

*

Leta 1839, je Anglež Sir William Robert Grove uspel prikazati, da je elektroliza vode v razredčeni žvepleni kislini reverzibilni proces. Z uporabo vodika in kisika ob primerni metodi nastaja električna energija.

Okoli sto let kasneje se je ukvarjal z razvojem celice Anglež Francis Thomas Bacon. Uporabil je bazični elektrolit KOH namesto kislega in s tem zmanjšal korozijo na elektrodah. Bacon-ovo celico so sestavljale porozne (plinsko difuzijske) elektrode.



Ena od prvih predstavitev je bil iz leta 1959 Allis-Chalmers traktor poganjan s skupkom 1008 celic. Z močjo 15.000 W je traktor generalno dovolj moči za vleko 1.500 kg tovora. Traktor so kasneje donirali muzeju Smitsonian, Allis-Chalmers pa je ohranjal razvojni program še nekaj let in naredil gorivne celice za pogon vozila na golf igriščih, podmornico in viličarja. V projektu je sodelovala tudi U.S. Air Force.



Primerjava toplotnega stroja in gorivne celice

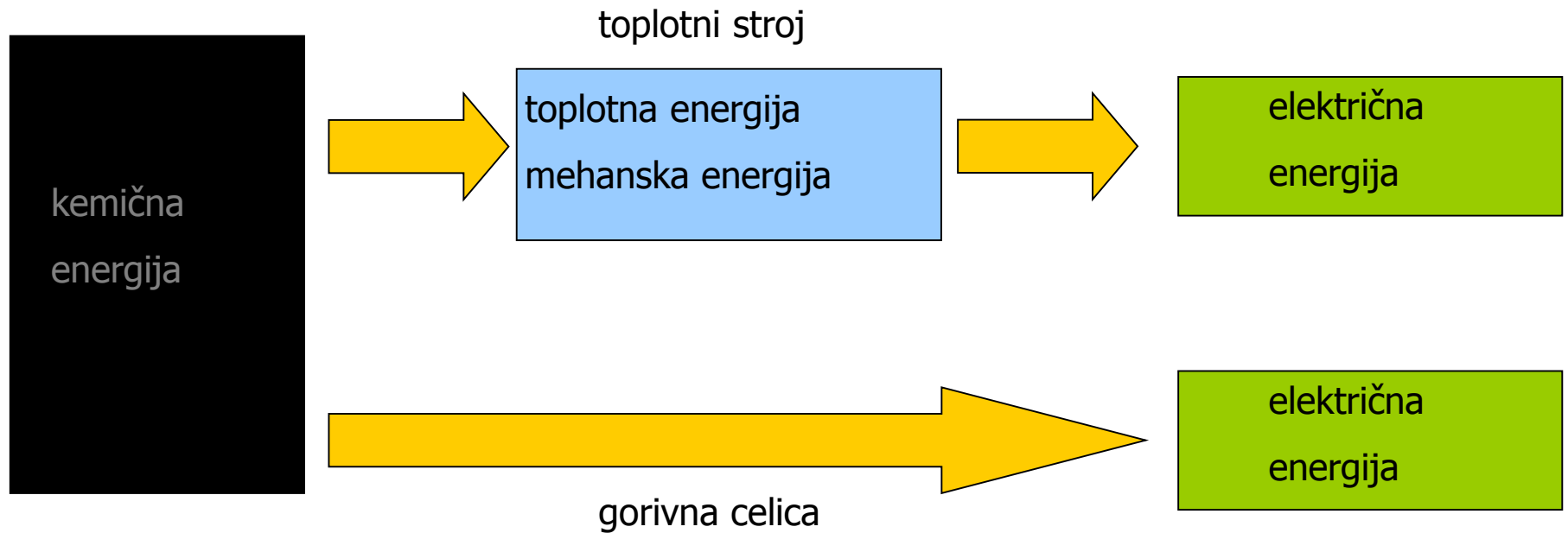
Klasična pretvorba kemične energije goriva v električno je trenutno bazirana z uporabo toplotnega stroja. *

Teoretični energetski izkoristek je določen s Carnot-ovim faktorjem:

$$\eta^c_{\max} = \frac{\text{ustvarjena energija}}{\text{vhodna toplota}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100(\%)$$

Izkoristki se gibljejo med 30 in 40 %, pri novejših zelo izpopolnjenih napravah med 55 in 60 %.

Poti za pretvorbo energije:



V gorivni celici pa se gorivo kontinuirno dovaja v celico podobno kot pri motorju z notranjim zgorevanjem. Energetsko razmerje je v primeru gorivne celice podano z naslednjo enačbo:

$$\eta^{BZ} = \frac{\text{Proizvedena energija}}{\Delta H} \times 100 (\%)$$

*

$$\eta_{max}^{BZ} = \frac{\Delta G_T}{\Delta H^0} \cdot 100 (\%)$$

Največji teoretični izkoristek η_{max} je podan z zgornjo formulo
*

Razmerje med G in H je:

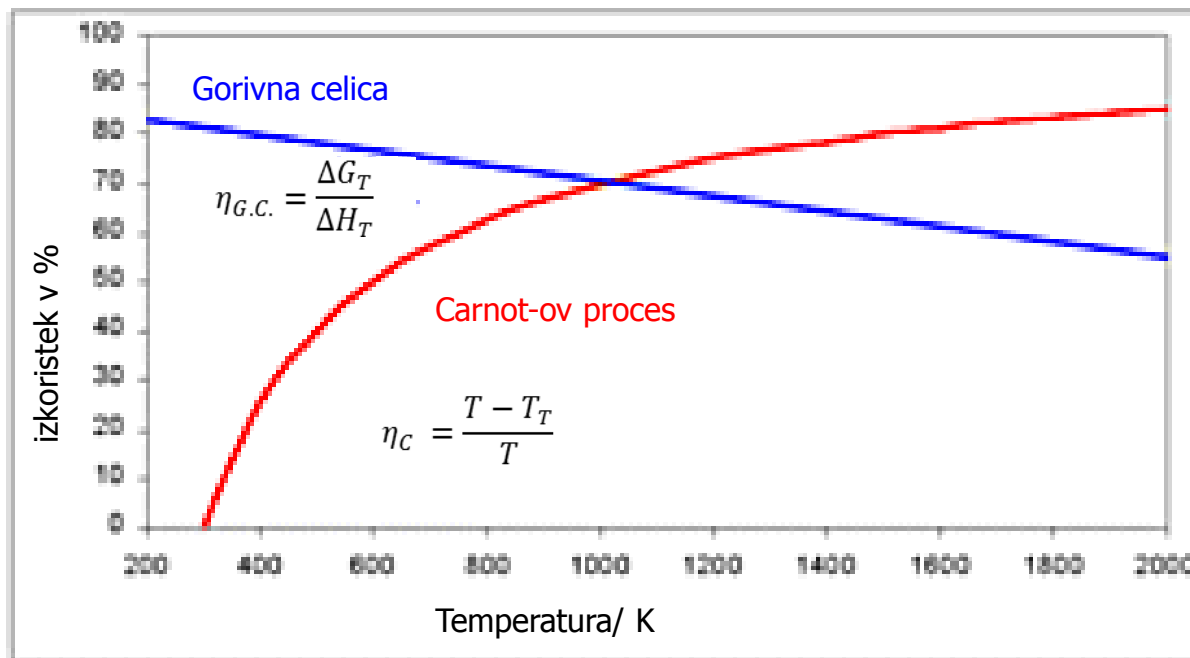
$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$$

Iz tega sledi izkoristek gorivne celice:

$$\eta_{max}^{BZ} = \frac{\Delta H - T \cdot \Delta S}{\Delta H} \cdot 100 (\%)$$

$$\eta_{max}^{BZ} = \left(1 - \frac{T \cdot \Delta S}{\Delta H}\right) \cdot 100 (\%)$$

Primerjava učinkovitosti med Carnot-ovim procesom in gorivno celico prikazuje naslednja enačba za reakcijo zgorevanja med H_2/O_2 :



Izkoristek gorivne celice:

1. termodinamični izkoristek:

$$\eta_i = \frac{\Delta G}{\Delta H} = \left(1 - \frac{T \cdot \Delta S}{\Delta H} \right)$$

2. napetostni izkoristek

$$\eta_V = \frac{V}{E}$$

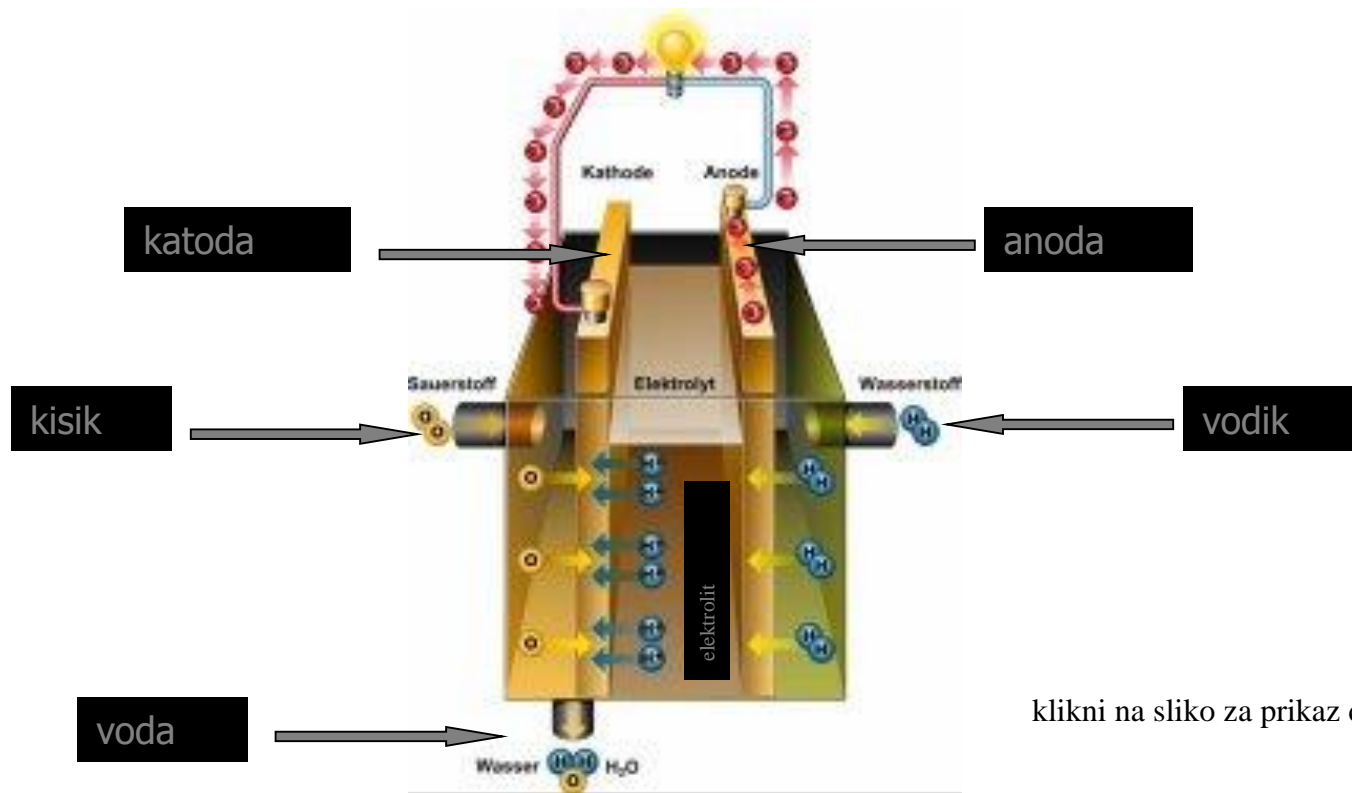
3. faraday-ev izkoristek

$$\eta_F = \frac{Q}{Q_m}$$

Celoten izkoristek:

$$\eta = \eta_i \cdot \eta_V \cdot \eta_F$$

Slika predstavlja princip delovanja celice s kislim elektrolitom. Anoda je oskrbovana z vodikom kot gorivom, ki elektrokemično razpade na protone in elektrone na reakcijski površini elektroda/elektrolit. Elektroni, ki opravljajo električno delo na zunanjem tokokrogu tečejo na katodo, kjer reducirajo kisik v vodo na mejni površini elektroda/elektrolit.



klikni na sliko za prikaz delovanja

Delitev gorivnih celic:

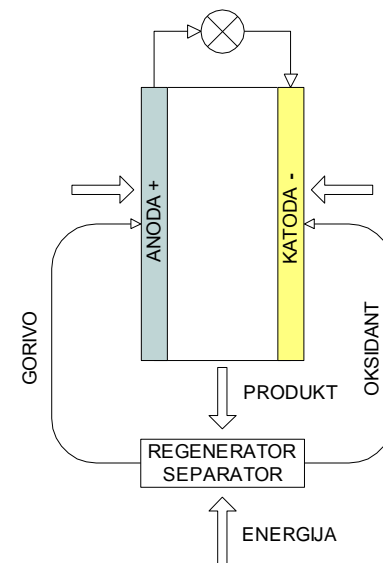
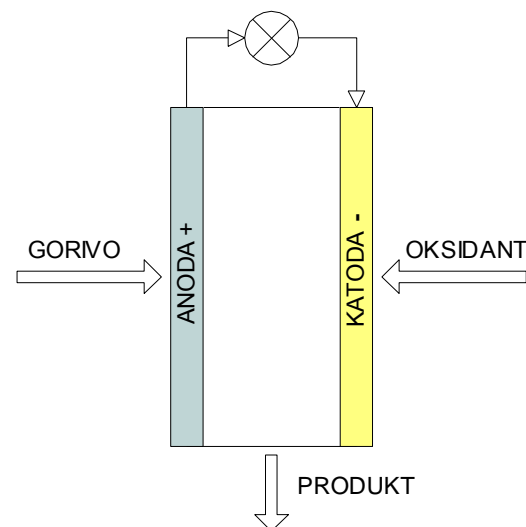
1. Glede na obnovljivost

- neobnovljive gorivne celice

- gorivo in oksidant dovajamo na elektrodi iz zunanjih rezervoarjev,
- produkt reakcije je izmet,
- delovanje takšnih gorivnih celic je podobno delovanju baterij.

- obnovljive gorivne celice

- v obnovljivih gorivnih celicah se produkt reakcije obnovi v izhodiščne elemente ob dovajanju termične ali električne energije,
- za regeneracijo se lahko uporabi tudi sončna energija ali energija iz jedrskih reaktorjev. Elementi se lahko obnovijo v gorivnem elementu ali izven njega in to sprotno ali v posameznih ciklih.
- sekundarni gorivni elementi so po principu delovanja podobni akumulatorju.



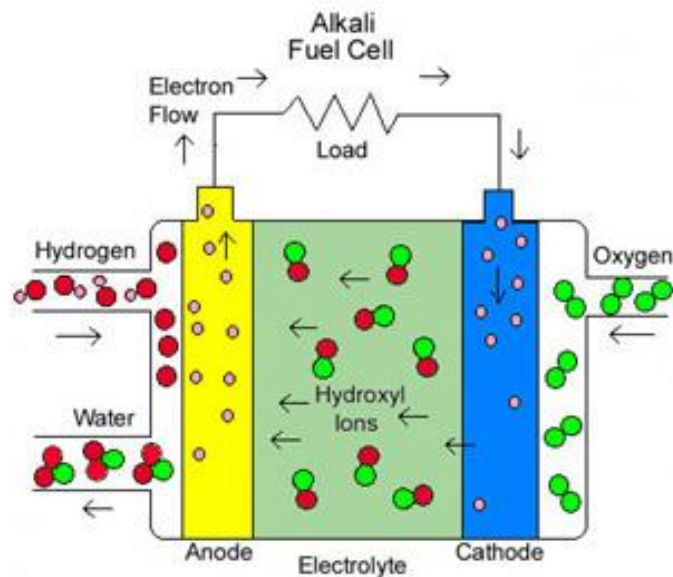
2. Glede na vrsto materiala

- ❖ PEM gorivne celice (proton exchange membrane) delujejo s polimernim elektrolitom v obliki tanke prepustne membrane pri temperaturah okoli 80 ° C.
 - izkoristek: 40 – 50 %
 - izhodna moč: 50 – 250 kW
 - primerne so za hiše in avtomobile
 - trden in elastičen elektrolit (ne puščajo)
 - gorivo mora biti očiščeno
 - kot katalizator se uporablja Pt (velik strošek)

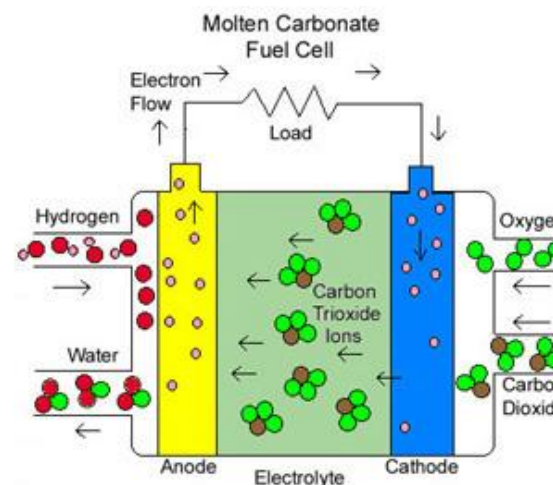


❖ bazične gorivne celice delujejo s stisnjanim vodikom in kisikom. Največkrat se uporablja raztopina KOH v vodi kot elektrolit. Ta tip celic se je uporabil v raketoplanu Apollo za pridobivanje elektrike in vode.

- izkoristek je okoli 70 %
- temperatura delovanja je med 150 in 200 ° C
- izhodna moč je med 300 W in 5 kW
- potreben je čisti vodik kot gorivo
- elektrode so iz Pt (velik strošek)
- možnost puščanja

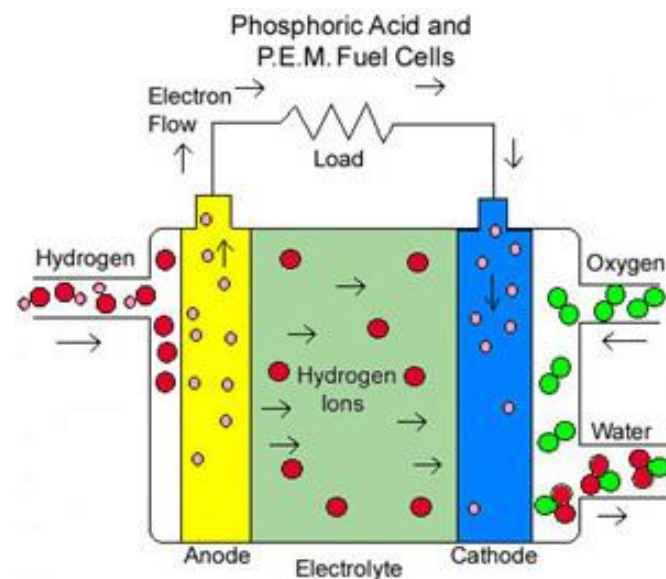


- ❖ MCGC gorivne celice (staljen karbonat) uporabljajo za elektrolit visokotemperaturne sestavine soli (Na, Mg) in karbonatov (CO_3).
- izkoristek je med 60 in 80 %
- temperatura delovanja je okoli 650°C
- izhodna moč je trenutno do 100 MW
- odpadno toploto je mogoče reciklirati za pridobivanje dodatne elektrike
- elektrode so iz Ni (nizek strošek)
- visoka temperatura zoža uporabo materialov in uporabnosti, onemogoča pa “zastрупitev” celice s CO
- karbonatni ioni iz elektrolita se porabljajo in jih je potrebno nadomestiti z dovajanjem CO_2 .

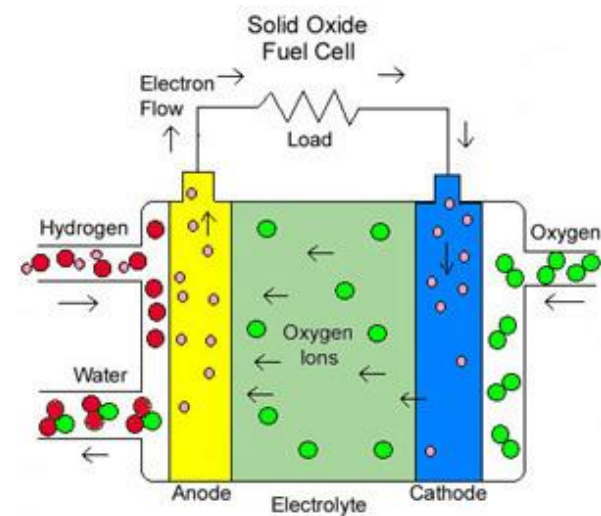


❖ PAFC gorivne celice: uporabljajo za elektrolit fosforno kislino.

- izkoristek je med 40 in 80 %
- temperatura delovanja je med 150 in 200 ° C
- izhodna moč je do 200 kW (testiranja do 11 MW)
- celice tolerirajo koncentracijo CO do 1,5 % kar poveča izbiro goriva
- elektrode so iz Pt (visok strošek)
- če se uporablja naftno gorivo je potrebno izločiti žveplo
- notranji deli morajo biti korozijsko odporni (kislina)



- ❖ SOFC gorivne celice (solid oxide) uporabljajo za elektrolit trdno keramično zmes kovin (Ca, Zr) in oksidov.
- izkoristek je okoli 60 %
- temperatura delovanja je pri 1000 ° C
- izhodna moč je do 100 kW
- celice so velikih dimenzij
- elektrode so iz Pt (visok strošek)
- zaradi visokih temperatur se izloči vodik sam iz goriva
- odpadno toploto je mogoče reciklirati za pridobivanje dodatne elektrike
- vsled visokih temperatur je omejena namembnost
- celice ne morejo puščati, lahko pa pokajo



Lastnosti sestavnih delov gorivnih celic:

▪ Elektrode

- ker prevajajo elektrone, so iz kovin ali iz materialov s polprevodniškimi lastnostmi
- površina mora delovati kot katalizator elektrokemijske reakcije.
- Imeti morajo dobre mehanske lastnosti ter morajo biti porozne, da lahko gorivo in zrak prideta v stik z elektrolitom
- elektrode ne smejo korodirati v elektrolitu gorilnega elementa
- snovi iz katerih so elektrode so: platina, paladij, radij, rutenij, nikelj, srebro in grafit

▪ Katalizator

- tok elektrokemijske reakcije in gostota toka sta odvisna od katalizatorskih pojavov na površini elektrode
- elektroda je lahko hkrati katalizator (elektrokatalizator), če jo obdelamo s posebnim postopkom, ali če se katalizator adsorbira na njeno površino
- izbira katalizatorja je odvisna od najpočasnejše elementarne stopnje celotne reakcije, ki jo je treba pospešiti

▪ Elektrolit

- uporabljajo se trdni in tekoči elektroliti
- elektrolit je lahko vsaka polarna snov, ki topi ionske kristale, raztaljene soli, soli alkalnih kovin – kloride in karbonate.
- od trdnih elektrolitov so najpomembnejši membransko grajeni polimeri (polistiren). Takšne membrane ločujejo katodni del od anodnega ter zmanjšujejo dimenzije gorilnih elementov (vesoljska vozila)
- v novejšem času raziskujejo elektrolitsko prevodne membrane, izdelane iz nikelj - borida ali bor - nitrida

▪ Goriva in oksidanti

- gorivo v gorivnih celicah je lahko vsak element ali spojina, ki lahko notranjo energijo sprosti z oksidacijo in preide v ione
- najpogostejša goriva so vodik in ogljikovodiki
- oksidanti so lahko kemijske snovi, ki imajo močno afiniteto do elektronov in ki z redukcijo preidejo v ionsko stanje
- najpogostejši oksidant je kisik
- v nekaterih reakcijah se kot oksidanti uporabljajo tudi halogeni elementi (Cl, Br, F)