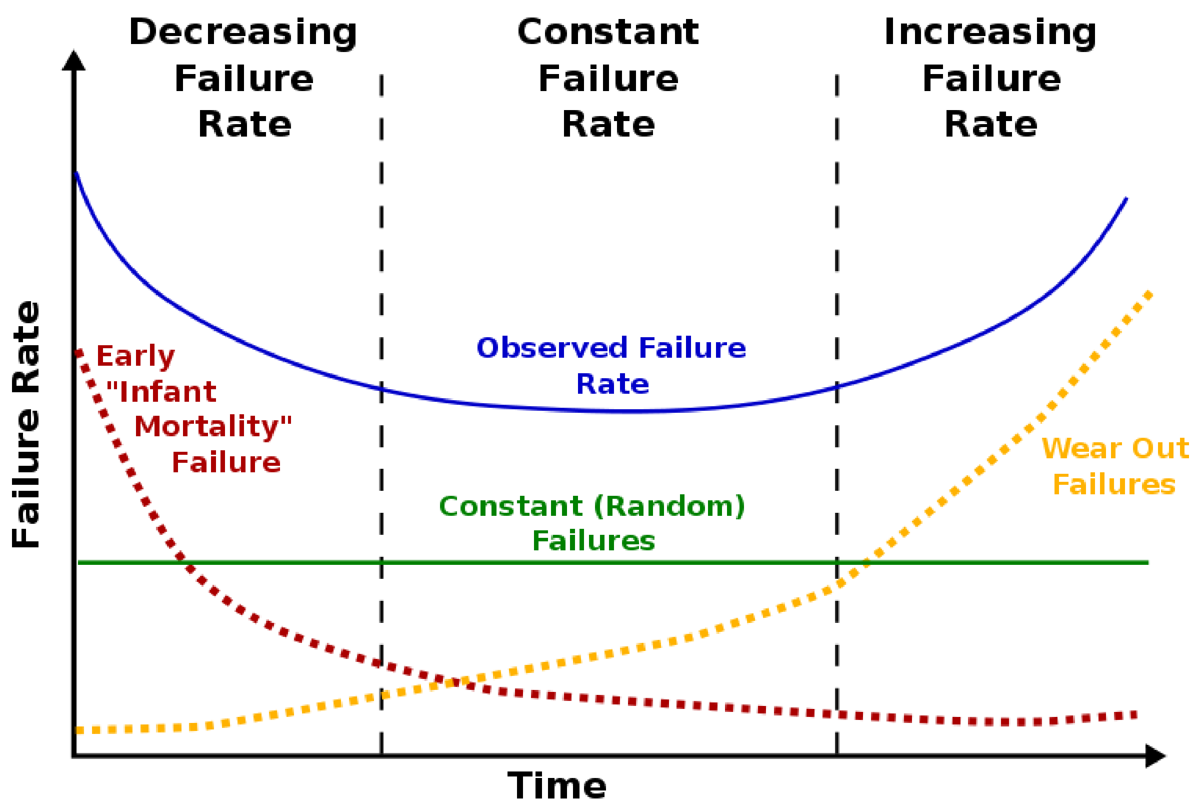
- Če izdelek ne odpove v "času garancije", bo v dobi pričakovane uporabe deloval brez problemov.
- Okvare so tudi v tem obdobju mogoče, vendar manj verjetne!

Staranje



- Ob določeni starosti se material tako obrabi, da se s časom verjetnost za neuporabnost veča.

Krivulja okvare – samo model



- Zaganjalniki za letalske motorje (1962)
- Avtobusni motorji (1952)
- 500 MW generatorji (1981)
- Centrifugalne črpalke(1991)

To ni edini model!

Sistemi za shranjevanje energije - Baterije in akumulatorji -

Sodobni materiali

Seminar

IV

Definicije

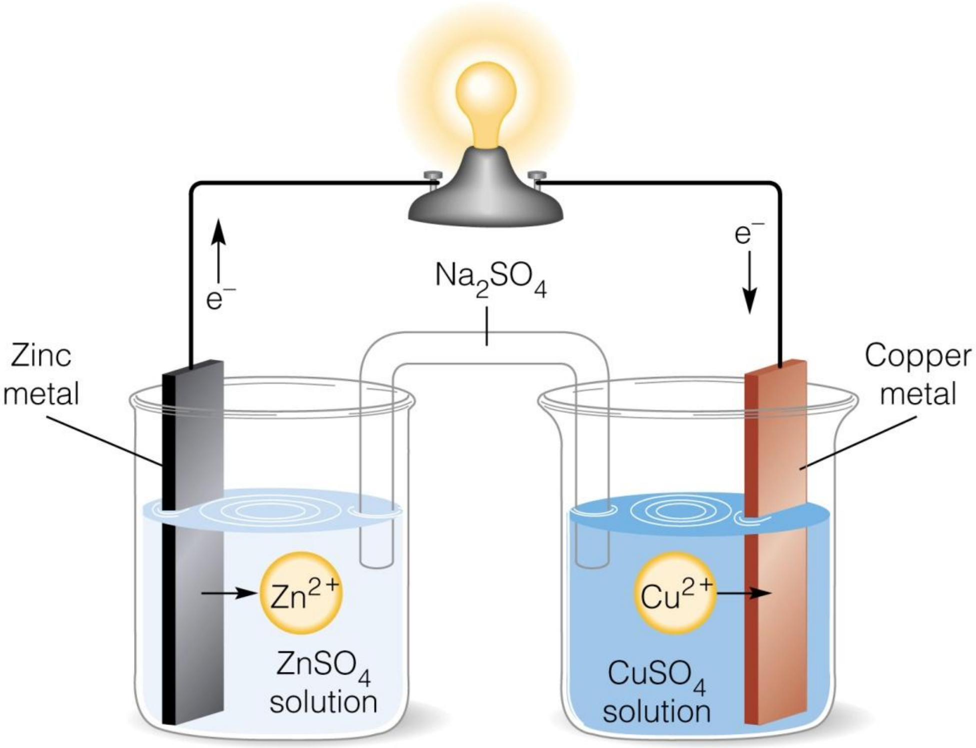
Baterija

- Naprava sestavljena iz ene ali več elektrokemijskih celic, ki spreminja kemijsko energijo v električno.

Akumulator

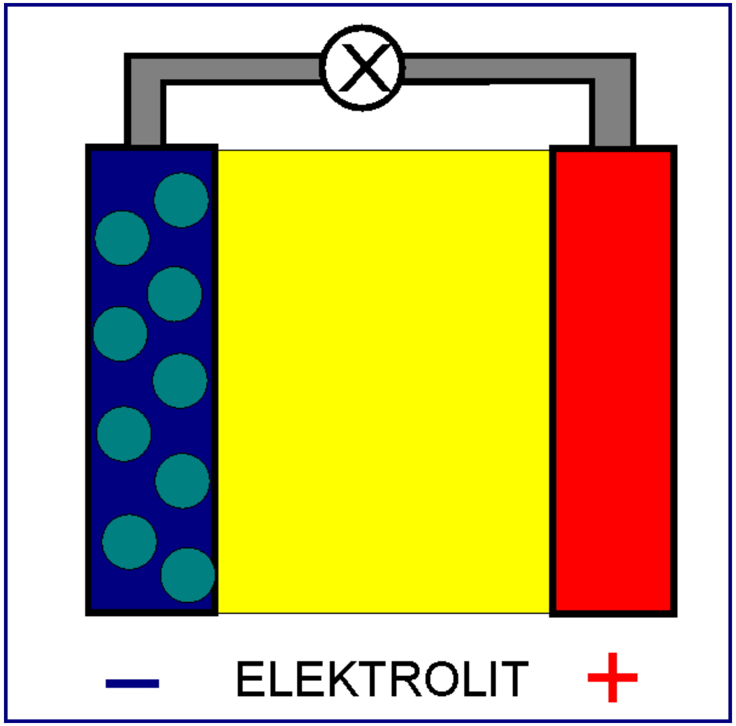
- Baterija, ki jo lahko večkrat izpraznimo in ponovno napolnimo (sekundarna baterija).

Princip delovanja



$$Cu^{2+}_{(aq)} + Zn_{(s)} \Leftrightarrow Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$$

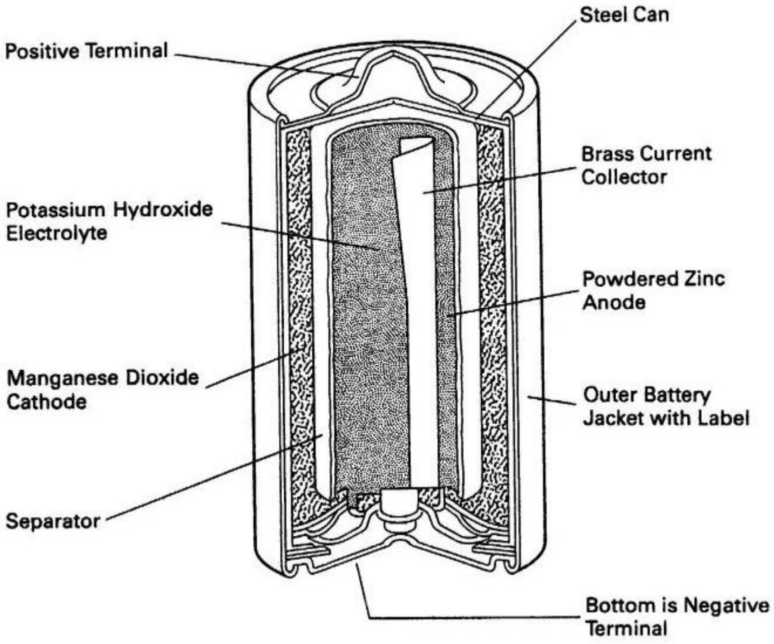
$E^{\Theta} = 0.337-(-0.763) = 1.10\ V$



Alkalne baterije

$E°_{Cell}$ = 1.5 V

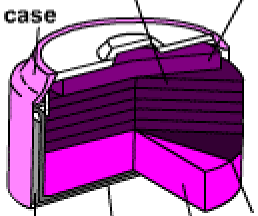
- Anoda: $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{+2}_{(aq)} + 2e^-$
- Katoda: $2NH_4^+{}_{(aq)} + MnO_{2(s)} + 2e^- \rightarrow Mn_2O_{3(s)} + 2NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$



“Knof” baterije

$E°_{Cell} = 1.6$ V

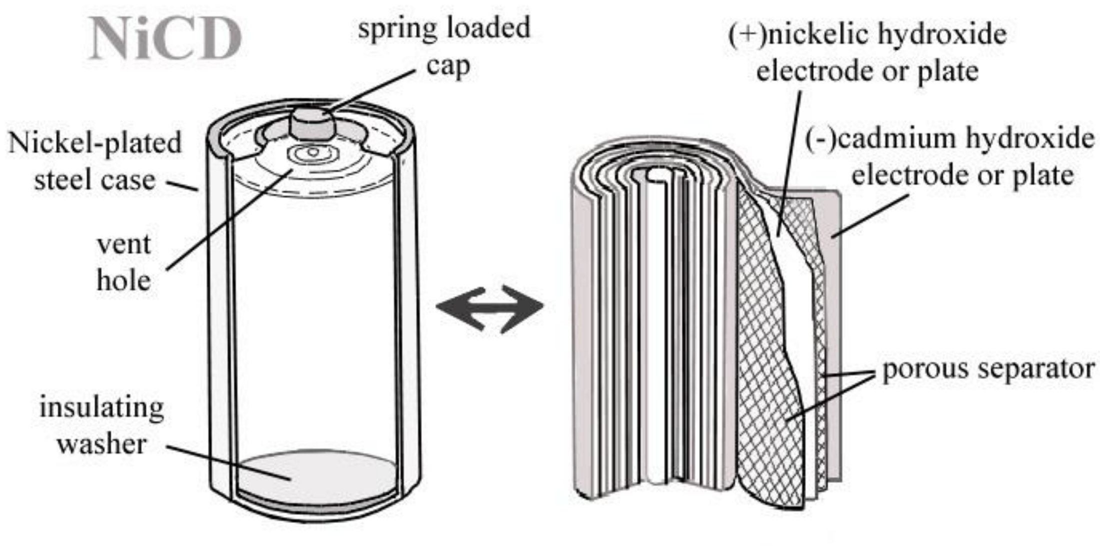
- Anoda: $Zn_{(s)} + 2OH^-_{(aq)} \rightarrow ZnO_{(s)} + H_2O_{(l)} + 2e^-$
- Katoda (Hg): $HgO_{(s)} + 2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow Hg_{(s)} + 2OH^-_{(aq)}$
- Katoda (Ag): $Ag_2O_{(s)} + H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow 2Ag_{(s)} + 2OH^-_{(aq)}$



Nikelj-kadmijeve baterije

$E°_{Cell} = 1.4$ V

- Anoda: $Cd_{(s)} + 2OH^-_{(aq)} \rightarrow Cd(OH)_{2\,(s)} + 2e^-$
- Katoda: $2Ni(OH)_{(s)} + 2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow Ni(OH)_{2\,(s)} + 2\,OH^-_{(aq)}$



Nikelj-hidirdne baterije

$E°_{Cell}$ = 1.3 V

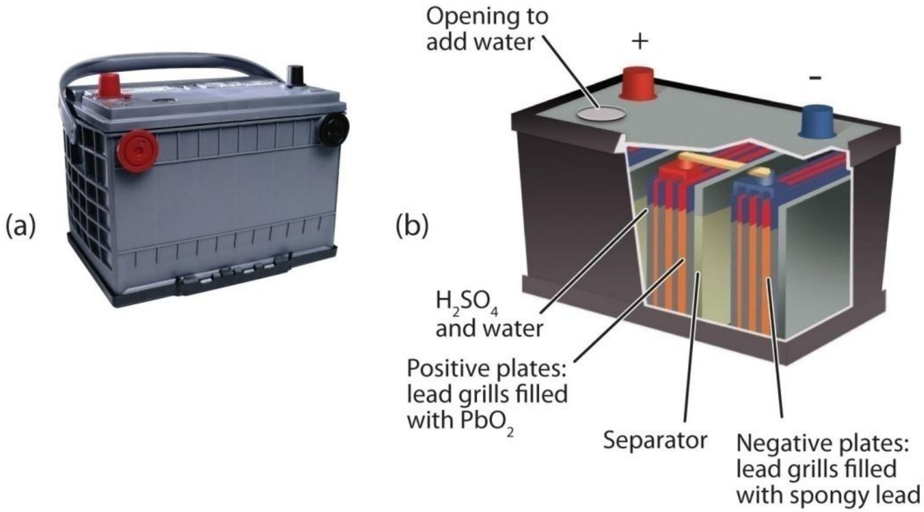
- Anoda: $MH_x + OH^-_{(aq)} \rightarrow MH_{x-1\,(s)} + H_2O_{(l)} + e^-$
- Katoda: $NiOOH_{(s)} + H_2O_{(l)} + e^- \rightarrow Ni(OH)_{2\,(s)}$
- $MH_x = LaNi_5H_6$ ali TiH_6

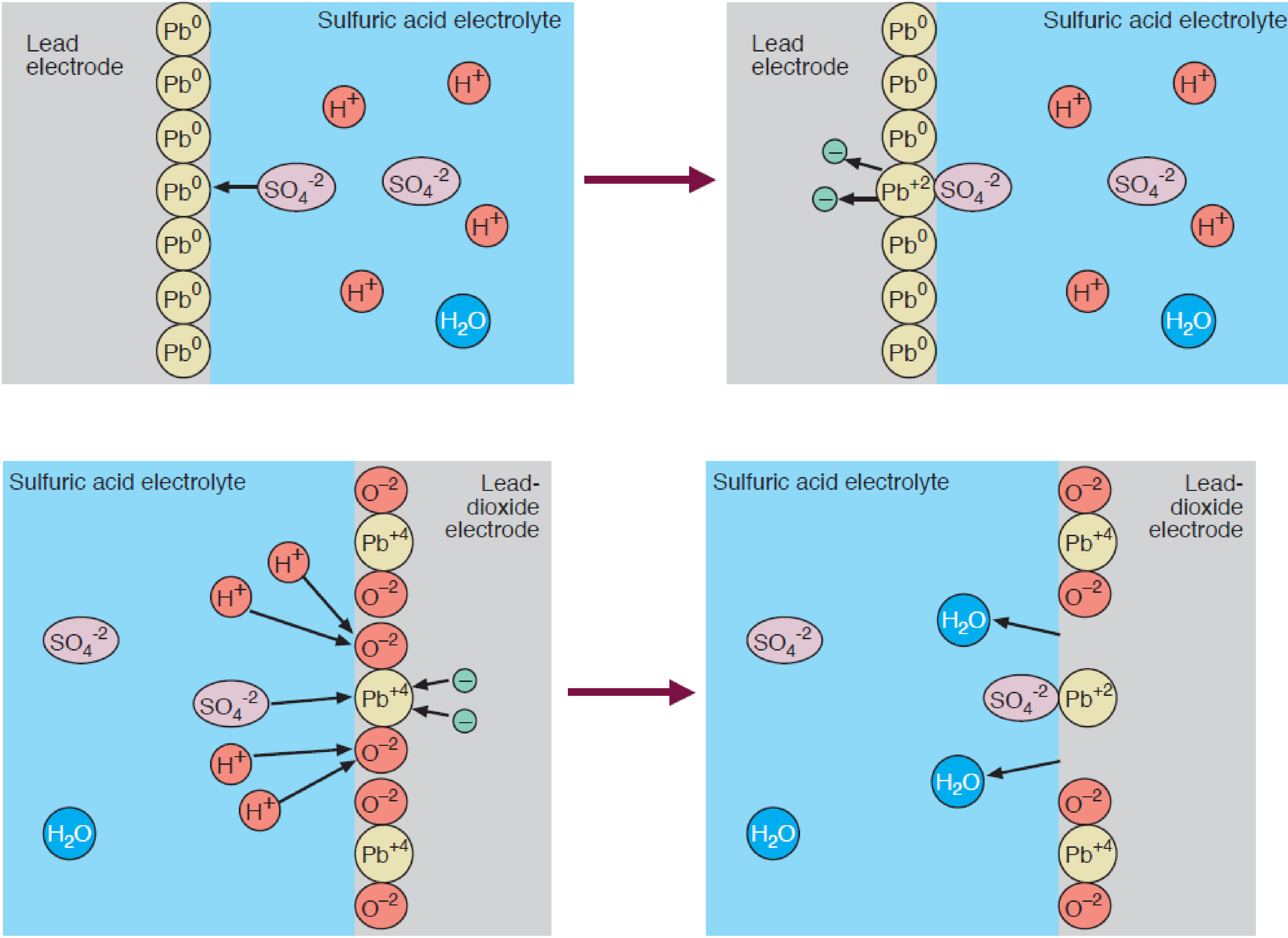
Svinčev akumulator

$E°_{Cell} = 2.0$ V

- Anoda: $Pb(s) + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_{4\,(s)} + 2\,e^-$
- Katoda: $PbO_{2\,(s)} + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightarrow PbSO_{4\,(s)} + 2\,H_2O$

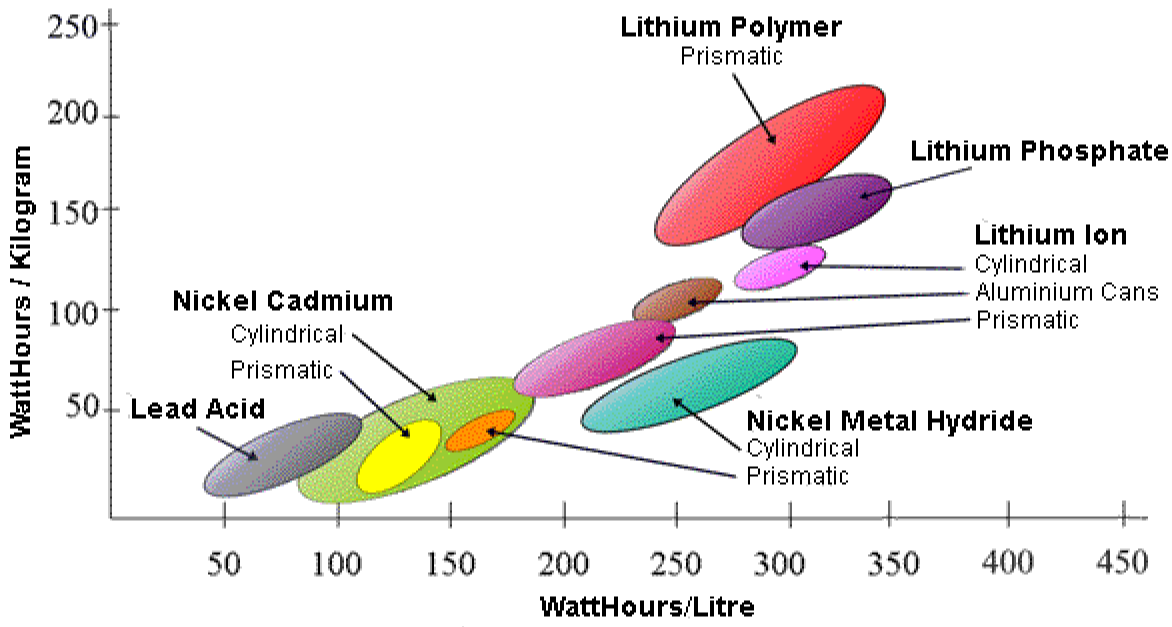
$PbO_{2\,(s)} + Pb(s) + 2H_2SO_4 \rightarrow PbSO_{4\,(s)} + 2\,H_2O$




Lead electrode
Sulfuric acid electrolyte
Pb0
SO4-2
H+
H2O
Pb+2
Lead electrode
Sulfuric acid electrolyte
Sulfuric acid electrolyte
Lead-dioxide electrode
O-2
Pb+4
Sulfuric acid electrolyte
Lead-dioxide electrode

Razvoj akumulatorjev

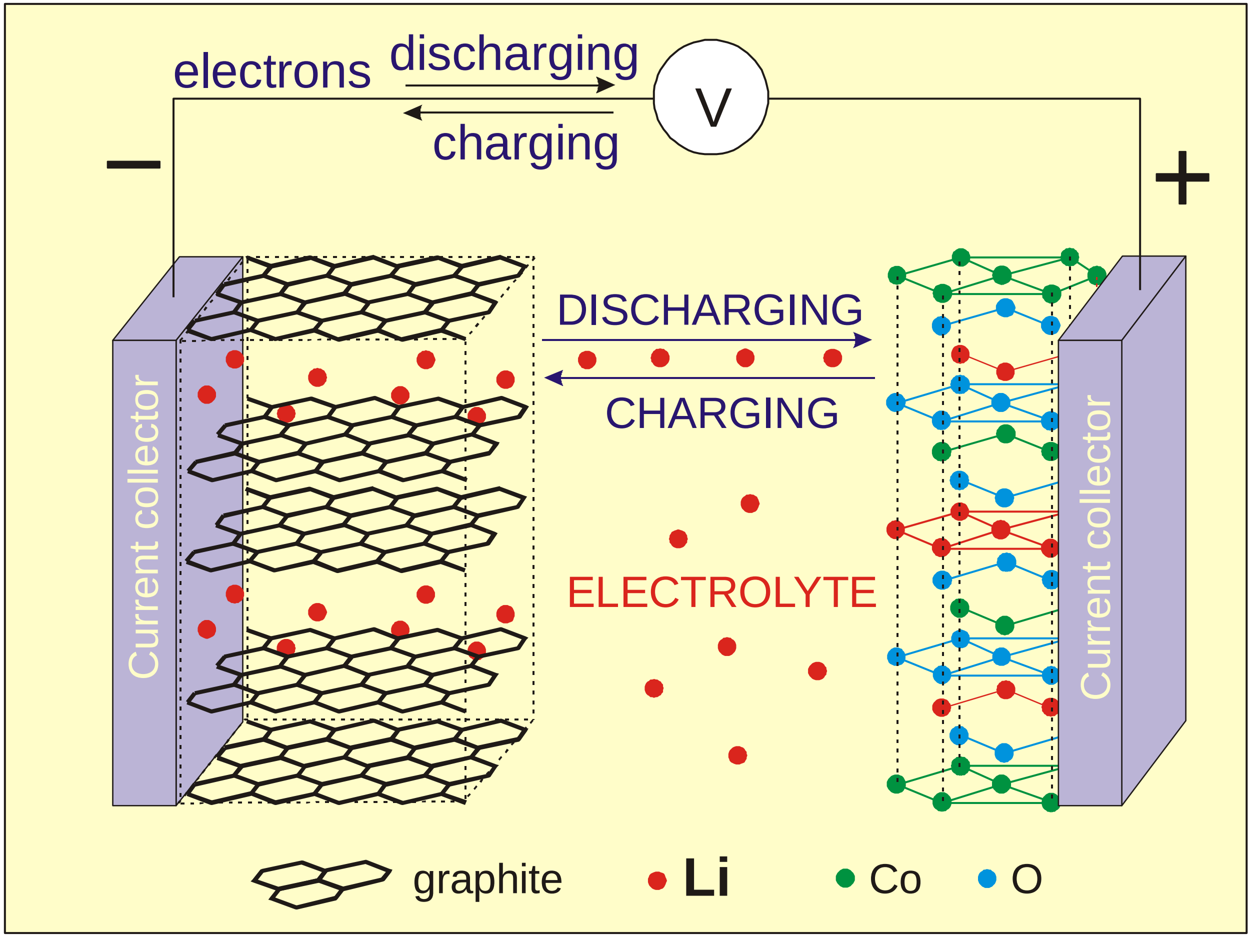
Manjša
masa



Manjši
volumen

-svinčev (1859)
-nikelj-kadmijev (1899)
-natrij-žveplo (1967)
-metal-hidridni (1990)
-litijevi ionski (1991)

Litijeva baterija I



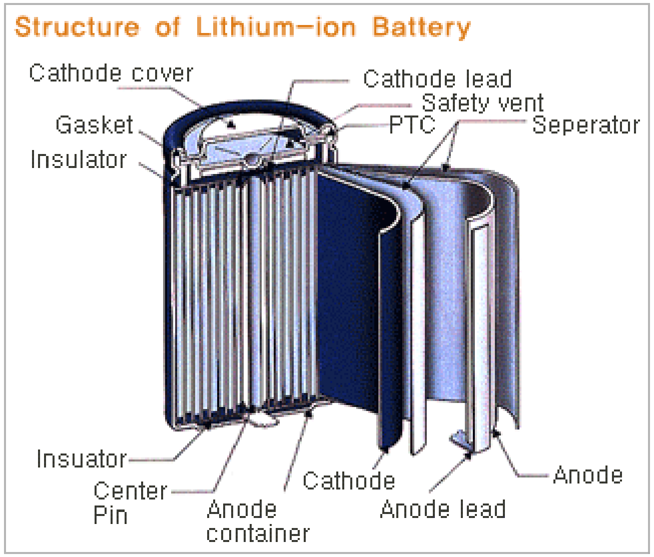
Anoda:

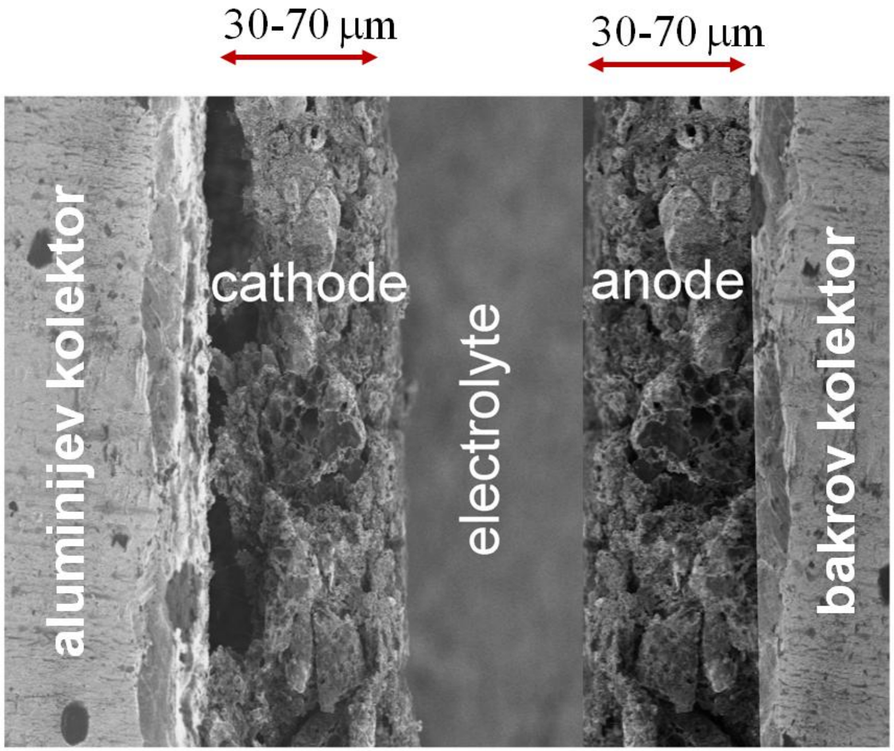
$C_6 + xLi^+ + xe^- \leftrightarrow Li_xC_6$

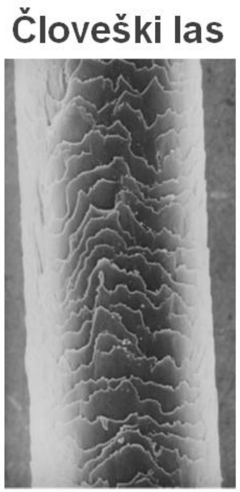
Katoda:

$LiCoO_2 \leftrightarrow Li_xCoO_2 + (1\text{-}x)\ Li^+ + (1\text{-}x)e^-$

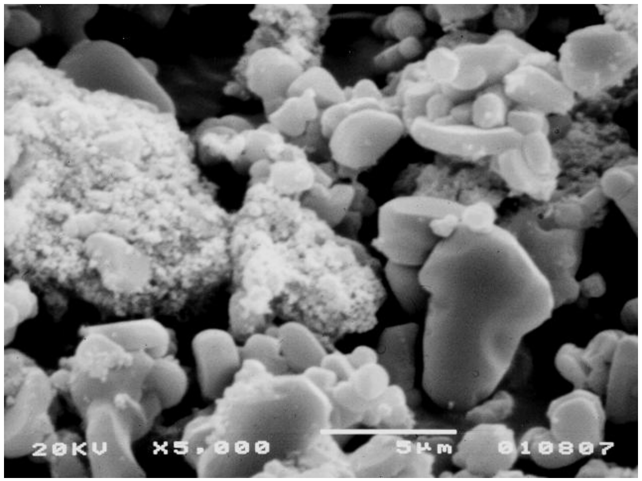
Litijeva baterija II

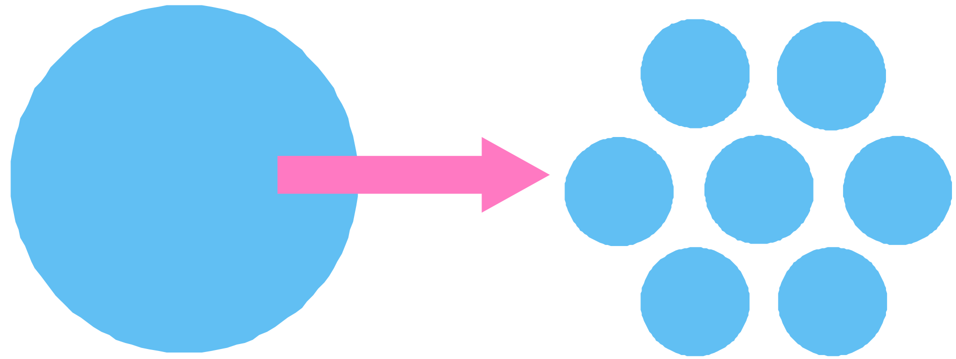


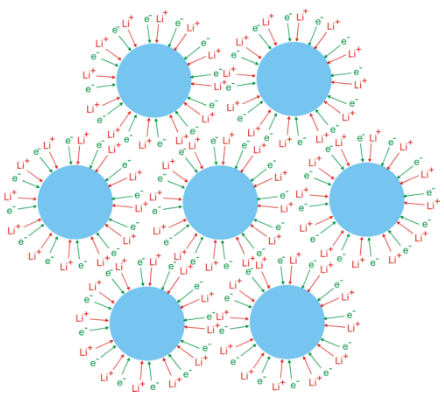


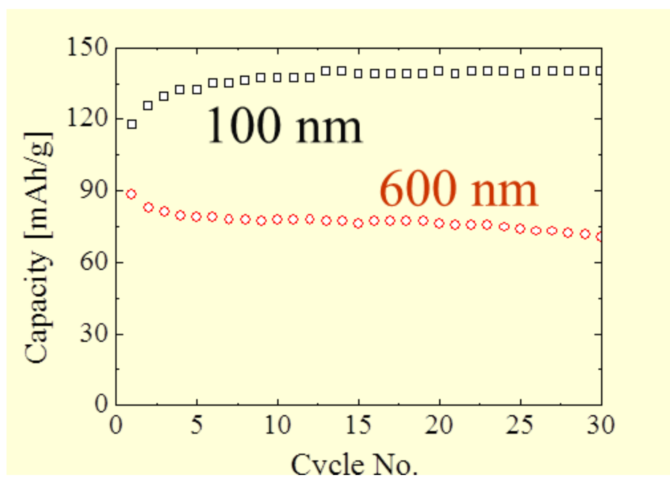


Litijeva baterija III

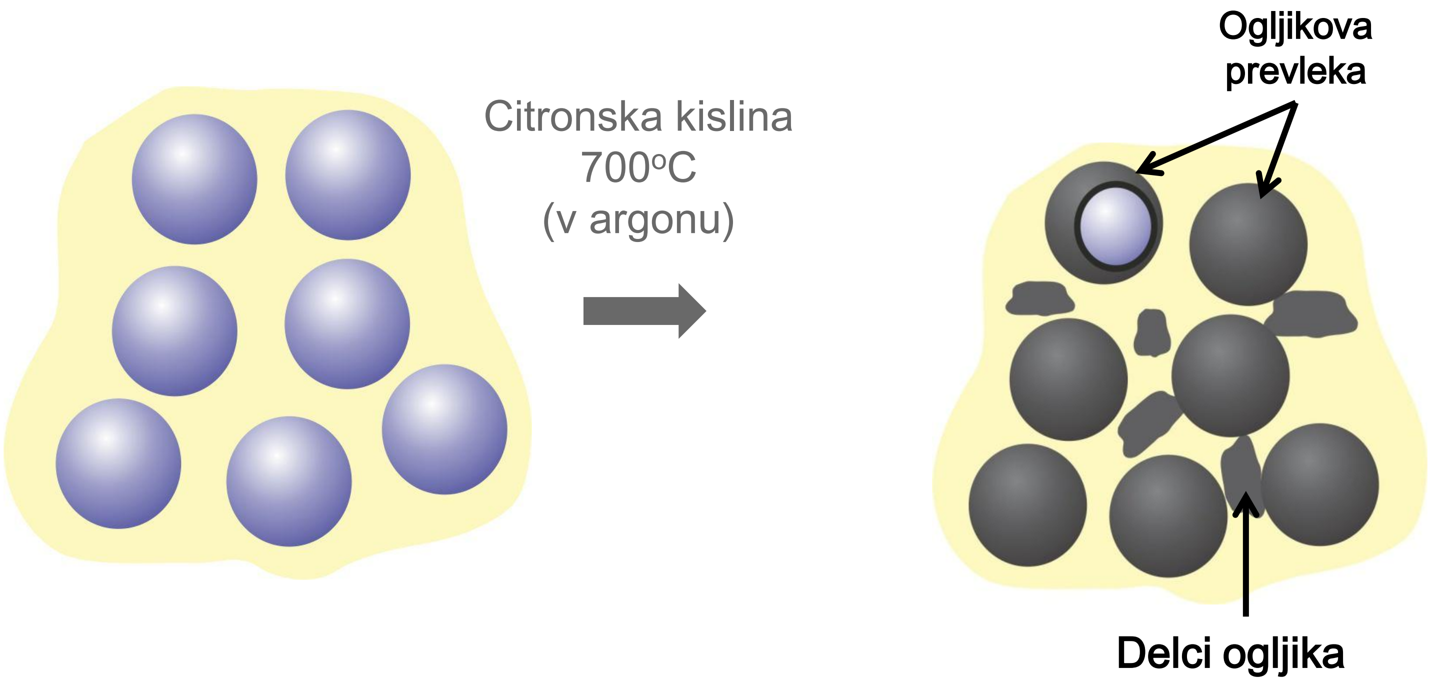


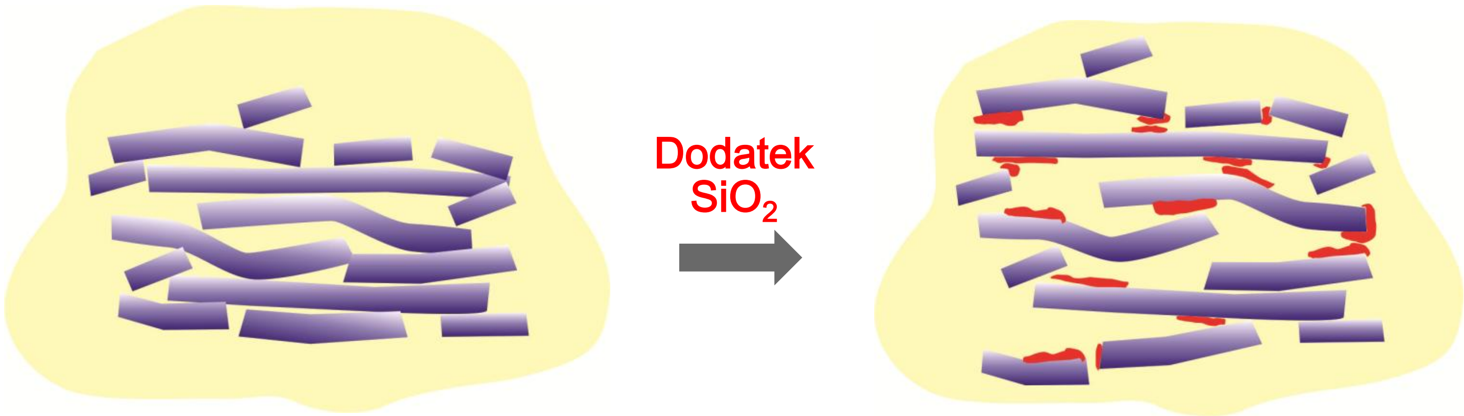






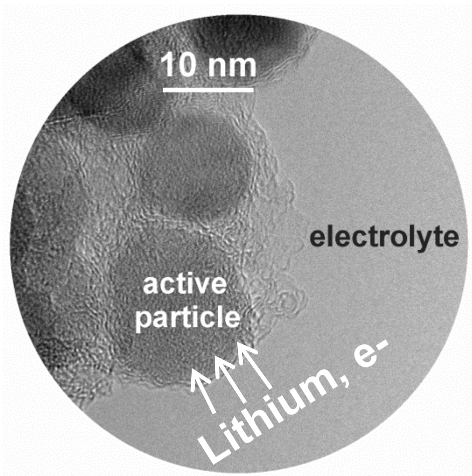
Litijeva baterija IV

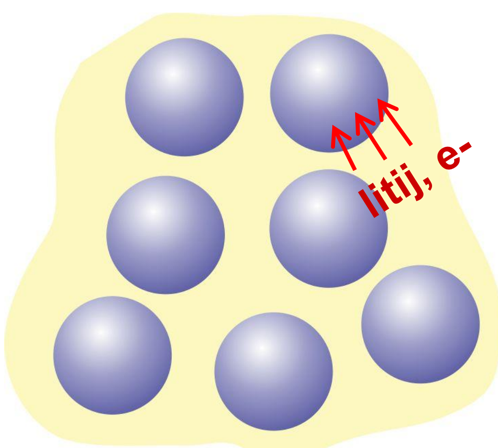




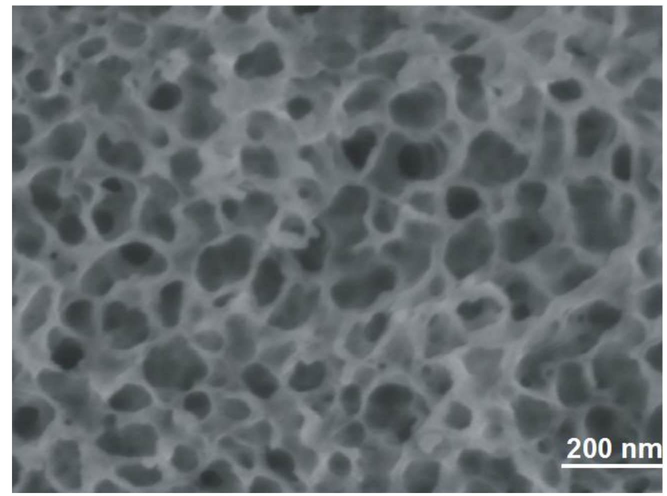
Litijeva baterija V

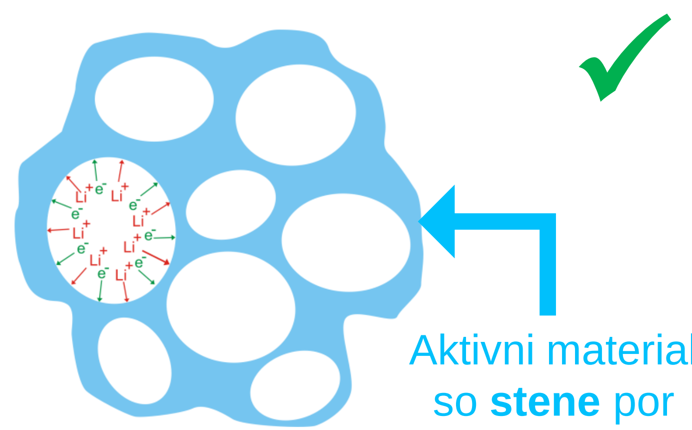
Nanodelci





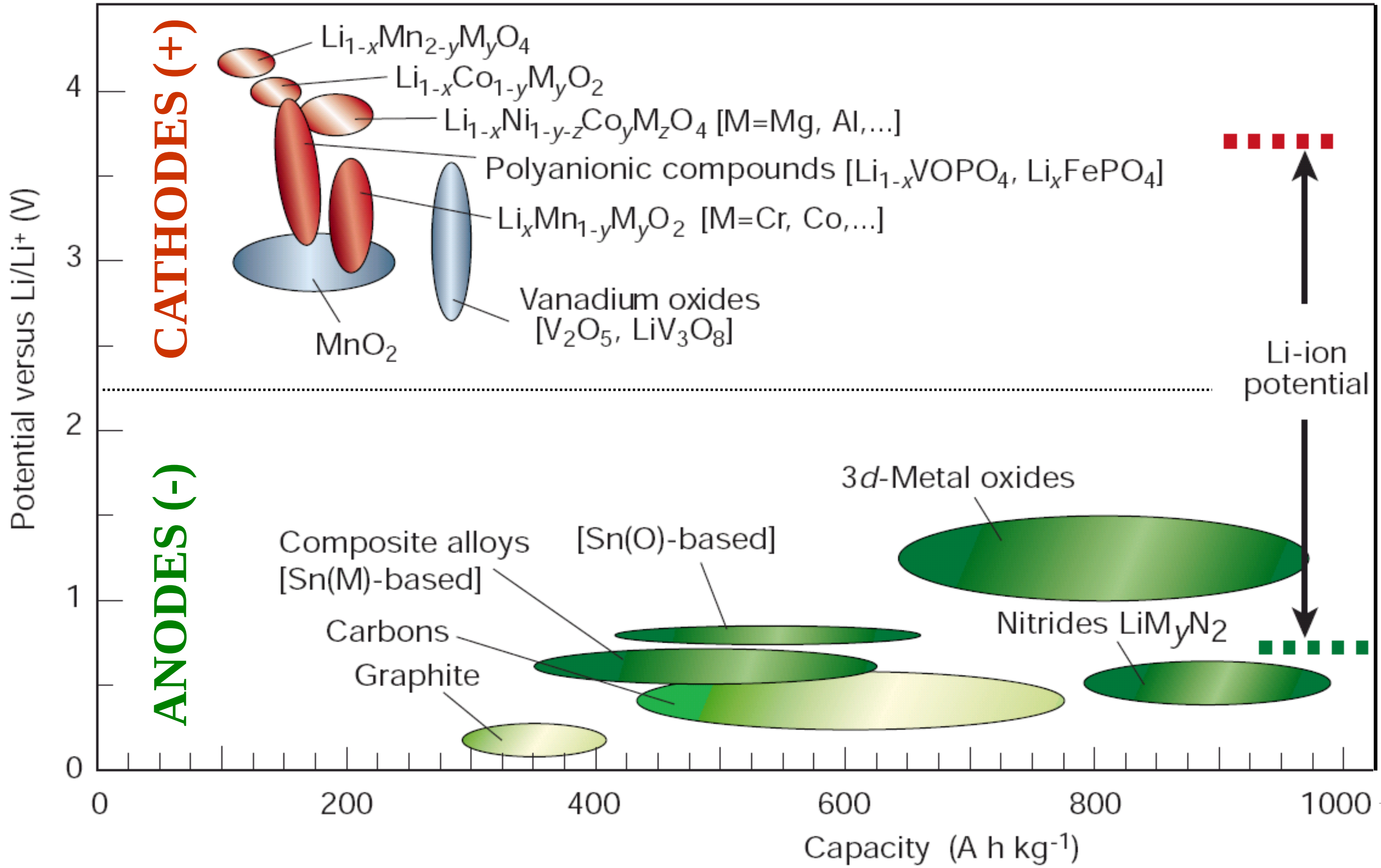
Porozni material



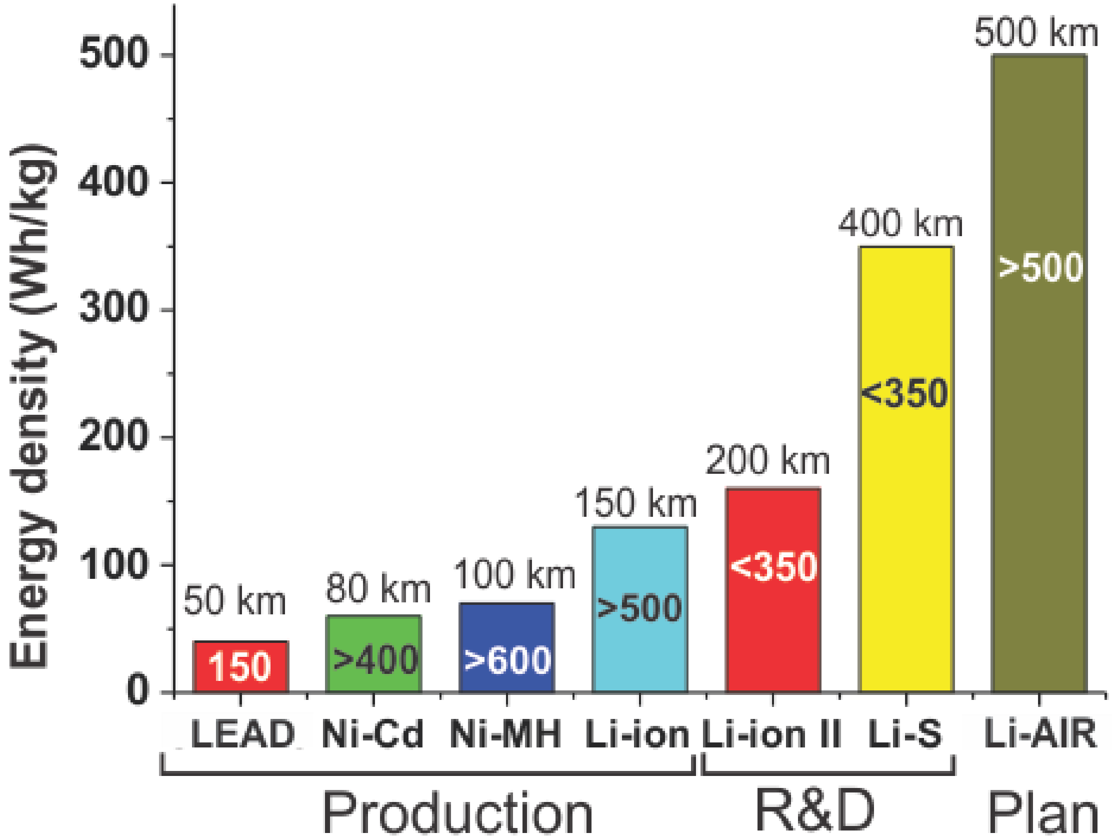


Litijeva baterija VI

Kombinacij anoda-katoda je zelo veliko



Prihodnost



Legenda

Max. število km električnega avtomobila z 200-kg baterijo

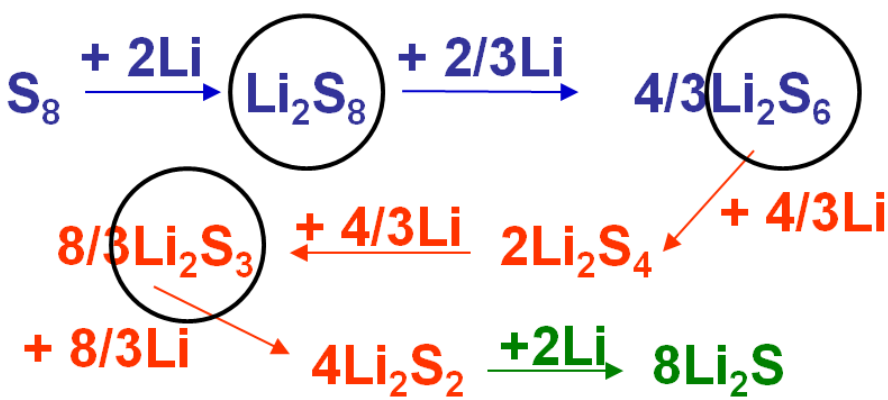
150 km

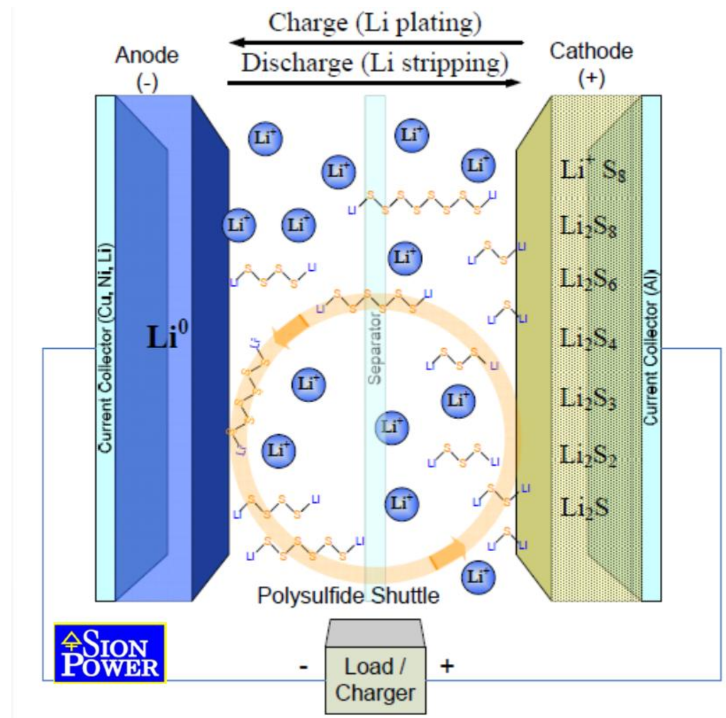
< 400

Cena baterije (EUR / kWh)

Problemi Li-žveplo baterij

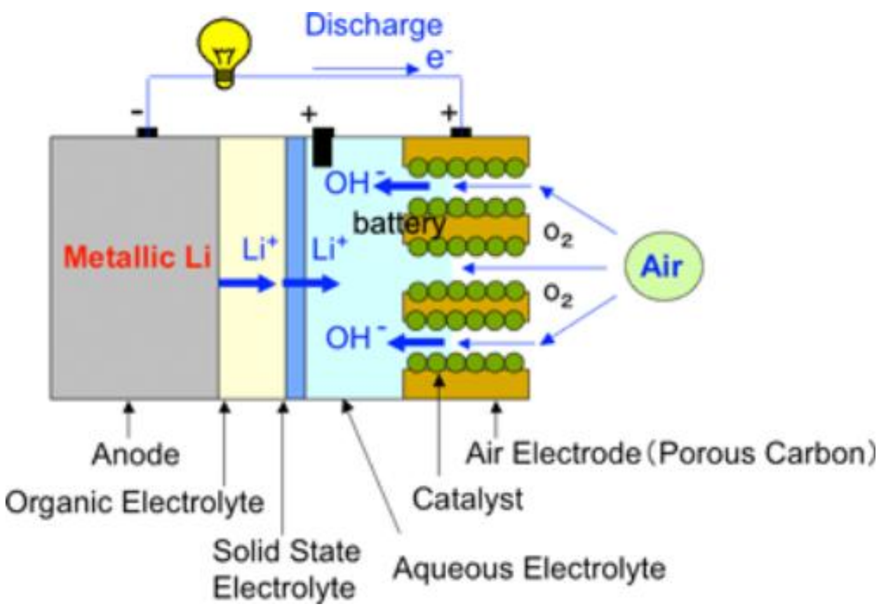
- Nizka električna prevodnost žvepla: možni problemi pri doseganju dovolj velike električne moči;
- Topnost sulfidov pomembno zmanjšuje kapaciteto in stabilnost delovanja teh baterij.





Problemi Li-zrak baterij

- Tvorba superoksida (prostega radikala); slednji je preveč reaktiven v baterijskem okolju
- Za delovanje je potrebna membrana, ki bo ločila kovinski litij od katode na osnovi kisika



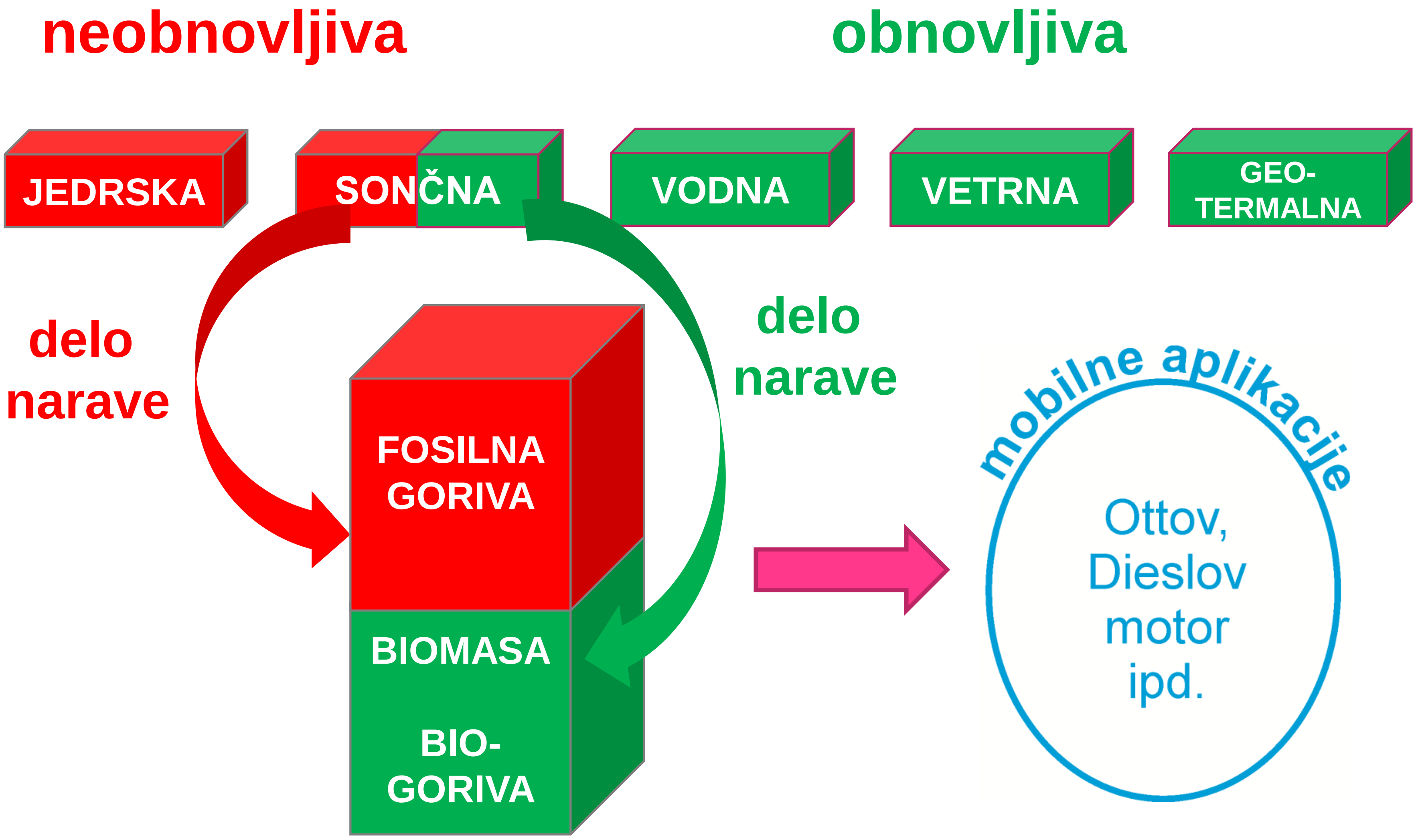
Sistemi za shranjevanje energije - Tehnologija vodika -

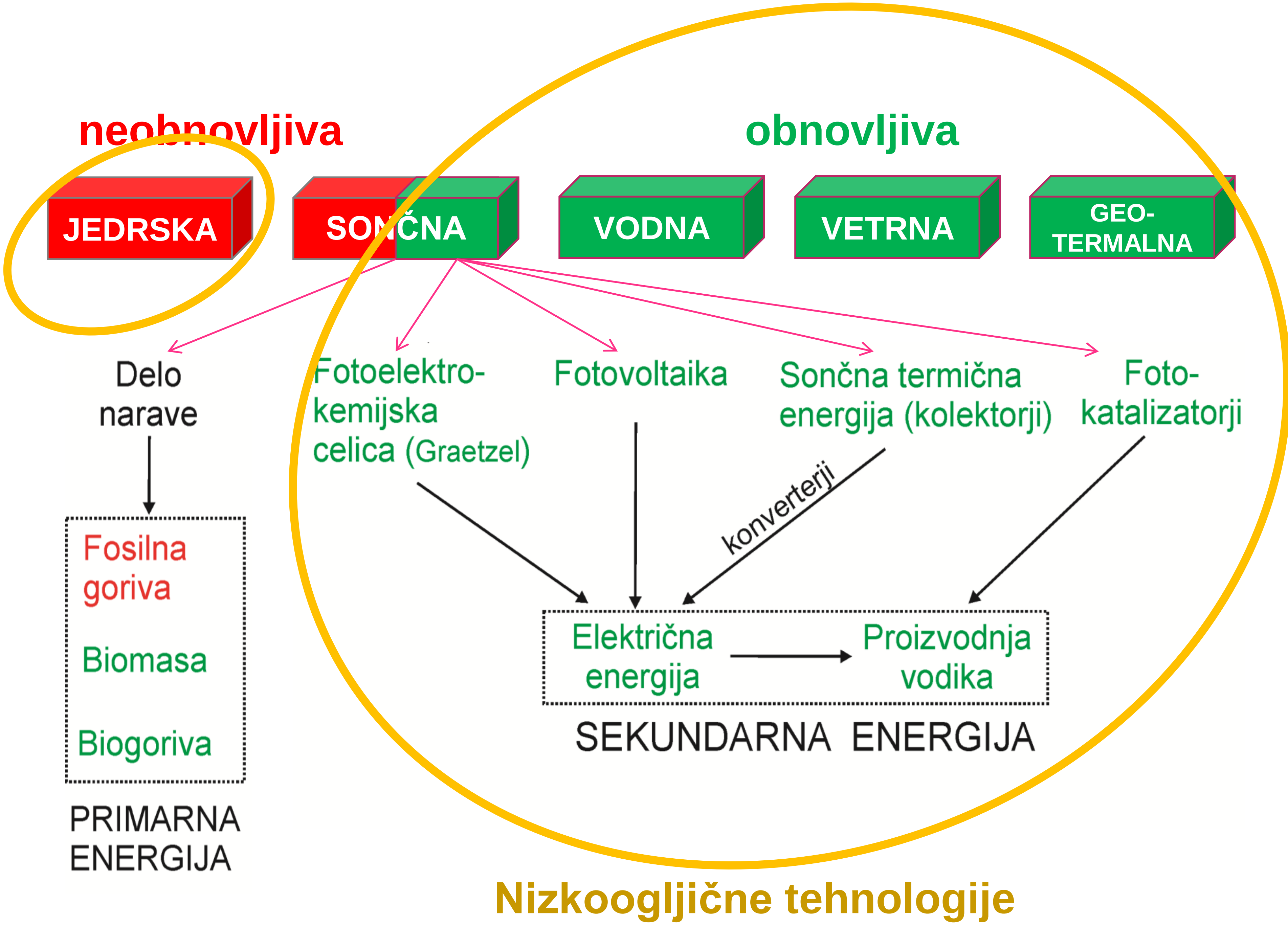
Sodobni materiali

Seminar

V

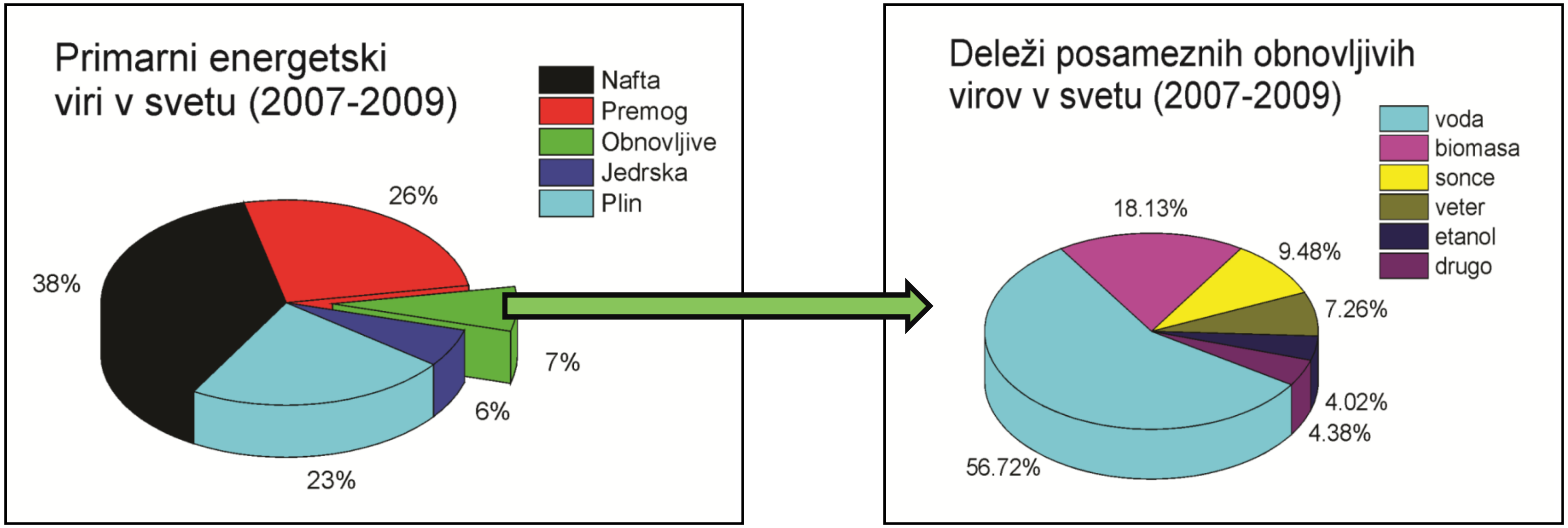
Primarna energija




neobnovljiva
obnovljiva
JEDRSKA
SONČNA
VODNA
VETRNA
GEO-TERMALNA
Delo narave
Fotoelektro-kemijska celica (Graetzel)
Fotovoltaika
Sončna termična energija (kolektorji)
Foto-katalizatorji
Fosilna goriva
Biomasa
Biogoriva
PRIMARNA ENERGIJA
konverterji
Električna energija
Proizvodnja vodika
SEKUNDARNA ENERGIJA
Nizkoogljične tehnologije

Razpoložljivost in uporaba obnovljivih virov

RAZPOLOŽLJIVA ENERGIJA NA LETNI RAVNI	Eksajouli (10^{18} J)
Energija sonca, ki doseže Zemljo	3 850 000
Energija vetra na Zemlji	2 200
Energija vse biomase	3 000
Električna energija	60
Trenutna poraba človeštva	500

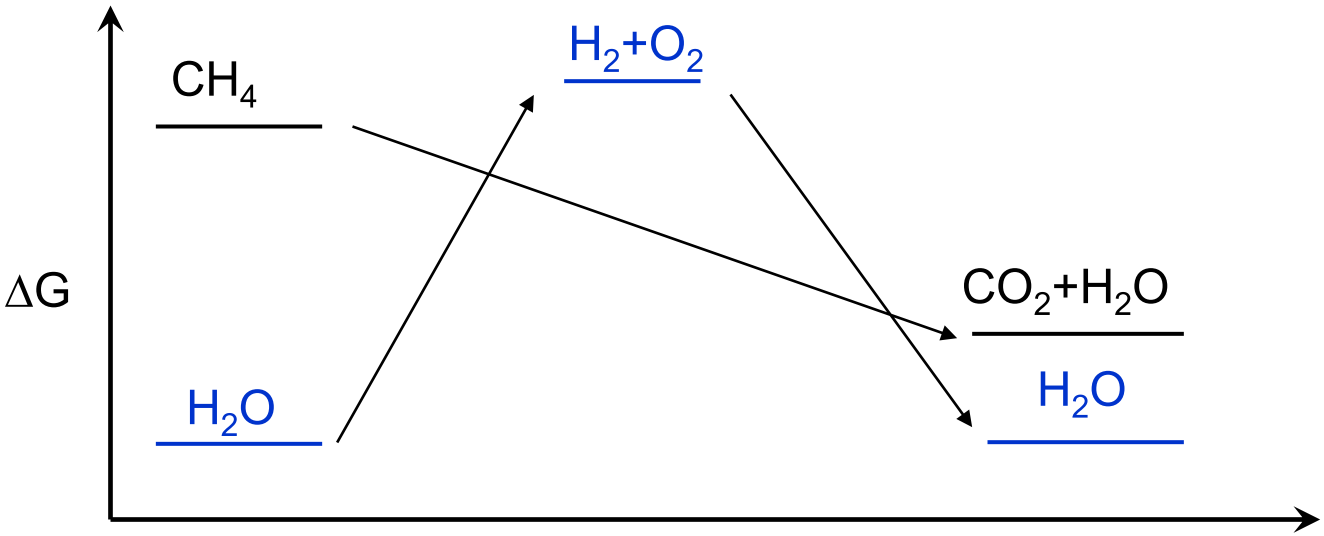


Ekonomija vodika

Ekonomija vodika je izraz, ki predstavlja popoln ekonomsko vzdržen sistem proizvodnje, shranjevanja, transporta, distribucije in potrošnje vodika za energetske namene, neodvisno od fosilnih goriv.

Ekonomija vodika je osnova za

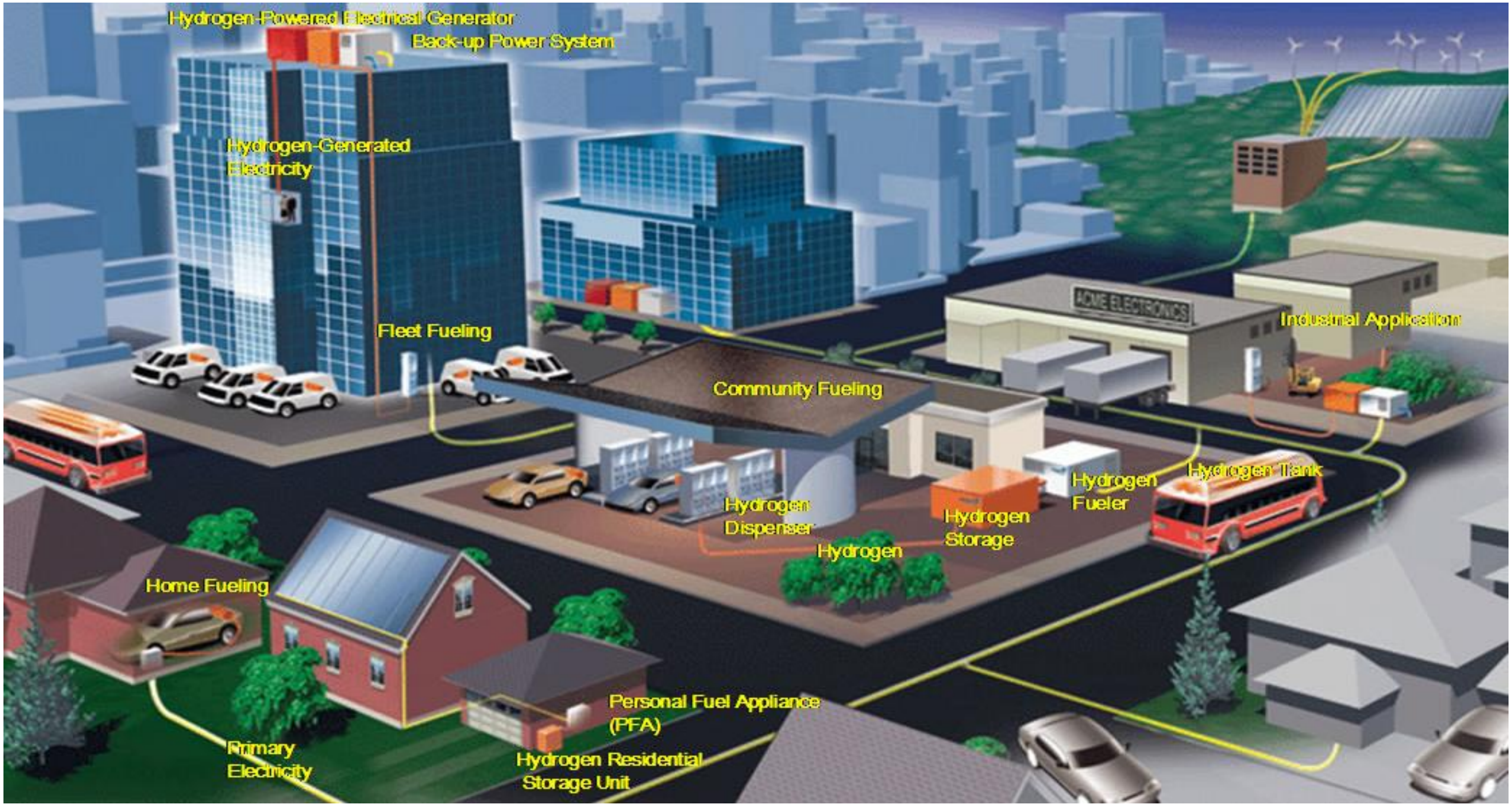
- popolnoma čist energetski cikel,
- decentraliziranje proizvodnje energentov,
- mobilni vir energije,
- energetsko neodvisnost.



Islandija

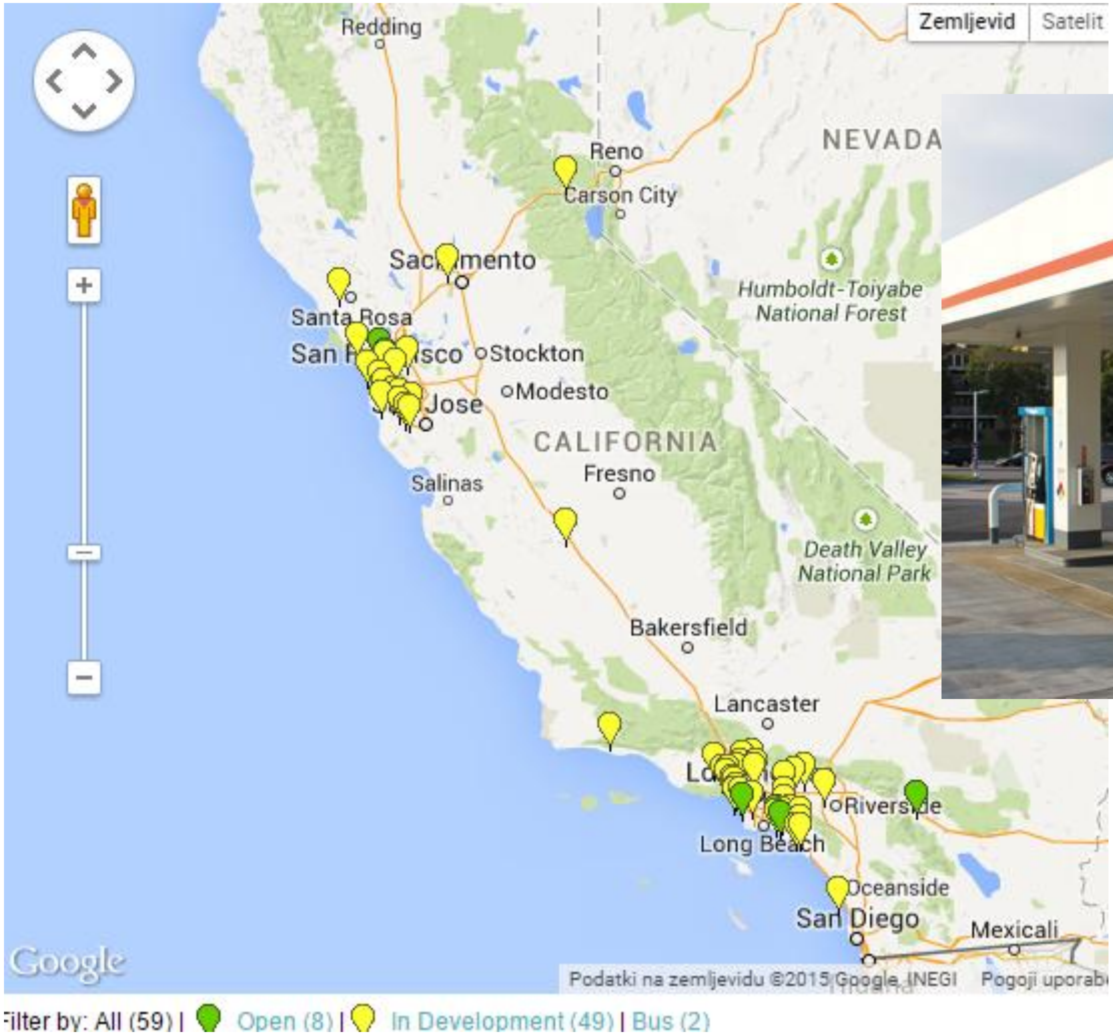

HYDROGEN PIPELINES
FUEL CELLS
GAS TURBINES
HYDROGEN
HYDROGEN
NATURAL GAS PIPELINE
ELECTRICITY
CO_2
GEOLOGICAL STORAGE

Hong Kong



Hydrogen-Powered Electrical Generator
Back-up Power System
Hydrogen-Generated Electricity
Fleet Fueling
Community Fueling
Industrial Application
Hydrogen Tank
Hydrogen Fueler
Hydrogen Storage
Hydrogen Dispenser
Hydrogen
Home Fueling
Personal Fuel Appliance (PFA)
Hydrogen Residential Storage Unit
Primary Electricity

Kalifornija



Problemi z vodikom

- Ne obstaja prost v naravi ampak kemijsko vezan na kisik ali ogljik
- Proizvodnja je energetsko zelo potratna
- 90% proizvodnje s parnim reformingom CH – veliko emisije CO_2
- Vodik je eksploziven – varnostni in družbeni problem
- Vodik gori z UV plamenom, plamena ne vidimo – varnostni problem
- Vodik je zelo difuziven – problem dolgoročnega skladiščenja

- Uvajanje vodikov tehnologij je počasno
- Trenutne vodikove tehnologije so drage

Tehnologija

Proizvodnja vodika

Shranjevanje
Stiskanje, utekočinjanje, shranjevanje v trdninah

Transport
cevovodi, cesta, železnica morje

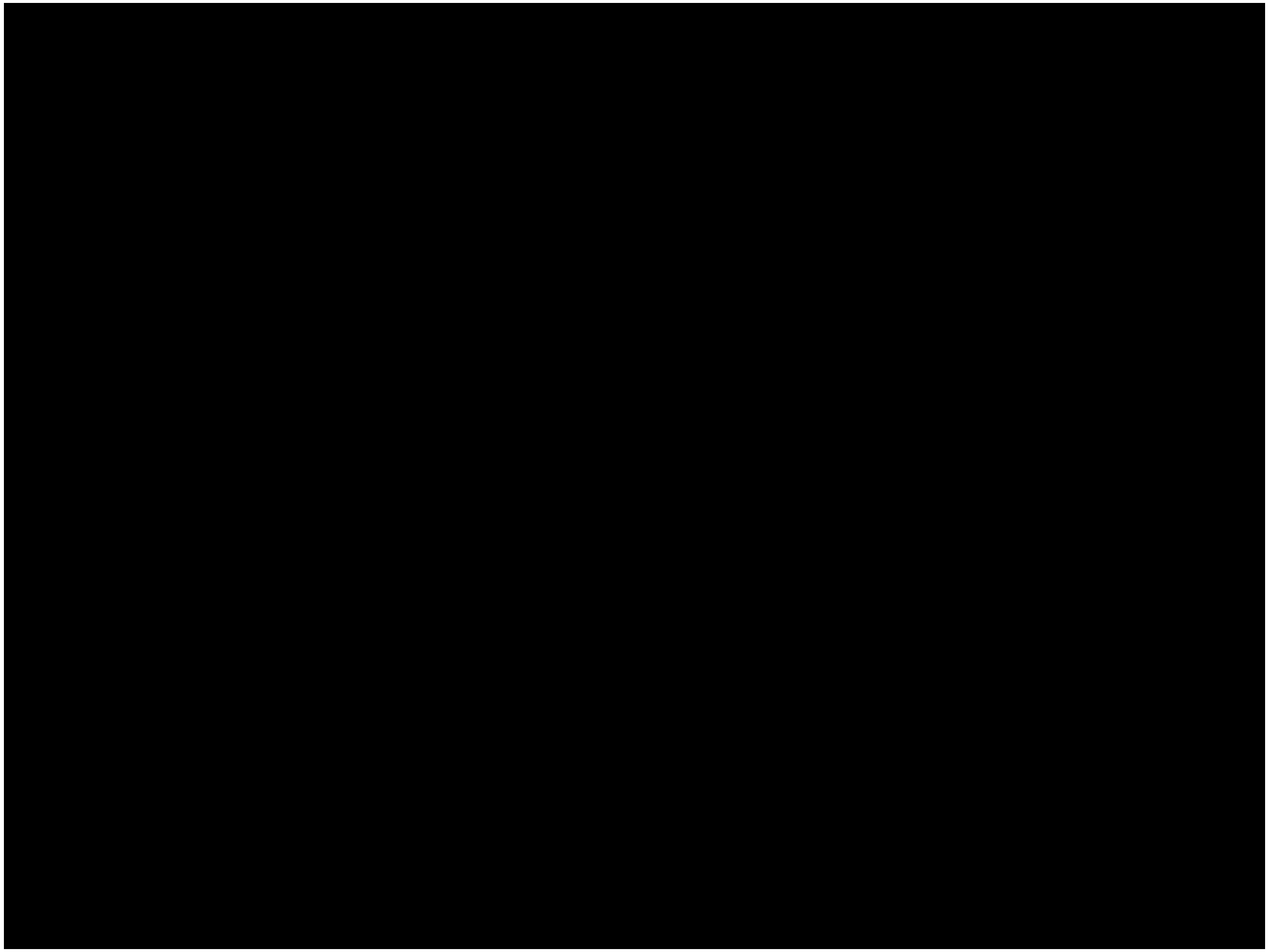
Skladiščenje
Tlačni in kriogeni tanki

Distribucija
Industrijski sistemi, hišna distribucija, promet

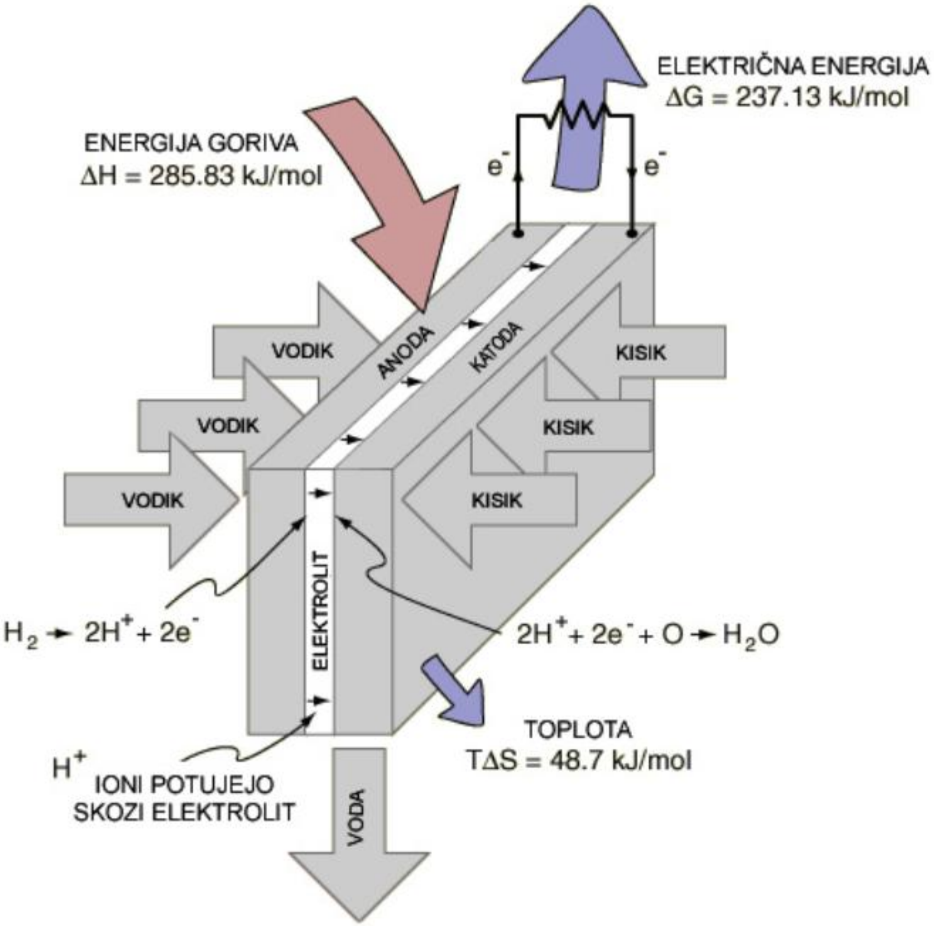
Uporaba vodika

VARNOST

Konverzija vodika – kemijska reakcija

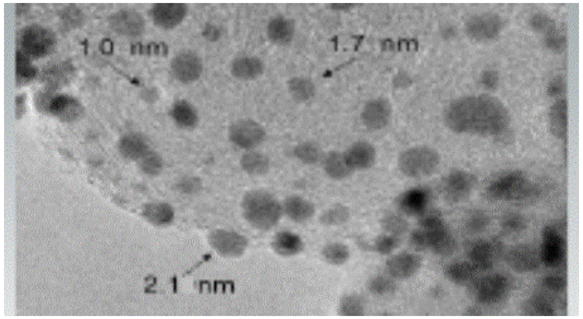


Konverzija vodika – gorivna celica



Najbolj racionalna uporaba vodika je direktna pretvorba v električno energijo v **gorivnih celicah.**

Gorivna celica je elektrokemijski motor in ima zato lahko veliko višje izkoristke kot toplotni stroji.

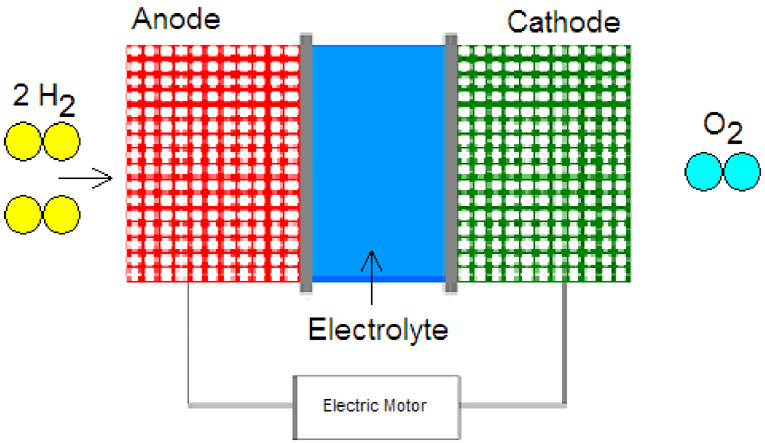


Nanostrukturirana anoda gorivne celice

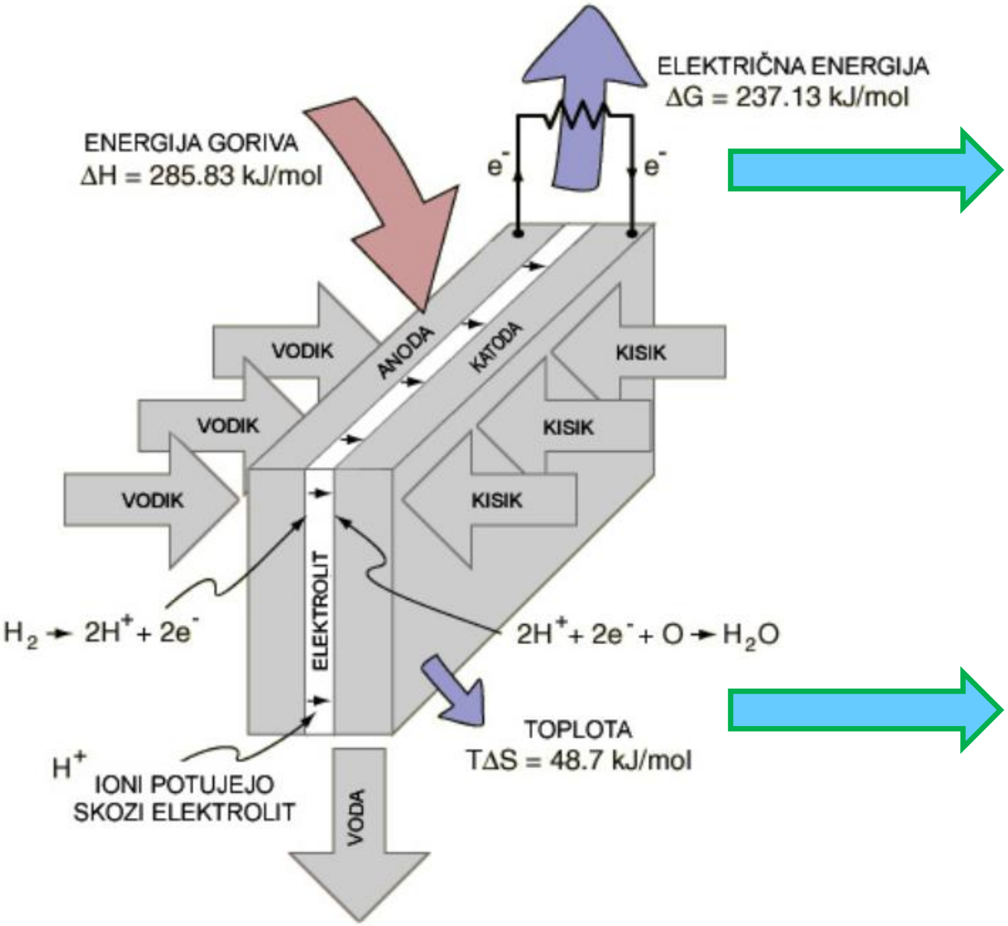
Konverzija vodika – gorivna celica

- Gorivna celica z membrano, ki izmenjuje protone (PEM FC)
- Visokotemperaturna gorivna celica na trdne okside (SOFC)
- Gorivna celica s staljenim karbonatom (MCFC)
- Alkalna gorivna celica
- Gorivna celica na metanol ali etanol
- Fosforna gorivna celica

… skupno najmanj 20 vrst



Konverzija vodika – gorivna celica



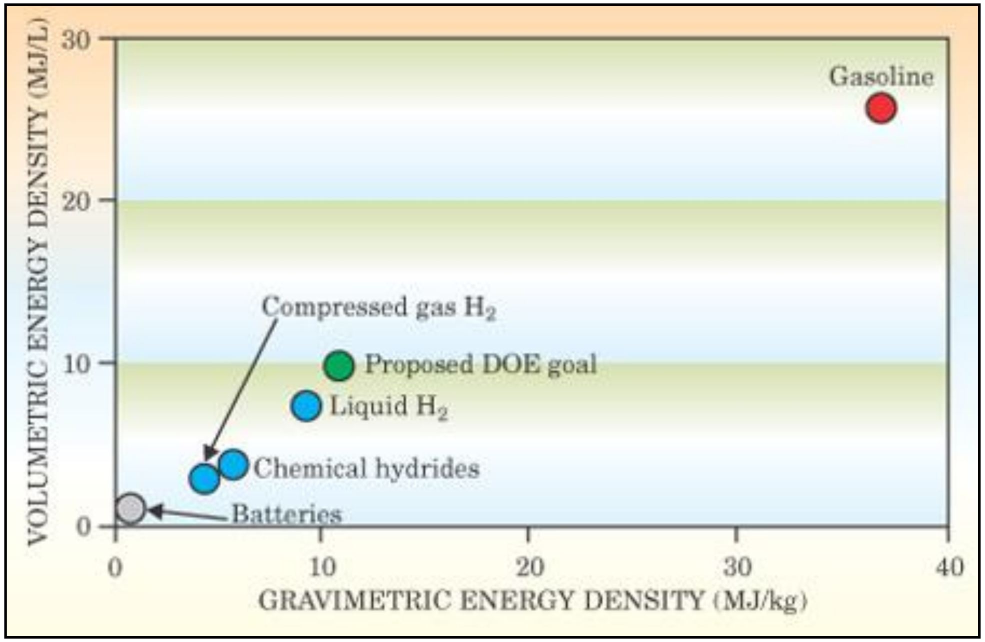
Izkoristek od 40 do 60 %

Ob izrabi toplote do 85 %

Shranjevanje vodika

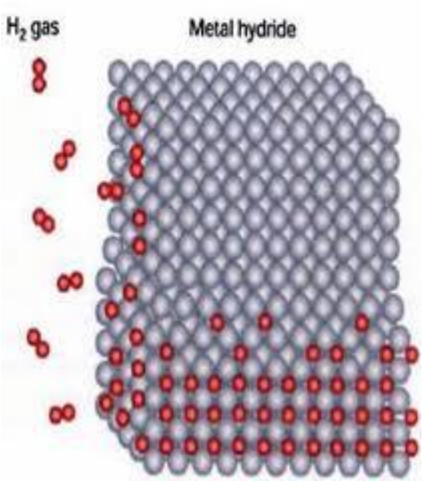
Shranjevanje vodika je eden večjih tehnoloških problemov

- H_2 ima nizko energetsko gostoto
  - potrebuje velike posode za shranjevanje
- H_2 se lahko shranjuje stisnjen
  - potrebujemo težke in močne posode
- H_2 se lahko utekočini
  - vrelišče pri 20K
  - potrebuje zelo dobro izolirane posod
- Za stiskanje in utekočinjenje rabimo veliko energije



Shranjevanje vodika

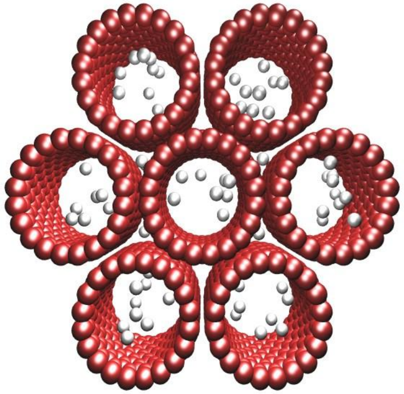
- Absorpcija/desorpcija vodika v
  - kovinskih hidridih (~ 40kg/m^3)
  - zeolitih – razvoju (cilj >60 kg/m^3)
  - ogljikovin nanocevkah – v razvoju (cilj >60 kg/m^3)

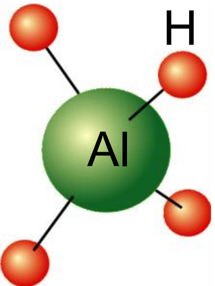


- Kemijska vezava vodika (~ 50kg/m^3)
  (Vezava vodika v kovinske hidride in sproščanje s pomočjo kemijske reakcije)

  - reakcija z vodo: LiH, NaH, CaH_2, $LiAlH_4$, $LiBH_4$, and $NaBH_4$

$$LiH + H_2O \rightarrow LiOH + H_2$$

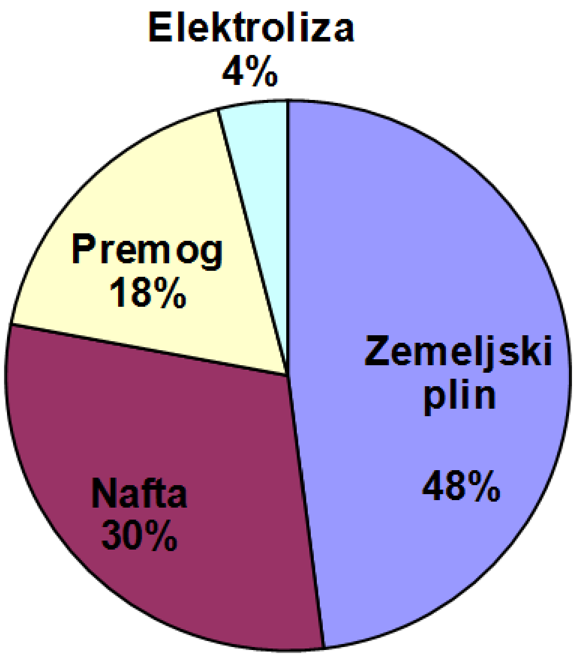




- Termični razkroj. MgH_2, TiH_2

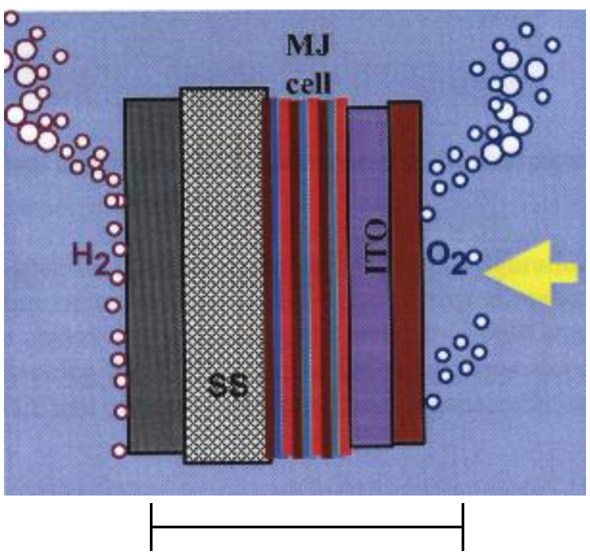
Proizvodnja vodika

- Sedanja proizvodnja vodika
  - 48% zemeljski plin
  - 30% nafta
  - 18% premog
  - 4% elektroliza
- Svetovna proizvodnja
  - 50 milijonov ton / leto
  - rast 10% / leto



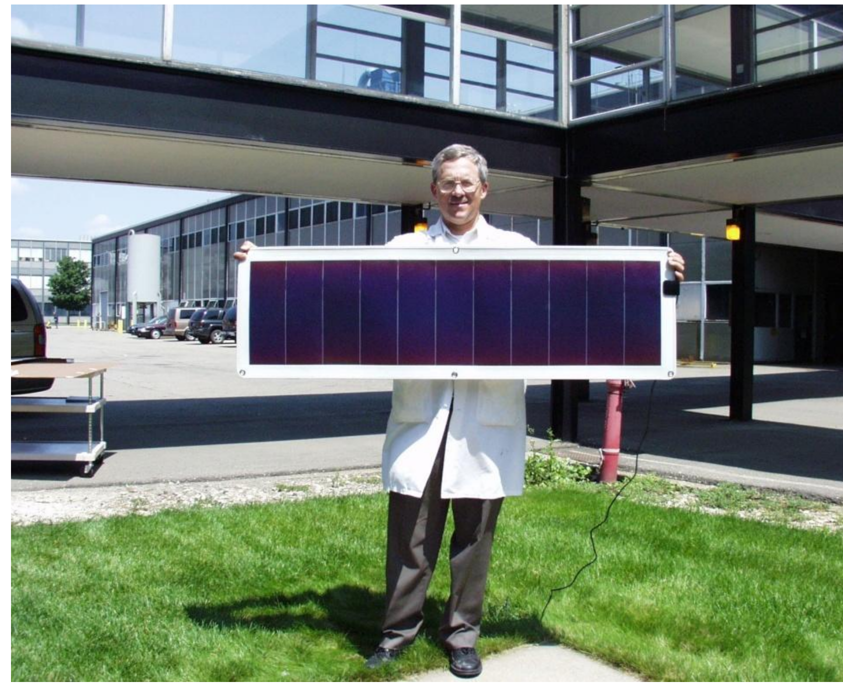
Proizvodnja vodika – trajnostni pristop

Tandemske celice
Princip: integracija fotovoltaične celice in elektrolizatorja



Sonce

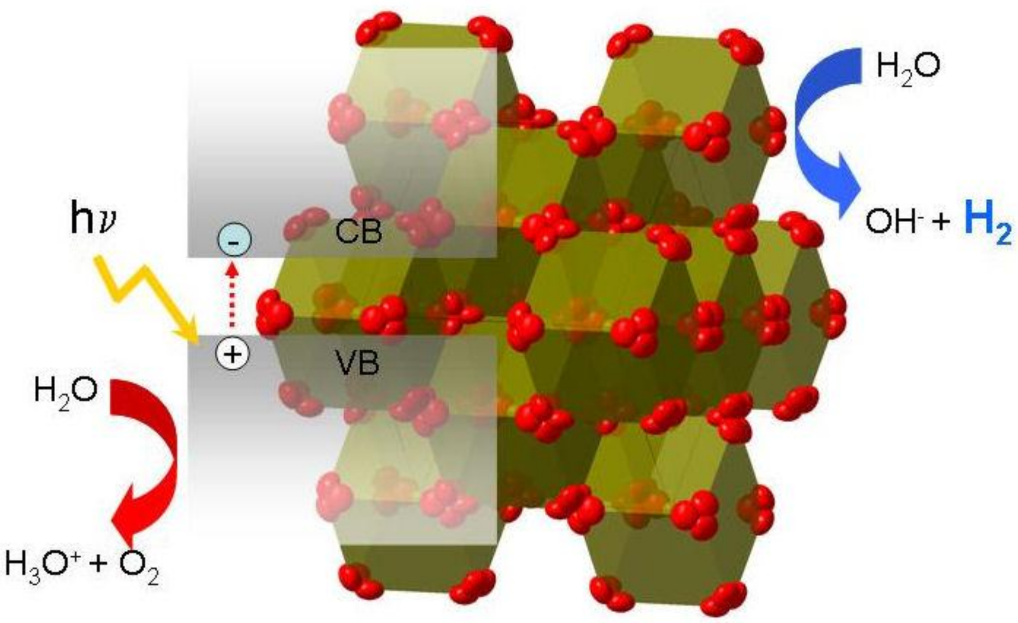
150 µm



Najnovejše tandemske celice lahko pretvorijo 8% sončne svetlobe v vodik

Proizvodnja vodika – trajnostni pristop

Fotokatalitska cepitev vode



- Svetloba se absorbira v materialu
- Foton vzbudi elektron preko prevodnega pasu
- Tvorita se reaktivni zvrsti, eksitona – elektron in elektronska luknja
- Eksitona potujeta na površino delca
- Na površini lahko cepita vodo

$2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H$

$O^{2-} + 2h^+ \rightarrow O$

Proizvodnja vodika – trajnostni pristop

Osnovni problemi fotokatalize

- Stabilni materiali, ki lahko cepijo vodo, nezadostno absorbirajo svetlobo
- Materiali, ki učinkovito absorbirajo sončno svetlobo imajo težave s:
  - Fotokorozijo
  - Energetsko neprimerno pozicijo elektronskih pasov
  - Rekombinacijo / nizko prevodnostjo

Izgleda, da je to problem, ki se nanaša na razvoj materialov, in se ne pojavlja zaradi bazičnih fizikalnih omejitev.

Na Univerzi v Novi Gorici uporabljamo naše izkušnje iz anorganske sinteze in fotokatalize za doseganje sledečega cilja:

Razviti nov tip fotokatalizatorja, ki bo imel boljši kvantni izkoristek in boljšo odpornost proti fotokoroziji.

Kje smo?

Uporaba:

Vesoljske rakete, bolnišnice, šole, pisarne, vojašnice, avtomobili

Tipi: prenosne, stacionarne, pomožni agregati

Tipične moči: 1 – 250 kW

Približno število: 2600

Honda Clarity

- Cena: 110 000 Eur?
- Cca. 200 primerkov

2015 – predvideni komercialni avtomobili:
Toyota, Mercedes, Hyundai (cena: 50 000 EUR?)