

Vozila sa gorivim ćelijama

Vozila sa gorivim ćelijama imaju elektromotore za pogon vozila. Gorive ćelije su zapravo izvor električne energije koja se koristi za pokretanje elektromotora, tj. vozila. Za razliku od potpuno električnih vozila gdje je potrebna energija pohranjena u baterijama, kod hibridnih vozila energija je pohranjena u spremniku vodika koji se pretvara u električnu energiju.

Da bi vozilo sa gorivim ćelijama pri ubrzavanju imalo veće ubrzanje u vozilo se ugrađuje manja baterija koja je svojevrsni akumulator energije. To znači, da pri ubrzavanju elektromotori mogu dobiti više električne struje za brži start, a isto tako tijekom kočenja elektromotori rade kao generator struje kojom pune baterije. Na ovaj se način energija kočenja umjesto u toplinu (tarme kočnice) pretvara u električnu energiju. Veći dio vraćene električne energije smanjuje potrošnju goriva (vodika) jer se ona može opet koristiti. Treba napomenuti da se nikada pri generatorskom kočenju ne vraća sva energija.

Kombinacija gorivih ćelija i elektromotora je 2-3 puta efikasnija u odnosu na motore sa unutrašnjim izgaranjem. Usporedbe radi, 1 kg plinovitog vodika daje energiju kao i 2,8 kg benzina. Da bi se povećao radijus kretanja vozila, plinoviti vodik se sabija u spremniku da bi mu se povećala gustoća, tj. spremilo više vodika u visokotlačni spremnik. Vrijeme punjenja ovih spremnika je vrlo kratko (3-5 minuta) što je još jedna od prednosti. U visokotlačne spremnike može se pohraniti vodik pod tlakom od 350 bar pa do 700 bar što su izuzetno visoki tlakovi koji zahtijevaju i visoku razinu sigurnosti.

Prednosti vozila sa gorivim ćelijama su:

- ovi motori su ekološki podobni (nema emisije štetnih tvari) jer kao produkt rada nastaje voda, H₂O
- generatorskim kočenjem ne nastaju štetne tvari
- dobro iskorištenje energije
- punjenje spremnika vodikom je relativno brzo
- motori su znatno efikasniji u odnosu na motore sa unutrašnjim izgaranjem (niža temperatura, nema trenja klipa i sličnih elemenata u motoru)

Nedostatci vozila sa gorivim ćelijama su:

- vodik je lako zapaljiv eksplozivni plin pa je njegovo skladištenje opasno
- spremnik i potrebni vodovi su skupi
- gorive ćelije moraju biti u određenom temperaturnom rasponu
- proizvodnja vodika je skupa i troši dodatnu energiju koja dodatno zagađuje okoliš
- zahtjevni uvjeti transporta i skladištenja zbog održavanja niskih temperatura i visokog tlaka
- zahtjeva toplinski izolirane spremnike izrađene za visoke tlakove
- zahtjevi rukovanja mnogo stroži u odnosu na skladištenje kisika
- svako curenje u atmosferu vrlo opasno jer je vrlo reaktivan sa kisikom iz zraka
- curenje vodika pri prometnoj nezgodi predstavlja velika opasnost zbog požara

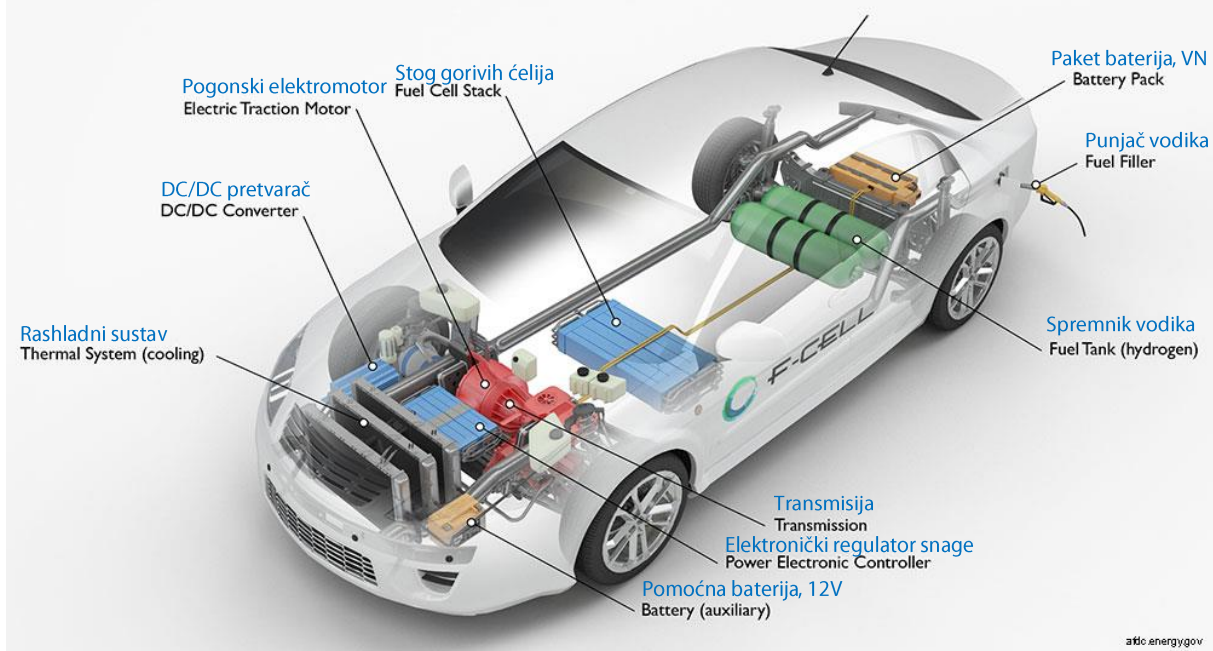


Slika : BMW i8 sa pogonom na gorive ćelije, [12]



Slika : Toyota autobus sa pogonom na gorive ćelije, [13]

Hydrogen Fuel Cell Vehicle



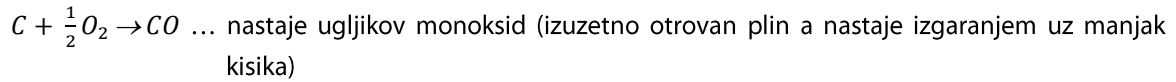
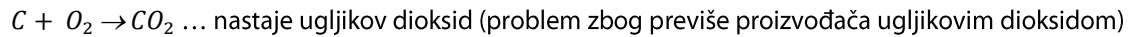
Slika 1: Glavni sklopovi automobila sa gorivim ćelijama, [1]

Glavni sklopovi vozila sa gorivim ćelijama su:

- **DC/DC pretvarač**, ima ulogu da regulira istosmjernu struju visokog napona u istosmjernu struju od 12 V da bi svi uređaji u vozilu normalno radili.
- **Pomoćna baterija 12 V**, služi za pokretanje motora dok ne proradi motor sa gorivim ćelijama i za napajanje svih uređaja vozila (osim pogonskog elektromotora).
- **Paket baterija VN**, je paket baterija koje zajedno imaju visoki napon. Ove baterije daju dodatnu energiju pogonskom elektromotoru pri ubrzanju i skladište električnu energiju dobivenu kočenjem vozila.
- **Pogonski elektromotor**, je glavni pogon vozila koji električnu energiju dobiva iz gorivih ćelija i po potrebi iz paketa visokonaponske baterije.
- **Stog gorivih ćelija**, je sklop sastavljen od membranskih elektroda koje koriste vodik i kisik za proizvodnju električne energije.
- **Punjač vodika**, je ručka koja ima mlaznicu za punjenje spremnika i koja se pri spajanju ne smije odvajati niti spoj propuštati vodik.
- **Spremnik vodika**, je posebno izrađeni spremnik koji skladišti vodik.
- **Elektronički regulator snage**, regulira protok električne struje iz gorivih ćelija i visokonaponske baterije pri čemu regulira broj okretaja i okretni moment pogonskog elektromotora ovisno o uvjetima vožnje.
- **Rashladni sustav**, održava potrebnu radnu temperaturu gorivih ćelija, pogonskih elektromotora, upravljačke elektronike i drugih komponenti. Po potrebi se koristi za grijanje gorivih ćelija pri pokretanju motora. Vrlo je bitno održavanje iste temperature (izotermni rad, 80 °C) radi ispravnog rada gorivih ćelija.
- **Transmisija**, prenosi okretni moment od pogonskog elektromotora do pogonskih kotača.
- **Kompresor**, treba osigurati strujanje zraka na katodi
- **odvodnik vode**, odvodi, tj. uklanja nastalu vodu sa katode
- **sustav za snabdijevanje goriva (vodika)**

Osnovne vodika, H₂

Vodik je kemijski element uz ugljik (i sumpor kojeg ne bi smjelo biti u gorivu) koji izgaraju prema sljedećim kemijskim procesima.



Iz ovoga je vidljivo da izgaranjem vodika nastaje čista voda koja je bezopasna i sastavni dio prirodnog okruženja, te kao takva ne ugrožava okoliš. Treba naglasiti da se sva tri oblika odnose na izgaranje kao kod klasičnih motora s unutrašnjim izgaranjem. Kod motora sa gorivim ćelijama kemijski proces je potpomognut specijalno izrađenim pločama i strujom da bi došlo do kemijskog spajanja vodika i kisika u vodu (hladno izgaranje), a kao rezultat toga se dobiva električna energija.

Motora sa gorivim ćelijama očito imaju najbolju perspektivu kao ekološki podobni jer uz sve to vodik se nalazi u vodi, raznim ugljikovodicima (metan, etan, propan,...). Drugim riječima, vodika na Zemlji ima u izobilju ali je uvijek u nekom kemijskom spoju, te ga treba izdvajati što zahtjeva određena financijska ulaganja. Od svih izvora, voda je najizglednija kao izvor budućnosti za dobivanje vodika jer je ima u izobilju. Sa druge strane razdvajanjem se dobiva vodik i kisik koji je ekološki prihvatljiv u prirodi. Još uvijek, dobivanje vodika iz vode je skup proces (elektroliza) i za dobivanje 1 kg vodika potrebno potrošiti oko 50 kWh električne energije. Uz ovaj trošak potrebno je računati i utrošak energije od (5 – 7,5) kWh/kg vodika na sabijanje. Za rješavanje ovog problema svjetla točka su obnovljivi izvori električne energije (solarni kolektori, vjetro elektrane i slično).

Bez obzira na veliku količinu vode na Zemlji, još uvijek se najviše vodika dobiva iz metana (CH₄).

Zbog svega navedenoga, vozila sa gorivim ćelijama smatraju se vozila sa nultom emisijom štetnih tvari i za pretpostaviti je da će ona biti u dogledno vrijeme najbolji izbor.

Karakteristike korištenja vodika kao goriva su:

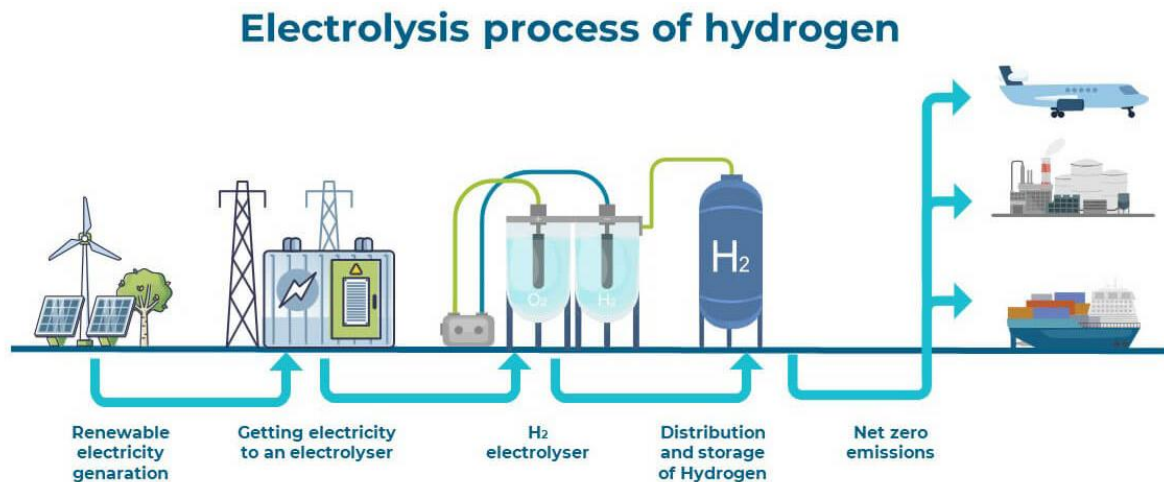
- vrlo rasprostranjen plin na Zemlji ali ga u atmosferi gotovo i nema
- čist i ekološki prihvatljiv kao gorivo
- pri atmosferskom tlaku je u plinovitom stanju
- bez boje je, mirisa i okusa
- visoka gustoća energije
- 14,4 puta je lakši od zraka (gustoća u plinovitom stanju 0,09 kg/m³)
- zapaljen u zrak izgara pri 560 °C skoro nevidljivim plamenom
- lako zapaljivi eksplozivni plin
- vrlo je difuzan kroz najveći dio metala, tj. mogućnost laganog curenja van

Vodik se može dobivati na razne načine kao što je elektroliza vode gdje se uz pomoć električne struje molekula vode razdvaja na vodik i kisik. Treba naglasiti, da je količina energije dobivenog vodika uvijek manja od potrošene električne energije u procesu elektrolize. Ovo je činjenica koja vrijedi u svim pretvorbama dobivanja vodika. Ostali postupci su mnogo složeniji kao što su:

- foto biološki (npr. alge pod utjecajem svjetla proizvode vodik)
- foto elektrokemijske (koristeći sunčevu svjetlost dolazi do razdvajanja vodika i kisika iz vode)
- termo kemijski (vodik se dobiva korištenjem topline)

Transport i skladištenje vodika

Zbog složenosti postupka dobivanja vodika kao i transporta, vodik se uglavnom proizvodi u blizini stanica za punjenje vozila. Za proces proizvodnje vodika potrebna je električna energija koja se može dobiti iz obnovljivih izvora energije kao što su solarni kolektori i vjetroelektrane. Ovakvim jednim sustavom bi se mogla dobivati relativno isplativa količina vodika kojeg se može lakše skladištiti i transportirati.



Slika : Put dobivanja vodika, [20]

Bez obzira, vodik treba dovesti do stanica za punjenje vozila što se obavlja:

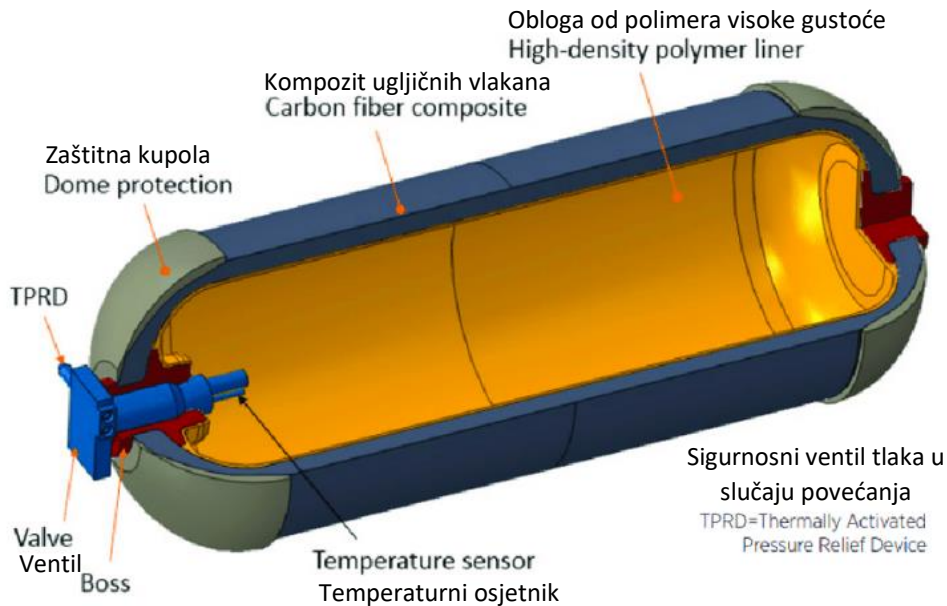
- cjevovodima što je ujedno i najjeftiniji način
- cisternama za transport vodika obično do 400 km
- tankerima za ukapljeni vodik. Prethodno je vodik ohlađen da bi prešao u kapljevitost i kao takav zauzima mnogo manji volumenski prostor i moguće ga isplativo transportirati na mnogo veće udaljenosti.



Slika : Mjesto proizvodnje i skladištenja vodika, [2]

Kako je skladištenje i transport vodika od velike važnosti, vodik se skladišti na sljedeće načine:

- komprimiranje, vodik se tlači na tlakove od 350-700 bar
- kriogeničko skladištenje, vodik se skladišti na vrlo niskim temperaturama na $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri tlaku od 1 bar kada je u kapljevitom stanju što zahtjeva posebno izolirane spremnike. Na ovaj način se postiže veća gustoća vodika i u takvom stanju se označava sa LH2.



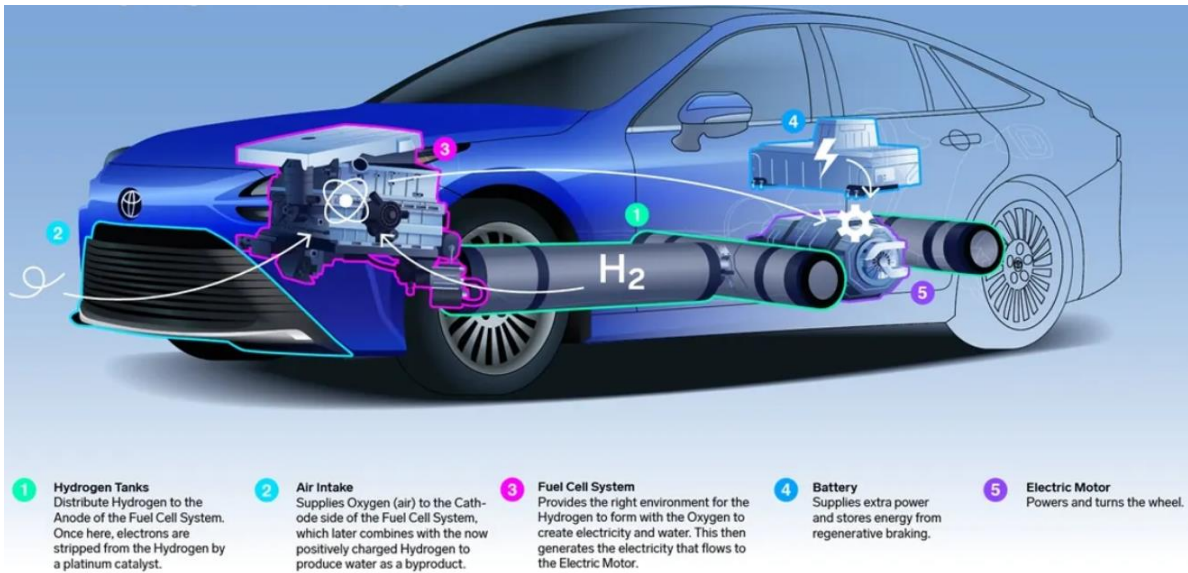
Slika : Spremnik za skladištenje ukapljenog plina na vozilu, [4]

- metalni hidridi, vodik se apsorbira u metalnim hidridima i kao takav je stabilnan.
- tekući organski nosači, su tvari koje apsorbiraju vodik
- sinteza amonijaka, vodik se kemijski veže sa dušikom pri čemu nastaje amonijak koji se može lakše skladištiti
- cjevovodima, najjeftiniji način transporta vodika ali zbog djelovanja na metal i zavarene spojeve potrebno je koristiti posebne materijale
- kamioni, nose specijalne spremnike i pogodni su za transport na relativno manje udaljenosti



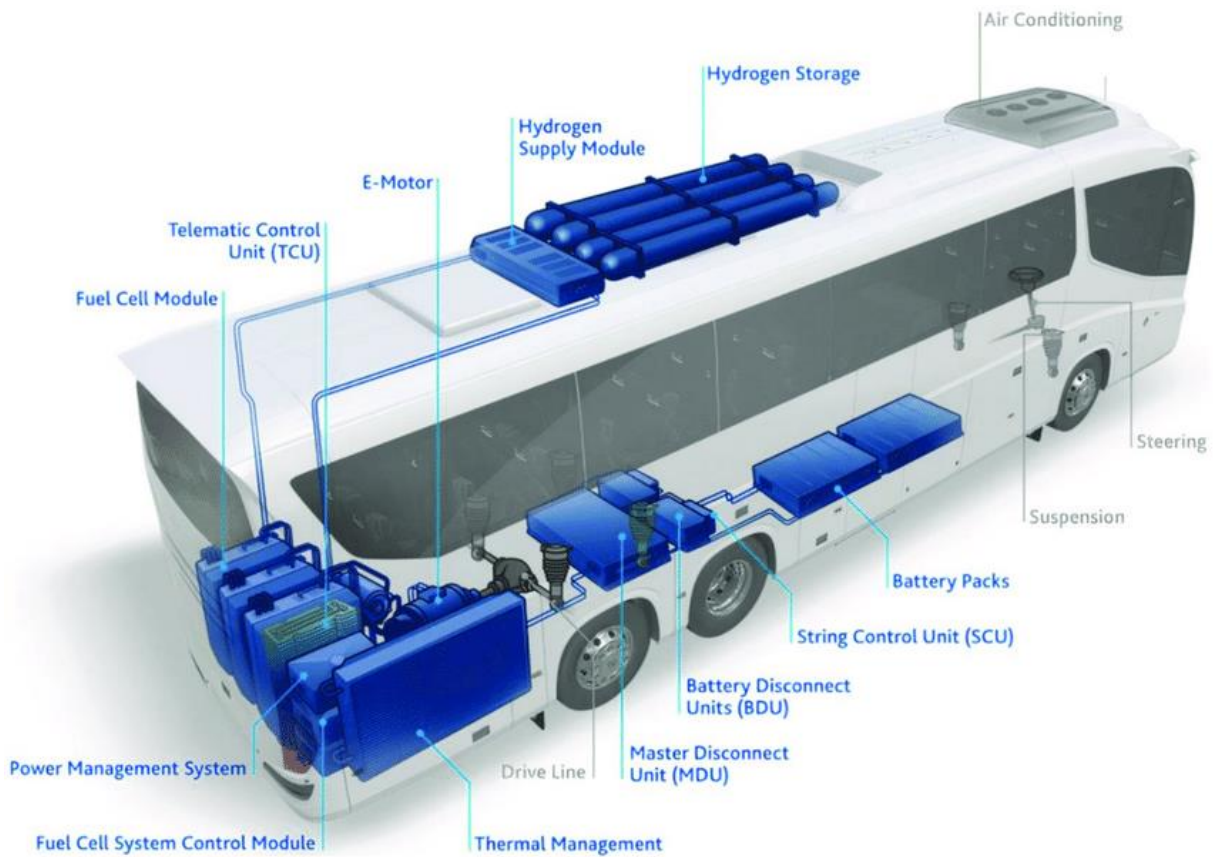
Slika : Transport ukapljenog vodika kamionima, [3]

Spremnici vodika u automobilu se raspoređuju kako bi se bolje iskoristio prostor i dobilo na većem volumenu spremnika. Obično se to ne može ostvariti jednim spremnikom već se ugrađuje više manjih spremnika.



Slika : Raspored spremnika vodika u osobnom vozilu, [14]

Zbog velike količine vozila u gradskim naseljima veći dio gradova u svijetu postepeno uvode autobuse sa pogonom na gorive ćelije. Velika prednost je nulta emisija štetnih tvari. Za pretpostaviti je da će se u ovom smjeru ići još i više.



Slika : Raspored spremnika na autobusima, [15]

Stanice za punjenje vodikom

Stanice za punjenje vozila vodikom su od bitnog značaja radi neprekidne vožnje i bez neugodnosti kada se shvati da možda neće biti dovoljno goriva do odredišta. Kada je u pitanju gorivo za vozila sa unutrašnjim izgaranjem nekako se ne opterećujemo time jer je mreža stanica za punjenje gorivom dobro raspoređena. Dopunjavanje spremnika vodikom koji je na niskim temperaturama i visokom tlaku nije moguće negdje uz cestu kako je to sa benzinom ili dizel gorivom. Iz tih razloga je razvijanje i postavljanje stanica za punjenje od bitne važnosti jer vozila na vodik imaju veliku perspektivu a možda i najveću ako se u međuvremenu ne nađu baterije sa većom gustoćom energije.

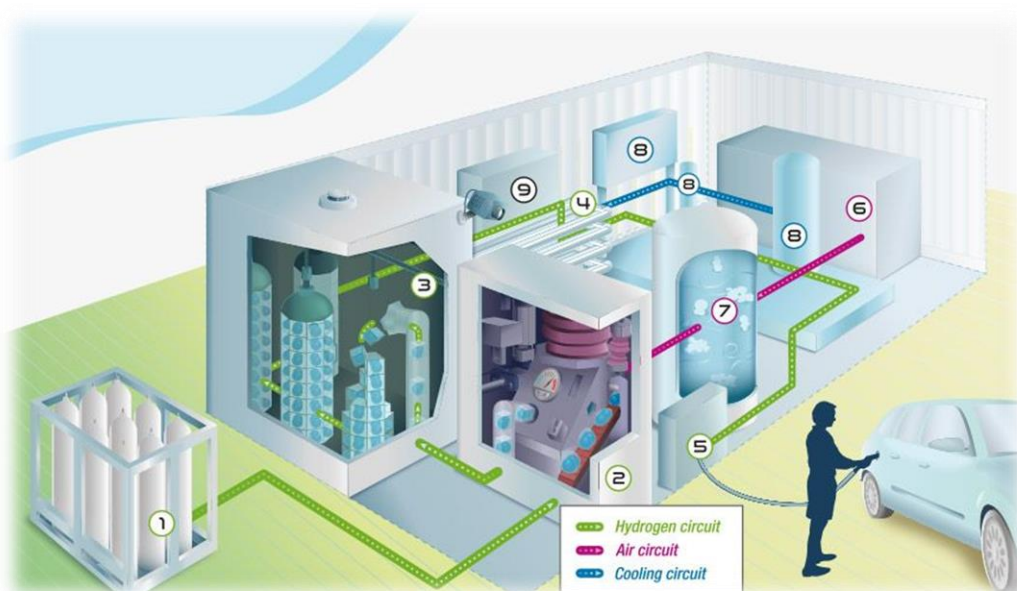


Slika : Stanica za punjenje spremnika vodikom, [16]

Svaka stanica za skladištenje vodika za punjenje vozila ima tri značajna sustava, i to:

- sustav za vodik (Hydrogen circuit)
- sustav za predhlađenje zrakom (Air circuit)
- sustav za hlađenje vodika (Cooling circuit)

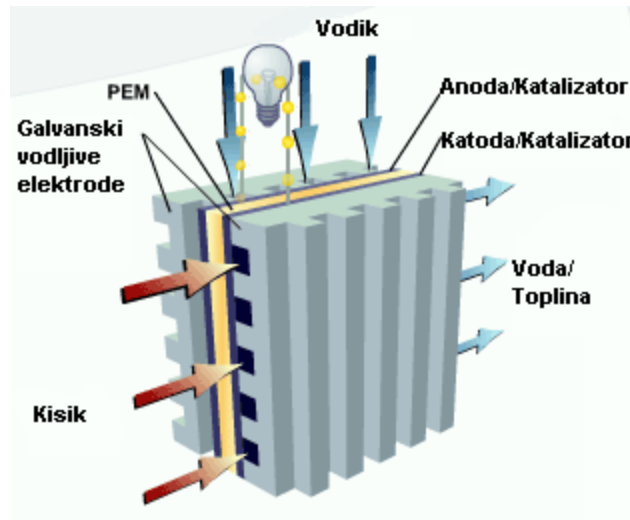
Punjenje spremnika vodikom je pod tlakom pri čemu je priključak izveden tako da bude siguran na curenje vodika. Samo punjenje se obavi u par minuta pod tlakom. Zbog velike razlike u gustoći vodika pod tlakom, vodik se mjeri i prodaju izraženo u kilogramima.



Slika : Raspored u stanici za punjenje vodikom, [17]

Goriva ćelija, PEM

Goriva ćelija (PEM ili PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell) s polimernom membranom kao elektrolitom je elektrokemijski uređaj koji pretvara energiju vodika uz prisustvo kisika u električnu energiju. U ovom procesu nositelj naboja koji je potreban je ion vodika (proton). Kao nusprodukt ovog kemijskog procesa nastaje voda i toplina. Goriva ćelija radi na sličnom procesu kao i punjive baterije uz razliku što goriva ćelija neprekidno proizvodi električnu energiju pod uvjetom da joj se dovodi vodik i kisik (ili kisik iz zraka).



Slika : Goriva ćelija, PEM, [6]

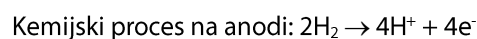
Između porozne vodljive anode i katode nalazi se elektrolitska membrana (katalizator). Sa jedne strane membrane nalazi se gorivo (vodik), a s druge kisik (zrak). Ova dva elementa imaju veliku sklonost i težnju spajanja u molekulu vode što je ovdje dobro došlo. Polimerna membrana pomaže u cijepanju (razdvajanju) molekula goriva (vodik, ugljikovodici) na elektrone i pozitivno nabijene ione koji prolaze kroz membranu. Ovaj proces bi bio jako spor da se u membrani ne nalazi platina kao katalizator koja značajno ubrzava proces. Skupa platina dodatno diže cijenu ovim motorima. Katoda i anoda su spojene žicom radi odvođenja elektrona (nosioci električnog naboja) koji su u ovom procesu prisiljeni ići okolnim putem. U procesu rada vodik struji uz anodu, a kisik (zrak, sadrži oko 21 % kisika) uz katodu. Prvi kemijski proces odvija se uz anodu gdje dolazi do cijepanja goriva kako je već navedeno. Protoni zbog svoje manje veličine prolaze kroz poroznu polimernu membranu za razliku od elektrona koji su prisiljeni ići preko žice do trošila.

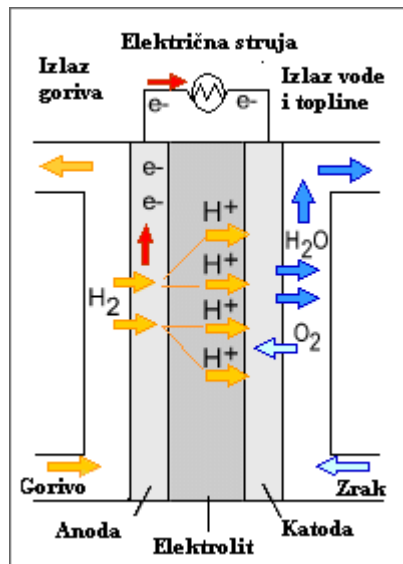
Drugi proces se odvija uz katodu gdje pozitivni ioni vodika dolaze u kontakt sa atomima kisika uslijed čega dolazi do kemijske reakcije u kojoj nastaju molekule vode.

Elektroni kao nosioci električnog naboja u ovom procesu idu preko žice do trošila, tj. pogonskog elektromotora i/ili baterije.

Problem ovog procesa je u potrebi za vrlo skupom platinom (skuplja od zlata) koja se mora nalaziti u elektrolitskoj membrani da bi kemijski proces bio dovoljno brz. Zahvaljujući platini ovaj proces je oko 100 puta brži u odnosu na druge korištene materijale. Za postizanje snage od 1 kW snage potreban je 1 g platine što se nastoji smanjiti i do 1 mg.

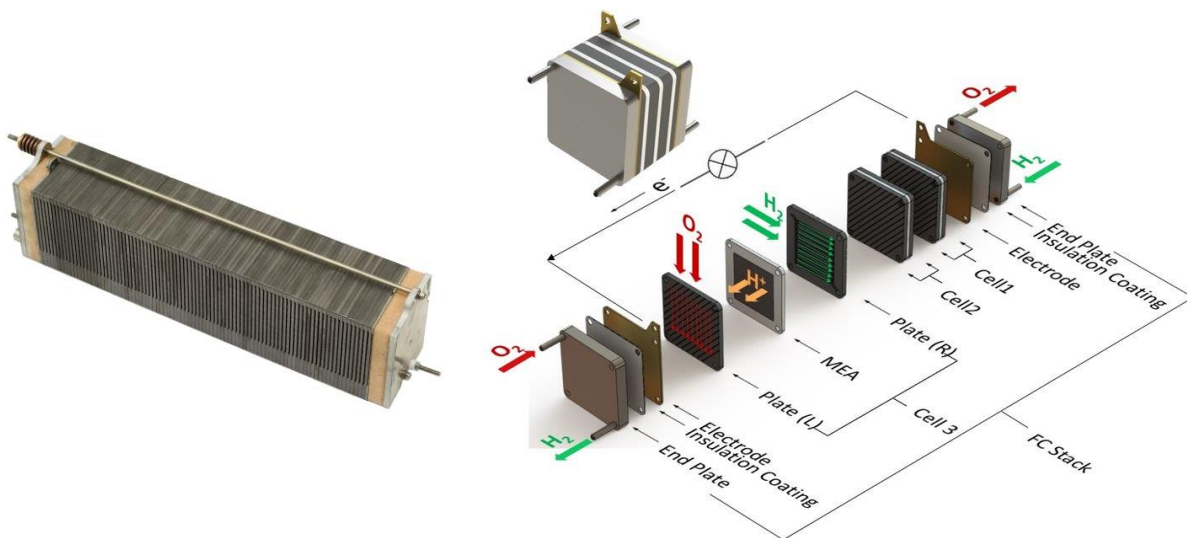
Polimerna membrana se najčešće radi od nafiona koji je debljine 50-175 μm i uvijek mora biti vlažna.





Slika : Kemijski procesi na gorivoj ćeliji, [6]

Jedna goriva ćelija može proizvesti napon (0,6 - 0,7) V. Povezivanjem više gorivih ćelija u serijske i paralelne spojeve dobivaju se viši naponi i snaga. Ovako dobiveni blok se naziva gorivo-ćeljski stog (Fuel Cell Stack).



Slika : Blok gorivih ćelija, [7]

Slika : Elementi bloka gorivih ćelija, [8]

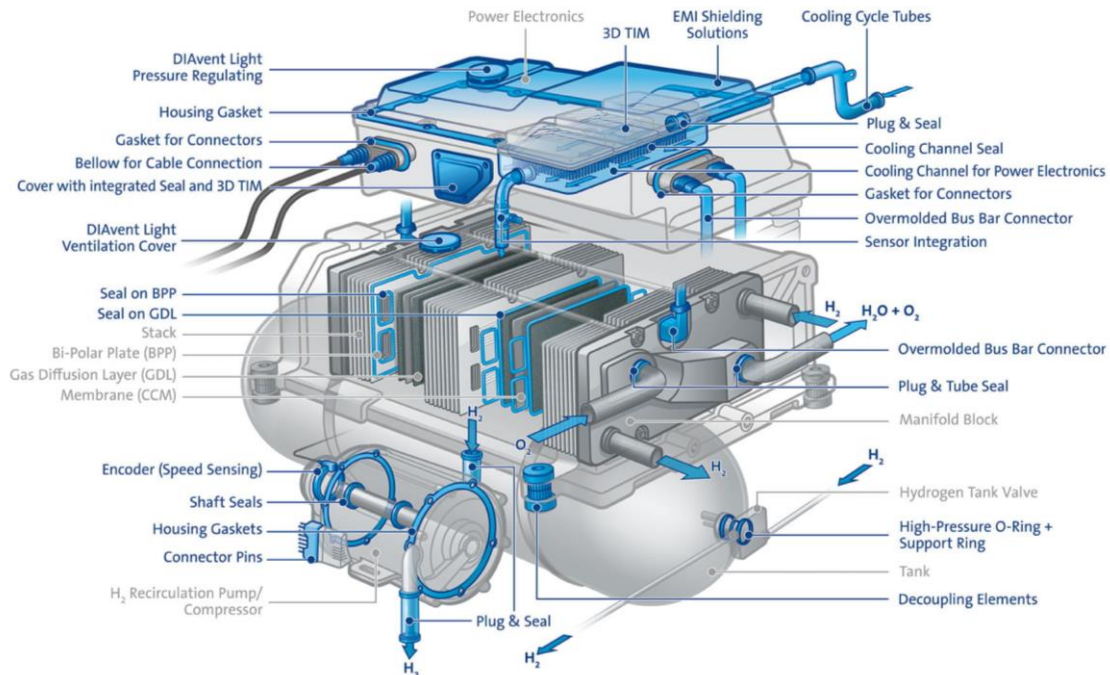
Svaka jedinična goriva ćelija sastoji se od dvije elektrode (anoda i katoda) sa polimernom membranom između, elektrolita i katalizatora. Sve ovo se nalazi unutar grafitnih ploča sa kanalima kroz koje se dovode gorivo (vodik) i oksidans (kisik ili zrak). Ove jedinične ćelije se spajaju u niz radi dobivanja određenog oblika i napona. Uslijed kemijskog procesa nastaje određena toplina koju treba odvoditi. Radi toga u ovim stogovima se nalaze i kanali kroz koje teče rashladna tekućina. Ova rashladna tekućina se također koristi i za zagrijavanje gorivih ćelija pri početku rada motora sa gorivim ćelijama ako to one trebaju.

Elektroliti zbog specifičnosti trebaju ispuniti složene zahtjeve, i to da budu izolatori za elektrone, da provode protone i razdvajaju plinove.

Neki proizvođači rade motore gdje se proizvedena električna energija izravno šalje preko invertera na pogonske elektromotore. U praksi je češći slučaj da se dobivena električna energija šalje u baterije, super kondenzatore ili „Fly Wheel“ (plivajući zamašnjak akumulira energiju).

Vrste automobila sa gorivim ćelijama mogu biti:

- Goriva ćelija daje svu potrebnu snagu za pogon vozila
- Paralelni hibrid, goriva ćelija da je nominalnu snagu, a baterija dopunjava za vršnu snagu
- Serijski hibrid, goriva ćelija samo puni baterije
- Goriva ćelija samo snabdijeva električna trošila u vozilu



Slika : Brtvljena mjesta motora sa gorivim ćelijama (Freudenberg), [21]

HYUNDAI MOTOR CO. LTD. 100-kW FUEL CELL /ELECTRIC MOTOR

Battery capacity: 0.95 kWh Lithium-Polymer	Range: 265 miles (426 km)
Horsepower: 134 @ 3,600-7,200 rpm	EPA combined: 50 mpg equivalent
Torque: 221 lb.-ft. (300 Nm) @ 0-2,000 rpm	Assembly site: Ulsan, South Korea
Fuel capacity: 12.4 lbs. @ 10,000 psi	Application tested: '15 Hyundai Tucson FCV



Slika : Hyundai motor sa gorivim ćelijama i karakteristikama, [9]

Jedan od interesantnih modela koji ima motor sa gorivim ćelijama je Toyota Mirai kod kojega se mogu vidjeti bitne karakteristike takvih vozila. Za očekivati je da će naredna vozila pogonjena motorom sa gorivim ćelijama biti sa sve boljim karakteristikama.



Slika : Toyota Mirai, [19]

Tablica : Karakteristike Toyota Mirai vozila, [18]

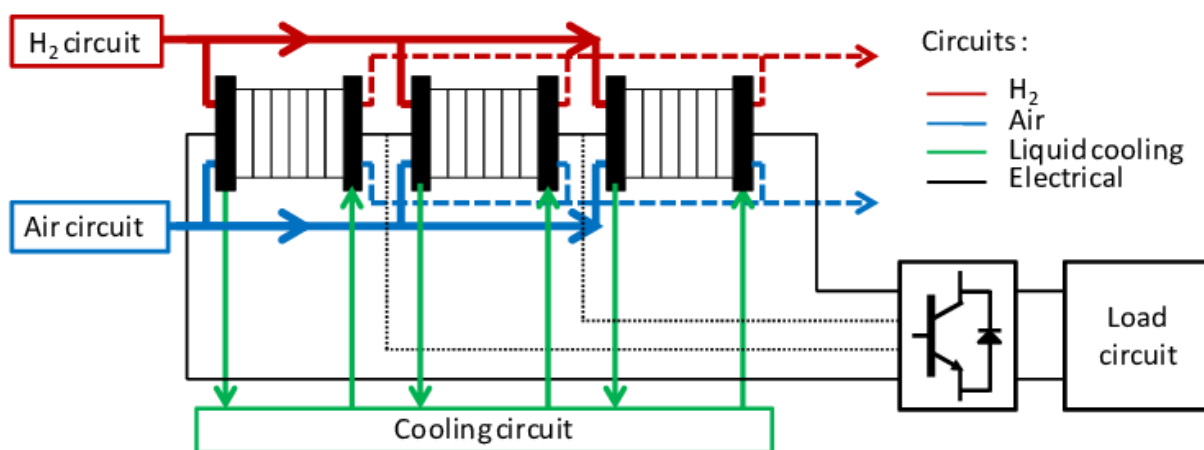
Gorive ćelije, kompletna	
Oznaka modela	FCB130
Tip	Polimerna membrana
Broj ćelija	330
Način spajanja	serijski
Najveća izlazna snaga	128 kW
Volumen	4 lit.
Masa	52 kg
Baterija	
Tip	litij-ionska
Broj ćelija	84
Nazivni napon	310,8 V
Kapacitet	4 Ah
Masa	44,6 kg
Pogonski elektromotro/generator	
Oznaka modela	3KM
Tip	permanentni magnet, sinhronizirani
Najveća snaga	134 kW
Najveći okretni moment	300 Nm
Kotači	
Pneumatici	235/55 R19 245/45 R20
Karakteristike vožnje	
Najveća brzina	170 km/h
Ubrzanje od 0 do 100 km/h	9 s
Radius kretanja	više od 650 km
Spremnik vodika	5,6 kg / 142,2 lit.

Temeljni krugovi motora sa gorivim ćelijama

Da bi se lakše shvatili motori sa gorivim ćelijama, treba naučiti koji su osnovni krugovi u ovim motorima, a to su:

- **rashladni krug (Cooling circuit)**, hladi/grije gorive ćelije
- **krug strujanja vodika (H₂ circuit)**, osigurava potreban tok vodika po površini ploča gorivih ćelija
- **krug strujanja zraka (Air circuit)**, osigurava dovoljnu količinu zraka za odvijanje rada motora, tj. oksidacije vodika
- **upravljački krug (Load circuit)**, kontrolira rad svih sustava rada motora sa gorivim ćelijama

Vidljivo je da se u ovim motorima nalaze plinovi i rashladna tekućina koji se ne smiju miješati što zahtjeva vrlo složeno brtvljenje kanala.



Slika : Hyundai motor sa gorivim ćelijama i karakteristikama, [10]

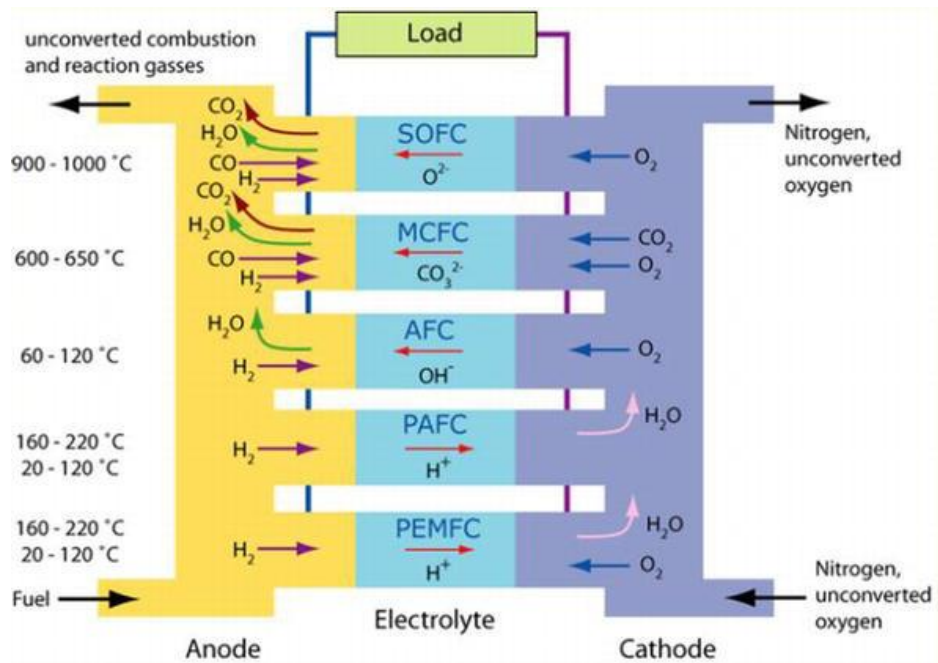
Najčešće vrste gorivih ćelija su:

- Gorive ćelije s alkalnim elektrolitom (AFC – Alkaline Fuel Cell)
- Gorive ćelije s polimernom membranom kao elektrolitom (PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell)
- Gorive ćelije sa fosfornom kiselinom (PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell)
- Gorive ćelije s čvrstim oksidima kao elektrolitom (SOFC – Solid Oxide Fuel Cell)
- Gorive ćelije sa direktnom konverzijom etanola (DEFC)
- Gorive ćelije s rastaljenim karbonatima kao elektrolitom (MCFC – Molten Carbonate Fuel Cell)
- Gorive ćelije sa direktnom konverzijom metanola (DMFC)

Tablica : Vrste gorivih ćelija i njihove karakteristike, [5]

Vrsta gorive ćelije	Elektrolit	Gorivo	Stupanj iskorištenja	Radna temperatura	Način korištenja
S krutim oksidom SOFC	Kruti oksidi, ZrO_2/YO_2	Većina ugljikovodika	45 – 70 %	450 – 1000 °C	Male, srednje i velike instalacije
S tekućim karbonatima, MCFC	Tekući karbonati, Li_2CO_3/K_2CO_3	Prirodni i generatorski plin, H_2	45 – 60 %	650 – 700 °C	Velike elektrane (samo električna energija)
S fosfornom kiselinom, PAFC	Fosforna kiselina, H_3PO_4	H_2 , prirodni plin, metanol	35 – 42 %	190 – 210 °C	Male elektrane (s kogeneracijom)
Alkalne, AFC	Kalijev hidrokisid, KOH	H_2 , prirodni plin, metanol	45 – 60 %	60 – 130 °C	Specijalistički (svemirska tehnologija, u transportu)
S polimernom membranom, PEMFC	Kruta polimerna membrana	H_2 , prirodni plin, metanol	30 – 60 %	70 – 90 °C	Transport, prenosive aplikacije, male stacionarne aplikacije (s kogeneracijom)

Kod nekih vrsta gorivih ćelija ovisno o korištenom gorivu nastaju i drugi spojevi uz vodu kao nastala temperatura u procesu oksidacije.



Slika : Prikaz vrsta gorivih ćelija, [11]

Kratice

FCEVs - Fuel Cell Electric Vehicles

PEM - Proton Exchange Membrane

HFCV - Hydrogen Fuel Cell Vehicles

Literatura

1. ***: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>, (17.03.2024.)
2. ***: <https://www.istockphoto.com/vector/isometric-modern-plant-factory-for-production-of-liquefied-hydrogen-gasoline-tanker-gm1368002003-438095529>, (17.03.2024.)
3. ***: <https://www.kamion-bus.hr/5771/Kamioni-s-vodikom-na-cestama-2023>, (17.03.2024.)
4. ***: https://www.researchgate.net/figure/Type-IV-composite-overwrapped-hydrogen-pressure-vessel-source-Process-Modeling-Group_fig1_333885192, (17.03.2024.)
5. Rajić, Danijel: Primjena i razvoj vozila na vodik (Diplomski rad), Sveučilište Sjever 2024.
6. ***: https://sh.wikipedia.org/wiki/PEM_goriva_%C4%87elija, (19.03.2024.)
7. ***: <https://www.directindustry.com/prod/serenergy/product-119739-1293625.html>, (19.03.2024.)
8. ***: <https://www.researchgate.net/figure/>, (19.03.2024.)
9. ***: https://goodcssm.live/product_details/882141.html, (20.03.2024.)
10. ***: <https://www.researchgate.net/figure/>, (20.03.2024.)
11. ***: <https://www.intechopen.com/chapters/70641>, (21.03.2024.)
12. ***: <https://www.carscoops.com/2016/>, (21.03.2024.)
13. ***: <https://fuelcellsworks.com/>, (21.03.2024.)
14. ***: <https://bnnbreaking.com/tech/automotive/>, (21.03.2024.)
15. ***: <https://www.researchgate.net/>, (21.03.2024.)
16. ***: <https://www.innovationnewsnetwork.com/>, (21.03.2024.)
17. ***: <https://www.morski.hr>, (21.03.2024.)
18. ***: <https://media.toyota.co.uk/wp-content/uploads/sites/5/pdf/220203M-Mirai-Tech-Spec.pdf>, (24.03.2024.)
19. ***: <https://global.toyota/en/newsroom/toyota/33558148.html>, (24.03.2024.)
20. ***: <https://www.netscribes.com/the-future-is-here-why-hydrogen-fuel-cell-vehicles-are-the-next-big-thing/>, (24.03.2024.)
21. ***: <https://www.fst.com/markets/automotive-truck-bus/passenger-car/fuel-cell/>, (24.03.2024.)

Izradio: Antun Babić, dipl. ing. strojarstva