



# Polttokennot ja niiden hyödyntäminen ajoneuvoissa

Sami Koivisto

OPINNÄYTETYÖ

Ajoneuvotekniikka  
Korjaamotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Ajoneuvotekniikka  
Korjaamotekniikka

KOIVISTO, SAMI:  
Polttokennot ja niiden hyödyntäminen ajoneuvoissa

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Joulukuu 2021

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä polttokennojen tulevaisuuden mahdollisuuksiin energianlähteenä ajoneuvoissa. Opinnäytetyön aihe valikoitui opinnäytetyöntekijän oman kiinnostuksen perusteella. Aihe on myös ajankohtainen, koska EU on kiristämässä bensiini- ja dieselautojen päästörajoituksia. Päästörajoitusten kiristäminen korottaa polttomoottoriajoneuvojen kustannuksia ja johtaa siihen, että ajoneuvon valmistajat lopettavat polttomoottorien kehittämisen ja valmistamisen.

Polttokennoja pystyy käyttämään nykyään pienistä paristoista aina voimalaitoskäyttöön saakka. Polttokennoja pystyy hyödyntää energiantuotannossa sekä lämmön tuotannossa tai molempia yhdessä tuotettaessa.

Työssä tehdyn selvityksen perusteella voidaan todeta, että markkinoilla on muutamia erilaisia polttokennoautoja ja autonvalmistajia. Autonvalmistajat ovat jakaantuneet sen suhteen, onko polttokennoilla tulevaisuutta ajoneuvoteollisuudessa auton energian lähteenä. Markkinoilla ja liikenteessä olevista polttokennoautoista suurin osa on leasing-autoja.

Työn tuloksista kävi ilmi, että ilmastonmuutos kasvattaa painetta kehittää päästötöntä ja ympäristöä kuormittamatonta teknologiaa ja tekniikkaa. Polttokennoja pystyy hyödyntämään pienessä elektroniikassa sekä suurissa voimalaitoksissa.

Polttokennojen tankkausasemia ei ole monessa eri maassa. Euroopassa polttokennojen latausasemia on eniten Saksassa, Iso-Britanniassa, Tanskassa ja Belgiassa. Suomessa ei ole vedyn tankkausasemia, mutta tankkausasemia ollaan suunnittelemassa.

---

Asiasanat: polttokenno, vetyauto, auto

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Vehicle technology  
Workshop technology

Sami Koivisto  
Fuel Cells and Their Utilization in Vehicles

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 0 pages  
December 2021

---

The aim of the thesis was to get acquainted with the future possibilities of fuel cells as an energy source in vehicles. The subject is also current as the EU tightens emission limits for petrol and diesel cars. Tightening emission limits will increase the cost of internal combustion engines and lead to vehicle manufacturers stopping to develop and manufacture internal combustion engines.

Fuel cells can be used from small batteries to power plant use if required. Fuel cells can be used for energy production or heat production or both in same time.

The study showed that there are a few different fuel cell cars and car manufacturers on the market. Car manufacturers are divided on whether fuel cells have a future in the automotive industry as an energy source for the car. Most of the fuel cars on the market and in traffic are leased cars.

The results of the work showed that climate change is increasing the pressure to develop emission-free and environmentally friendly technology. Fuel cells can be used as power plants in small electronics as well as large power plants.

Fuel cell filling stations do not exist in many different countries. In Europe, fuel cell charging stations are highest in Germany, the United Kingdom, Denmark and Belgium. There are no hydrogen filling stations in Finland, but they are being planned.

---

Key words: fuel cell, emission, hydrogen vehicle

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	HISTORIA.....	6
3	POLTTOKENNOT.....	8
3.1	Teoria.....	8
3.2	Polttokennojen rakenne .....	9
3.3	Alkalipolttokenno .....	10
3.4	Fosforihappopolttokenno.....	11
3.5	Kiinteäoksidipolttokenno .....	11
3.6	Protoninvaihtopolttokenno.....	12
3.7	Sulakarbonaattipolttokenno.....	13
3.8	Suorametanolipolttokenno .....	14
3.9	Yhteenveto.....	15
4	VETYSÄILIÖT JA SÄILÖNTÄ.....	17
4.1	Vety.....	17
4.2	Vedyn valmistus .....	17
4.2.1	Höyryreformointi .....	18
4.2.2	Elektrolyysi .....	18
4.2.3	Biomassan kaasuunus .....	19
4.3	Vedyn säilöntä.....	19
5	VETYSÄILIÖT JA TANKKAUS .....	21
5.1	Vetysäiliöt.....	21
5.2	Vedyn tankkaus.....	22
6	POLTTOKENNOJEN HYÖDYNTÄMINEN AJONEUVOISSA.....	23
6.1	Polttokennoautot .....	23
6.2	Auton valmistajat.....	24
6.2.1	Toyota Mirai.....	25
6.2.2	Hyundai Nexo.....	26
6.2.3	Mercedes-Benz GLC F-Cell .....	26
6.2.4	NISSAN e-Bio Fuel-Cell .....	27
6.2.5	BMW i Hydrogen NEXT .....	28
7	POHDINTA .....	30
	LÄHTEET.....	32

## 1 JOHDANTO

Ajoneuvoteollisuus on suurten muutosten keskellä. Autonvalmistajat ovat siirtymässä pois bensiinin ja dieselin käytöstä. Autonvalmistajat ovat keskittymässä enenevässä määrin täyssähköautoihin ja muihin ympäristöä vähemmän kuormittaviin ajoneuvoihin. Polttomoottoriajoneuvojen valmistamisesta luopuminen johtuu kiristyvistä päästörajoituksista ja niistä johtuvista kustannuksista. (Tekniikan maailma. 2020.)

Uusien Euro VII -rajoituksen voimaantulo olisi todella kova isku polttomoottoriajoneuvoille. Euroopan unionin päättäjien olisi tarkoitus keskustella ja äänestää siitä vuoden 2021 aikana, ja se astuisi voimaan vuonna 2025 jos se menisi läpi niin kuin ehdotuksessa oli suunniteltu. Muta syitä ajoneuvojen valmistajien siirtymiselle kehittämään muita mahdollisia energialähteitä ajoneuvoille on nykyinen politiikka, joka ajamassa yritykset tuottamaan ympäristöystävällisiä tuotteita ja palveluita. Tätä edesauttaa vuonna 2016 voimaan tullut Pariisin ilmastosopimus, jossa sovitaan, että yritetään rajata maapallon keskilämpötilan lämpiäminen 1,5°C verrattuna esiteolliseen aikaan. (HE 200/2016.)

2019 suomessa oli noin 2,7 miljoonaa henkilöautoa, joista noin 70 % oli bensiinillä toimivia, 28 % toimi dieselillä ja 2 % vaihtoehtoisilla polttoaineilla tai sähköllä. Suomessa henkilöautojen keski-ikä on noin 12 vuotta. Vuonna 2020 suomessa oli 40315 sähkökäyttöistä henkilöautoa, joista täyssähköisiä oli noin 6430 ja ladattavia hybridejä oli noin 33880. Kaasulla toimivia autoja oli noin 11 150 ja flexfuel autoja suomessa oli noin 4300. Liikenteen päästöistä tehdyn ennusteen mukaan suomen jo tehtyjen toimien ansiosta 3,2 miljoonaa tonnia vuoteen 2030 mennessä. Tieliikenteellä tavoitellaan lisäksi 1,55 miljoonan hiilidioksiditonin lisä vähennystä. (Liikenne- ja viestintäministeriö. 2020.)

## 2 HISTORIA

Vuonna 1801 Humphrey Davy kehitti polttokennon periaatteen. Polttokennojen toimintaperiaate on keksitty vuonna 1838 saksalaisen Christian Friedrich Schönbeinin toimesta, joka julkaistiin vuonna 1839 Philosophical Magazine-lehdessä. Samana vuonna myös englantilainen Sir William Grove julkaisi Philosophical Magazine-lehdessä polttokennojen toimintaperiaatteesta artikkelin. Vuonna 1842 Grove julkaisi yksityiskohtaisen kuvauksen polttokennosta. Tämän johdosta Grovea pidetään polttokennojen isänä. Grove myös toteutti useita kokeita koskien mitä hän kutsuin kaasuvolttiakuksi. Kokeet lopulta osoittivat sen, että sähkövirtaa voidaan tuottaa sähkökemiallisella reaktiolla vedyn ja hapen välillä, kun katalyyttina käytetään platinaa. Polttokenno termiä käyttivät ensimmäistä kertaa saksalainen tutkija Ludwig Mond ja hänen tutkijaparinsa englantilainen Charles Langer vuonna 1889 jotka tutkivat hiilikaasun käyttöä polttoaineena. Kokeessa oli tarkoitus muuttaa hiilikaasu suoraan sähköksi. (Fuelcellworks. n.d.)

Vuonna 1932 Cambridgen professori Francis Bacon loi ensimmäisen alkalipolttokennon muokkaamalla Langerin ja Mondin kehittämiä laitetta. Vuonna 1959 Bacon esitteli käytännöllisen 5 kW:n polttokenno järjestelmän. 1950-luvun lopulla ja 1960-luvun alussa NASA ja sen yhteistyökumppanit alkoivat kehittämään ja käyttämään polttokennoja osana Gemini avaruus ohjelmaa. NASA ja yhteistyökumppanit kehittivät ensimmäisen protoninvaihtopolttokennon. 1966 General Motors esitteli ensimmäisen polttokennoilla toimivan konsepti auton Electrovan. Auton polttokenno tuotti 32kW ja sen kantama oli noin 150 mailia. Sitä pidettiin aikansa edistyneimpänä sähkö ajoneuvona. (Fuelcellworks. n.d. GM Heritage Center.2019.)



KUVA 1. ELECTROVAN. (GM Heritage Center. 2019)

1970-luvulla öljy kriisin johdosta useat saksalaiset, japanilaiset ja Usalaiset auton valmistajat alkoivat kehittelemään polttokennoilla toimivia autoja, mutta ne unohdettiin 1990-luvulle asti, jolloin auton valmistajat alkoivat taas kehittelemään polttokennoja ajoneuvoissa ja esittelemään konseptiautoja. 1990-luvun puolessa välissä auton valmistajat taas alkoivat kiinnostua polttokennoilla toimivista autoista ja alkoivat kehittää ja suunnitella niitä. vuosikymmenen lopulla auton valmistajat alkoivat esittelemään konsepti autojansa ja joitakin autoja päätyi tuotantoon asti. (Fuelcellsworks. n.d.)

2000-luvulla auton valmistajat jatkoivat polttokennoautojen kehittämistä ja tuomista tuotantoon, mutta suurin osa autoista oli saatavilla vain leasing yhtiöiden kautta. Vuosituhannen alussa useat valtiot alkoivat tukemaan polttokennojen hyödyntäminen voimalaitoksissa. EU, Kanada, Japani, Etelä-Korea ja Yhdysvallat alkoivat tukemaan hankkeita, jotka edistävät polttokennojen, polttokennoajoneuvojen ja niihin tarvittavan infrastruktuurin kehittämistä. Vuosikymmenen puolessa välissä MYFLEET/CUTE hankkeessa EU, Kiina ja Australia ottivat kymmeniä polttokennoilla toimivia busseja käyttöön ja niitä on käytössä edelleen. 2010-luvulla polttokennojen käyttö alkoi kasvamaan suuresti. Polttokennojen käyttö erilaisissa koneissa ja laitteissa alkoi yleistymään ja markkinoille alkoi tulemaan uusia toimijoita. Vuonna 2020 Daesan Industrial Complex, joka sijaitsee Seosanissa Etelä-Koreassa avattiin maailman suurin polttokennoilla toimiva voimalaitos, joka tuottaa vuodessa 400 000 MWh sähköä. (Fuelcellsworks. n.d.)

## 3 POLTTOKENNOT

### 3.1 Teoria

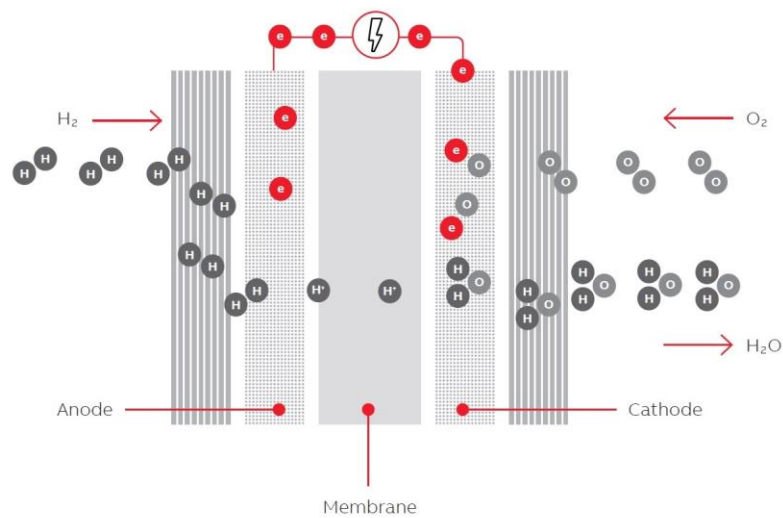
Polttokennot ovat sähkökemiallisia muuntimia, jotka muuntavat polttoaineen sisältämän kemiallisen energian sähkö- ja lämpöenergiaksi. Polttokenno kuitenkin tarvitsee toimiakseen jonkin energialähteen. Polttokennossa voidaan käyttää polttoaineena vetyä, ammoniakkaa, hiili, hiilimonoksidia, metanolia, etanolia, propaania, butaania, maakaasua, dieseliä, alumiinia, magnesiumia ja sinkkiä. Polttokennot jaotellaan joko toimintalämpötilan mukaan korkea- ja matalalämpöisiin polttokennoihin tai käytettävän elektrolyyttimateriaalin mukaisesti. (Hallinen 2007; Motiva 2020.)

Korkealämpöiset polttokennot toimivat yli 600°C ja matalalämpöiset polttokennot toimivat alle 250°C lämpötilassa. Kun polttokennot jaotellaan elektrolyyttimateriaalin mukaisesti, saadaan kuusi polttokennotyyppiä, jotka ovat alkalipolttokenno, fosforihappopolttokenno, kiinteäoksidipolttokenno, protoninvaihtopolttokenno, sulakarbonaattipolttokenno ja suorametanolipolttokenno. Suorametanolipolttokennoa ei aina jaotella omaksi polttokennotyypiksi koska se on rakenteeltaan ja toiminnaltaan samanlainen kuin protoninvaihtopolttokenno. Polttokennojen koot vaihtelevat pienistä paristoista suuriin energialaitoksiin sopiviksi. Joillakin polttokennoilla päästään nollapäästöihin, kunhan niissä käytettävät polttoaineet on valmistettu ympäristöystävällisesti. Polttokennot ovat samanlaisia toimintaperiaateiltaan, mutta niissä käytettävät materiaalit ja polttoaineet vaihtelevat suuresti. (Hallinen 2007; Motiva 2020.)

Polttokennojen kenno koostuu katodista ja anodista. Katodit ja anodit erotetaan toisistaan elektrolyytillä. Polttokenno järjestelmässä on useita kennoja liitetty sarjaan toisiinsa. Anodilla ja katodilla on katalyytti mikä saa niille tulevat polttoaineet reagoimaan keskenään. Reaktioiden johdosta syntyy sähköä ja lämpöä. Syntyvä sähkö saadaan otettua käyttöön johtamalla se esimerkiksi akuille tai sähkömoottorille. (Hallinen 2007; Motiva 2020.)

### 3.2 Polttokennojen rakenne

Polttokennojen kenno koostuu katodista ja anodista. Katodit ja anodit erotetaan toisistaan elektrolyytillä. Anodilla ja katodilla on katalyytti mikä saa niille tulevat polttoaineet reagoimaan keskenään. Reaktioiden johdosta syntyy sähköä ja lämpöä. Syntyvä sähkö saadaan otettua käyttöön johtamalla se esimerkiksi akuille tai sähkömoottorille. Kuvassa 2 näkee yhden polttokennon kennon rakenteen ja sen toimintaa. Polttokenno järjestelmässä on useita kennoja liitetty sarjaan toisiinsa. (VTT, Hallinen, M. 200; Motiva. 2020.)



KUVA 2. Polttokenno (ABB n.d.)

Polttokennot ovat rakenteellisesti erilaisia ja erikokoisia. Polttokennon rakenteilla ja käytetyillä materiaaleilla voidaan vaikuttaa sen toimimiseen ja kustannuksiin. Kuten kuvasta 1 näkee, anodille tulevasta polttoaineesta eroaa vetyatomit ja negatiivisesti varautuneet elektronit. Vetyionit kulkeutuvat elektrolyytin ja kalvon lävitse.

### 3.3 Alkalipolttokenno

Alkalipolttokennon lyhenne on AFC. Elektrolyytinä alkalipolttokennoissa toimii kaliumhydroksidia (KOH) tai natriumhydroksidia (NaOH), mutta yleisesti käytetään kaliumhydroksidia. Katalyyttinä voi käyttää hopeaa, nikkeliä, muita jalometalleja ja metallioksiedeja, mutta yleisimmät ovat hopea ja nikkeli. Alkalipolttokennon hyviä puolia on nopea katodireaktio, jolla saadaan suorituskyky tehostumaan. Anodilla tapahtuvaa kemiallista reaktiota kuvaa kaava 1. Katodilla tapahtuvaa reaktiota kuvaa kaava 2. (VTT, Hallinen, M. 200; Motiva. 2020.)



Muita hyviä puolia on, että polttokennoa voidaan käyttää eri käyntilämpötiloissa. Lämpötilasta missä polttokennoa käytetään riippuen pitää muuttaa elektrolyytin vahvuutta alle 120°C käytetään seosta, jonka massasta 35–50 % on kaliumhydroksidia ja suurissa lämpötiloissa noin 250°C käytetään seosta, jonka massasta noin 85 % on kaliumhydroksidia. (VTT, Hallinen, M. 200; Motiva. 2020.)

Polttokennon hyötysuhde on 60–70 % ja sen tuottama sähkö energia on 10–100 kW. Huonoja puolia on, että alkalipolttokenno ei siedä ollenkaan hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) tai hiilimonoksidia (CO) polttoineen tai hapettimien seassa. Koska hiilidioksidi ja hiilimonoksidi reagoivat kaliumhydroksidin kanssa, jolloin siitä muodostuu kaliumkarbonaattia (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) muuttaen elektrolyytin koostumusta käyttötarkoitukseen sopimattomaksi. Käyttämällä elektrolyytin kierrätystä voidaan pienentää sen herkkyyttä CO ja CO<sub>2</sub> pitoisille ilmalle. Jos polttokennossa käyttää elektrolyytin kierrätystä tai poistaa CO ja CO<sub>2</sub> pitoisuudet ilmasta jollain muulla tavalla saa kasvatettua polttokennon ikää, mutta polttokennon hyötysuhde kärsii tästä ja polttokennon järjestelmästä tulee monimutkainen. Alkalipolttokennon kemiallisesta reaktiosta syntyvät päästöt ovat 4OH<sup>-</sup> eli 4 Hydroksidi-onia. Polttokennon muita hyviä puolia on sen luotettavuus ja sen johdosta soveltuu hyvin vaativiin olosuhteisiin, jonka johdosta se on käytössä avaruusaluksissa ja avaruusohjelmissa ainakin NASA:lla. (U.S. Department of Energy Hydrogen Program. 2006; VTT, Hallinen, M. 2007.)

### 3.4 Fosforihappopolttokenno

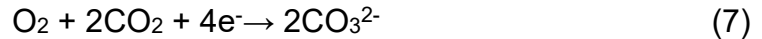
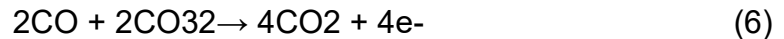
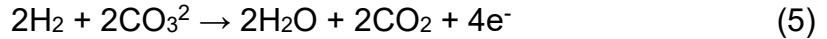
Fosforihappopolttokennon lyhenne on PAFC. Elektrolyytinä Fosforihappopolttokennessa toimii väkevöity fosforihappo. Katalyyttinä käytetään platinaa. Fosforihappopolttokennot toiminta lämpötilat ovat yleensä 150–220°C. Polttokenno on vähemmän herkkä CO:lle kuin alkalipolttokennot ja polymeeripolttokennot. Anodilla tapahtuvaa kemiallista reaktiota kuvaa kaava 3. Katodilla tapahtuvaa reaktiota kuvaa kaava 4. (VTT, Hallinen, M. 2007.)



Polttokenno on yleisimmin käytössä CHP-tuotannossa eli prosessissa missä tuotetaan samanaikaisesti sähköä ja lämpöä. Polttokennolla saadaan aikaan 40–50 % hyötysuhde sähkö energiantuotannossa järjestelmälle ja hukkalämpö saadaan käytettyä lämmitykseen, jonka johdosta kokonaishyötysuhteeksi saadaan jopa 85 %. Polttokenno tuottama sähkö energia on 5kW-1MW. Huonoja puolia on, että polttokenno tarvitsee hään eli hiilimonoksidin puhdistuslaitteiston. Muita huonoja puolia on, että järjestelmä tarvitsee kalliita platinakatalyyttejä ja fosforihapon takia järjestelmä vaatii kalliiden erikoismateriaalien käyttöä rakenteissa. Polttokennon korkean hinnan johdosta ei ole vielä kovin yleistynyt, vaikka on yleisin polttokenno tyyppi. (U.S. Department of Energy Hydrogen Program. 2006; VTT, Hallinen, M. 2007.)

### 3.5 Kiinteäoksidipolttokenno

Kiinteäoksidipolttokenno lyhenne on SOFC. Elektrolyytinä polttokennessa toimii yttria-zirkonia seos, joka on O<sup>2</sup>-johde. Anodina toimii nikkeli-yttria-zirkonia seos. Katodina toimii mangaanidioksidi seos eli MnO<sub>2</sub>-seos. Katalyyttinä polttokennessa toimii nikkeli ja reaktioaineena käytetään yleensä vetyä, mutta siinä voidaan käyttää myös hiilimonoksidia tai metaania. Anodilla tapahtuu kemiallinen reaktio mitä kuvaavat kaavat 5 ja 6 riippuen mitä käyttää reaktio aineena. Katodilla tapahtuvaa reaktiota kuvaa kaava 7



Jos polttokennossa käytetään hiilivetyjä pitää niistä erotella vety reformoinnilla. Polttokennon kennot valmistetaan keraamisista materiaaleista. Polttokennon käyttö lämpötila on 500–1000°C. VTT, Hallinen, M. 2007.

Polttokennon hyviä puolia ovat nopeat reaktiot ja halvat katalyytit. Halpojen katalyyttien johdosta polttokennon hinta ja käyttökustannukset pienenevät. Polttokennoon voidaan yhdistää höyry/kaasuturbiini jotta saadaan tuotettua lisää sähköä.

Nykyisin saatavilla olevat SOFC-polttokennot voivat saavuttaa 85 % hyötysuhteen CHP tuotannossa ja sähköä voivat tuottaa jopa 70 %:n hyötysuhteella. Polttokennon huonoja puolia ovat materiaalit ja korkeat lämpötilat. (U.S. Department of Energy Hydrogen Program. 2006; VTT, Hallinen, M. 2007.)

### 3.6 Protoninvaihtopolttokenno

Protoninvaihtopolttokennon lyhenne on PEMFC. Protonin vaihtopolttokenno tunnetaan myös nimellä polymeeripolttokenno, jolloin lyhenne on PEFC. Polttokennossa anodille syötetään vetyä, jossa se alkaa reagoimaan katalyytin kanssa synnyttäen vetyioneja ja elektroneja. Anodilla tapahtuu kemiallinen reaktio mitä kuvaa kaava 8.



Polttokennossa vain vetyionit pääsevät kulkeutumaan elektrolyytin läpi. Negatiivisesti varautuneet elektronit kulkeutuvat sähköjohdinta pitkin luoden sähkövirran. Vetyionit ja elektronit kulkeutuvat katodille, jonne syötetään happea. Happi, vetyionit ja elektronit reagoivat toistensa kanssa synnyttäen vettä. Katodilla tapahtuvaa reaktiota kuvaa kaava 9.



Polttokennossa anodi ja katodi ovat päällystetty katalyytillä. Polttokennoissa Katalyyttinä käytetään jalometalleja yleensä platinaa. Polttokennossa elektrolyytinä käytetään joko vettä tai mineraalihappoa. Vettä käytetään elektrolyytinä, kun polttokennon käyttölämpötila on alle 100°C jos polttokennon käyttölämpötila ylittää 100°C niin käytetään mineraalihappoa. (VTT, Hallinen, M. 2007.)

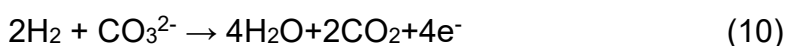
Polttokennon hyviä puolia on matala toiminta lämpötila. Matalan toiminta lämpötilan johdosta polttokennolla on nopea käynnistyminen. Muita hyviä puolia polttokennossa on, että sen ainoat päästöt ovat vesi ja kaasusäiliöistä karkaava vety.

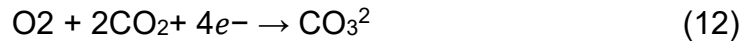
Polttokennon hyötysuhde on 50–60 % kun elektrolyytinä käytetään vettä. Mineraalihappoa käytettäessä hyötysuhde on 40–60 % Polttokennon huonoja puolia on, että elektrolyytin ionijohtavuus vaatii paljon vettä tai mineraalihappoa. Muita huonoja puolia on ohut elektrolyytti voi aiheuttaa vedyn tihkumista katodille. Polttokennon katalyytti materiaali myrkyttyy pienistä määristä häkää jo 50 ppm CO:ta. (U.S. Department of Energy Hydrogen Program. 2006; VTT, Hallinen, M. 2007.)

### 3.7 Sulakarbonaattipolttokenno

Sulakarbonaattipolttokennon lyhenne on MCFC. Polttokennossa anodille syötetään kemiallista yhdistettä  $2\text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-}$  reagoimaan katalyytin kanssa. Polttokennossa anodille voi myös syöttää yhdistettä  $2\text{CO} + \text{CO}_3^{2-}$ .

Polttokennoissa Katalyyttinä käytetään metalleja yleensä nikkeliä. Polttokennossa elektrolyytinä käytetään litium, kalium- tai natriumkarbonaatti seosta sidottuna Litiumaluminaatti  $\text{LiAlO}_2$  matriisiin,  $\text{CO}_3^{2-}$  karbonaattianioni johde. Polttokennon toiminta lämpötila on korkea 500–1000°C. Anodilla tapahtuu kemiallinen reaktio mitä kuvaavat kaavat 10 ja 11 riippuen mitä käyttää reaktio aineena. Katodilla tapahtuvaa reaktiota kuvaa kaava 12. (VTT, Hallinen, M. 2007.)





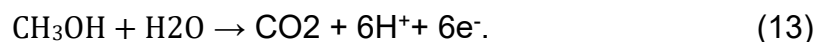
Polttokennon hyviä puolia on sen halvemmat katalyytit, jotka laskevat polttokennon hintaa ja käyttökuluja. Suuren lämmön tuotannon ansiosta polttokenno soveltuu CHP tuotantoon. Polttokennon hyötysuhde on 50–60 % Sähkön tuotannossa ja CHP tuotannossa 85 % koska hukkalämpö saadaan hyödynnettyä. Muita hyviä puolia on polttokennon joustavuus polttoaineen suhteen.

Polttokennon huonoja puolia on, että kuumat elektrolyytit aiheuttavat korroosiota.

Huonoja puolia ovat myös materiaalit ja korkeat lämpötilat. (U.S. Department of Energy Hydrogen Program. 2006; VTT, Hallinen, M. 2007.)

### 3.8 Suorametanolipolttokenno

Suorametanolipolttokenno lyhenne on DMFC. Suorametanolipolttokenno on rakenteeltaan samanlainen kuin protoninvaihtopolttokenno. Polttokennoissa ainoa eroavaisuus on, että suorametanolipolttokennossa anodille syötetään metanolia vedyn sijasta, muuten prosessi on aivan samanlainen. Polttokennossa anodille syötetään metanolia, jossa se alkaa reagoimaan katalyytin kanssa. Negatiivisesti varautuneet elektronit kulkeutuvat sähköjohdinta pitkin luoden sähkövirran. Reaktio tapahtuu kaavan 13 mukaisesti. Katodilla tapahtuu reaktio kaavan 14 mukaisesti. (Ranta A, Noponen T, Granström T, Scotti G, Kanninen P, Franssila S ja Halme A. 2010)



Polttokennossa anodi ja katodi ovat päällystetty katalyytillä. Polttokennoissa katalyyttinä käytetään jalometalleja yleensä platinaa. Polttokennossa elektrolyytinä käytetään polymeerikalvoa. (Ranta A, Noponen T, Granström T, Scotti G, Kanninen P, Franssila S ja Halme A. 2010)

Polttokennon hyviä puolia on, että se on päästötön ja metanolia on helpompi säilöä kuin vetyä. Polttokennon huonoja puolia on sen matala hyötysuhde verrattuna muihin polttokennoihin. Polttokennon hyötysuhde on 20 %.

### **3.9 Yhteenveto**

Polttokennot voivat olla ympäristöä kuorittamattomia energianlähteitä, jos niiden valmistus ja niissä käytettävät polttoaineet ovat valmistettu ympäristö ystävällisesti ja käyttäen uusiutuvaa energiaa. On olemassa muunlaisiakin polttokennoja kuin esitetyt polttokennot, mutta ne yleensä luokitellaan esitettyjen polttokennojen alalajeiksi, esimerkiksi suora etanoli polttokenno on samanlainen kuin suorametanolipolttokenno. Mikrobiologinen polttokenno, jossa polttokennon tarvitseman vedyn tuottaisi bakteerit.

Polttokennoja on erilaisia ja jokainen toimii erilaisissa oloissa. Polttokennoja hankkiessa kannattaa suunnitella tarkkaan minkälaiseen käyttöön se on tulossa ja perehtyä eri vaihtoehtoihin tarkasti. CHP tuotantoon soveltuvia polttokennoja ovat esimerkiksi kiinteäoksidi- ja sulakarbonaattipolttokennot. Ajoneuvo teollisuudessa ollaan keskittymässä pääsääntäisesti protoninvaihto ja polttokennoihin. Protoninvaihtopolttokennojen käyttöä edistää se, että sillä saadaan tuotettua vedystä ja hapesta hyvällä hyötysuhteella sähköä auton tarpeisiin ja siitä päästöinä syntyy pelkästään vettä.

TAULUKKO 1. Polttokennojen vertailu. (U.S. Department of Energy Hydrogen Program. 2006; VTT, Hallinen, M. 2007.)

Polttokenno- tyyppi	Elektrolyytti	Käyttö- lämpöti- la	Ken- non koko	Katalyytti	hyötysuh- de
Alkali	Kaliumhydroksi- dia tai natrium- hydroksidi	100– 250°C	1- 100k W	nikkeliä, ja- lometalleja ja metallioksi- deja	60–70 %
Fosforihappo	Fosfori-happo	150– 200°C	5kW- 1MW	Platina	85 %
Kiinteäoksidi	yttria-zirkonia seos	500– 1000°C	1kW- 3MW	Nikkeli	70 %
Protoninvaihto	Vesi	80– 100°C	1- 250k W	Platina	50–60 %
Protoninvaihto	Mineraalihappo	yli 120°C	1- 250k W	Platina	40–60 %
Sulakarbonaatti	litium, kalium- tai natriumkar- bonaatti seosta sidottuna Li- tiumaluminaatti matriisiin	650°C	300k W	Nikkeli	60–70 %
Suorametanoli	Polymeerikalvo	30– 130°C	1- 100k W	Platina	20 %

## 4 VETY SEN VALMISTUS JA SÄILÖNTÄ

### 4.1 Vety

Vety on jaksollisen järjestelmän ensimmäinen alkuaine ja sen kemiallinen merkki on H. Vety on ilmaa kevyempi kaasu. Huoneenlämmössä noin 20°C ja tavallisessa ilmanpaineessa vety on hajuton, väritön, ja mauton. Vedyn sulamispiste on -259,14°C tai 14,01 K ja sen kiehumispiste on -252,87°C tai 20,28 K.

Vety esiintyy luonnossa kaksiatomisina molekyyleinä H<sub>2</sub>. Vedyn tunnetuin vetyyhdiste muoto maapallolla on vesi.

Vedyn säilöntä ja valmistus on haastavaa koska kaasumainen vety on reaktiivista. Reaktiivisuuden takia vety on helposti syttyvää mikä tekee kaasumaisen vedyn säilönnästä ja valmistuksesta haastavaa. Vedyn säilönnässä on kolme eri vaihto ehto ovat säilöminen kaasumuodossa, säilöminen nestemäisessä muodossa tai säilöä vetyä sitomalla se metallihybrideihin.

### 4.2 Vedyn valmistus

Vetyä voidaan valmistaa usealla eri tavalla. Vedyn valmistuksessa voi käyttää useita erilaisia vedyn lähteitä. Valmistus prosessista riippuen vedyn valmistus voi olla täysin päästötöntä ja ympäristö ystävällistä, mutta joillain valmistus menetelmillä vedyn valmistus tuottaa hiilidioksidia. (U.S. Department of Energy)

Vetyä voidaan valmistaa höyryreformoimalla tai käyttämällä elektrolyysi. Höyryreformointi on maailman yleisin tapa ja elektrolyysi on ympäristö ystävällinen tapa, jos tuotannossa käytettävä sähkö on valmistettu käyttäen uusiutuvaa energiaa. On olemassa muitakin tapoja valmistaa vetyä, mutta ne ovat vielä kehitys ja testaus vaiheissa. Vetyä saadaan myös teollisuuden sivutuotteen.

## 4.2.1 Höyryreformointi

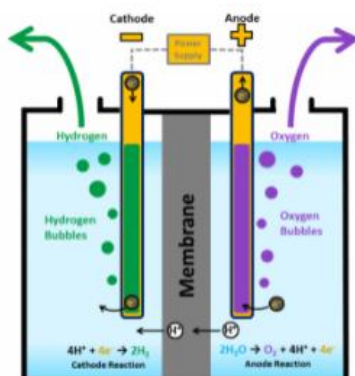
Vetyä pystytään valmistamaan höyryreformoimalla raakaöljyä, maa- tai biokaasua. Höyryreformoinnissa käytetään katalyyttinä nikkeliä tai muita sopivia materiaaleja. Raakaöljyä reformoidessa reaktio tapahtuu kaavan 13 mukaisesti. Maakaasua reformoidessa reaktio tapahtuu kaavan 14 mukaisesti. (Motiva 1; U.S. Department of Energy 2)



Prosessissa syntyy vetyä ja hiilidioksidia. Reaktio tapahtuu 700–1000°C välissä ja paineen ollessa 3–25 Bar. Prosessi voi olla ympäristöystävällinen, jos tehtaalla on käytössä hiilidioksidin talteenotto järjestelmät. Maakaasun reformointi on yleisin vedyn valmistus tapa. Vetyä voi valmistaa myös höyryreformoimalla biokaasua. (Motiva 1; Motiva 1; U.S. Department of Energy 2)

## 4.2.2 Elektrolyysi

Elektrolyysissä vedestä erotetaan vety ja happi atomit toisistaan käyttämällä sähköä. Prosessissa käytetään vetygeneraattoria eli elektrolysaattoria. Vetygeneraattori koostuu anodista ja katodista ne ovat eroteltu toisistaan elektrolyytillä. Kuva 3 kuvaa polymeerielektrolyyttikalvovetygeneraattorin toimintaa.



KUVA 3. polymeerielektrolyyttikalvovetygeneraattori (U.S. Department of Energy 1)

Vetygeneraattoreita on erilaisia ja niiden toiminta tavat vaihtelevat vetygeneraattorista riippuen. Yleisimpiä vetygeneraattoreita ovat polymeerielektrolyttikalvo-, alkali- ja kiinteä oksidivetygeneraattori. Elektrolyysillä tuotettu vety puhtainta ja täysin päästötöntä, jos käytetty sähkö on tuotettu päästöttömästi. Elektrolyysillä tuotettaessa vetyä kustannukset ovat suuremmat kuin esimerkiksi höyryreformoimalla. (Motiva 1; U.S. Department of Energy 1)

#### **4.2.3 Biomassan kaasuunnus**

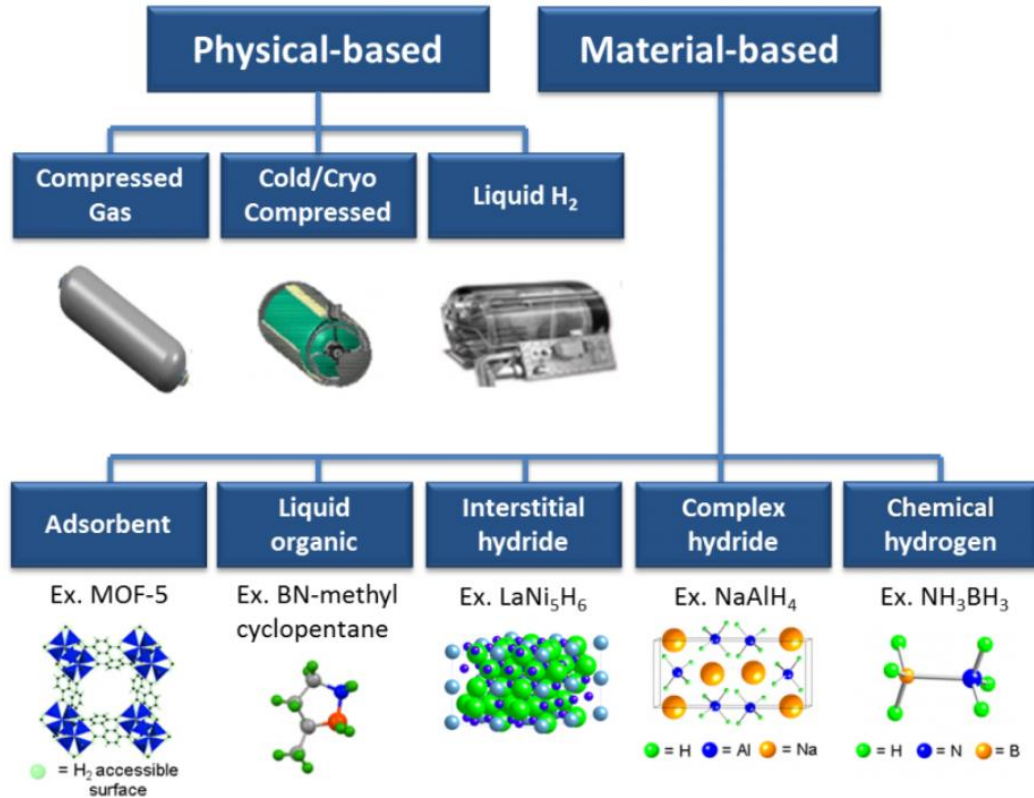
Biomassa on uusiutuva orgaaninen luonnonvara. Biomassaa voidaan valmistaa esimerkiksi maataloudesta kertyviä biojätteitä ja viljelystä ylijääviä olkia. Biomassaa saa tehtyä myös puista ja hakkuista jäävistä jätteistä esimerkiksi oksista ja kannoista. Biomassassa voidaan käyttää myös omakotitalouksien biojätteitä ja muita jätteitä. Käyttämällä biomassan kaasuunnutusta myös vähentää myös vähentää kaatopaikoille päätyvää jätettä koska prosessissa voidaan hyödyntää myös niitä. (U.S. Department of Energy 4. n.d)

Biomassan kaasutus on prosessi muuntaa orgaaniset, fossiilipohjaiset ja hiilipitoiset materiaalit korkeissa lämpötiloissa noin 700°C kontrolloidulla määrällä happea ja höyryä hiilimonoksidiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi. Jonka jälkeen voidaan tuottaa lisää vetyä käyttämällä veden kaasunsiirtoreaktiota missä hiilimonoksidi reagoi sitten veden kanssa muodostaen hiilidioksidia ja enemmän vetyä. Adsorbentit tai erikoiskalvot voivat erottaa vetyä prosessin aikana. Käytössä on, myös erilaisia biomassan kaasuunnus keinoja. Jokainen keino eroaa toisesta jossakin prosessin vaiheessa. Valmistuksesta syntyvä kaasu riippuu valmistus prosessista ja siinä käytettävästä biomassasta. (U.S. Department of Energy 4. n.d)

#### **4.3 Vedyn säilöntä**

Vetyä voidaan varastoida kaasumaisena, nestemäisenä ja sidottuna esimerkiksi metallihybrideihin. Vetyä voidaan säilöä myös sidottuina materiaaleihin. Kuvassa 4 näkee erilaisia vedyn säilöntä muotoja.

## How is hydrogen stored?



KUVA 4. Vedyn säilöntä. (U.S. Department of Energy 3)

Vedyn säilöminen kaasumaisessa muodossa vaatii korkeaa painetta 350–700 baaria. Korkeassa paineessa säilöminen vaatii vedyn säilöntä säiliöiltä korkean paineen kestämistä.

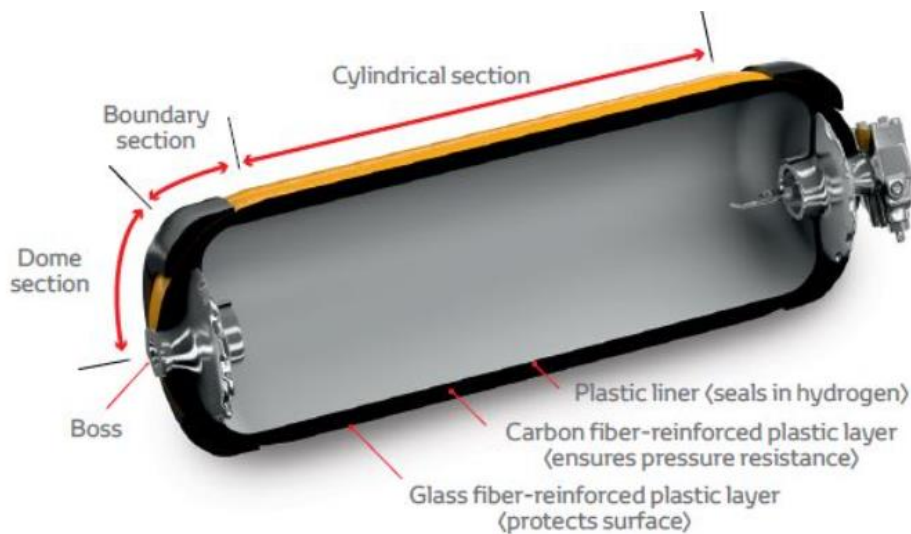
Vetyä voidaan säilöä myös nestemäisessä muodossa. Vedyn säilöminen nestemäisessä muodossa on hankalaa koska vety saadaan nestemäiseen muotoon jäädyttämällä se  $-253^{\circ}\text{C}$ . Nestemäisen vedyn säilöntä vaatii, että säiliöissä on jäähditys järjestelmä, joka pitää vedyn  $-235^{\circ}\text{C}$ :ssa tai vety muuttuu kaasumaiseksi. (Motiva 1; U.S. Department of Energy 3)

Vety voidaan varastoida myös sitomalla se muihin materiaaleihin esimerkiksi metallihybrideihin. Metallihybrideihin varastoiminen ei ole vielä valmis kaupalliseen käyttöön koska metallihybridisäiliöt olisivat raskaita ja pystyisivät sitomaan vetyä alle 10 % omasta massastaan. Metallihybridi säiliöt ovat kuitenkin turvallinen tapa säilöä vetyä koska niissä ei tarvita korkeaa painetta tai kylmää säilömistä vaan vety on sidottuna metallihybrideihin ja vapautuu kun niitä lämmitetään. (Motiva 1; U.S. Department of Energy 3)

## 5 VETYSÄILIÖT JA TANKKAUS

### 5.1 Vetysäiliöt

Vetysäiliö koostuu useista kerroksista yleensä kolmesta. Kerrokset valmistetaan eri materiaaleista, jotta säiliöstä saadaan tarpeeksi tukeva ja painetta kestävä. Materiaali valinnoilla voidaan myös vaikuttaa säiliöiden painoon ja sijoittelu mahdollisuuksiin. Sisäkerrokset on valmistettu metallista, muovista tai komposiitista. Sisäkerros ei saa reagoida vetykaasun kanssa ja sen täytyy kestää korroosiota. Keskimmäinen kerros on yleensä valmistettu hiilikuidusta, muovista tai niiden sekoituksista. Päällimmäinen kerros valmistetaan yleensä lasikuitu komposiitista. Päällimmäisen kerroksen tarkoitus on vahvistaa säiliön rakennetta ja suojella sitä ulkoisilta osumilta. Kuvassa 5 näkee Toyota Mirain vety säiliön rakenteen. (Cornaert J. 2015.)



KUVA 5. Toyota Mirain vetysäiliö. (Cornaert J)

Kuvassa 5 näkyvä Toyota Mirain vety säiliön sisäkerros on valmistettu muovista. Keskimmäinen kerros hiilikuidulla vahvistetusta muovista ja päällimmäinen kerros on valmistettu lasikuidulla vahvistetusta muovista. Kyseisissä säiliöissä käytetään 700 Barin painetta, mutta säiliöt on suunniteltu kestävään 225 % enemmän painetta. (Cornaert J. 2015.)

Vetysäiliössä on kiinni venttiili, joka ohjaa säiliön täyttymistä ja tyhjentyä. Venttiili estää kaasun ylikuumentumisen säiliön täytyessä. Venttiili estää säiliötä täyttymästä liian nopeasti, joka aiheuttaa kaasun ylikuumentumisen. Venttiili vapauttaa kaasun turvallisesti sille suunnitellusta paikasta tulipalon tapahtuessa. (Cornaert J. 2015.)

## **5.2 Vedyn tankkaus**

Vedyn tankkaamista varten täytyy olla vedylle suunniteltutankkausasema ja omat laiteensa. Vedyn tankkaaminen tapahtuu samalla tavalla kuin bensiinin tai dieselin, mutta on hieman hitaampaa. Vety säiliöiden tankkaus autosta riippuen vie noin 2–6 minuuttia. Tankkaus nopeuteen vaikuttaa myös säiliöiden koko. Vetyä tankatessa syöttölaite lukitaan autoon ja laitteisto tekee, testauksen onko järjestelmässä vuotoja. (Cornaert J. 2015.)

Vety tankkaus asemat ja ajoneuvon tankkaus liittimet noudattavat niille määrättyjä standardeja, jotka ovat SAE J2601, SAE J2799 ja ISO 17268. Standardeilla pyritään tekemään tankkaus prosessi mahdollisimman turvalliseksi. Niillä myös määritetään, että tankkaus asemilla laitteet sopivat erilaisiin ajoneuvoihin koska liittimien tulee olla samanlaisia. (Cornaert J. 2015.)

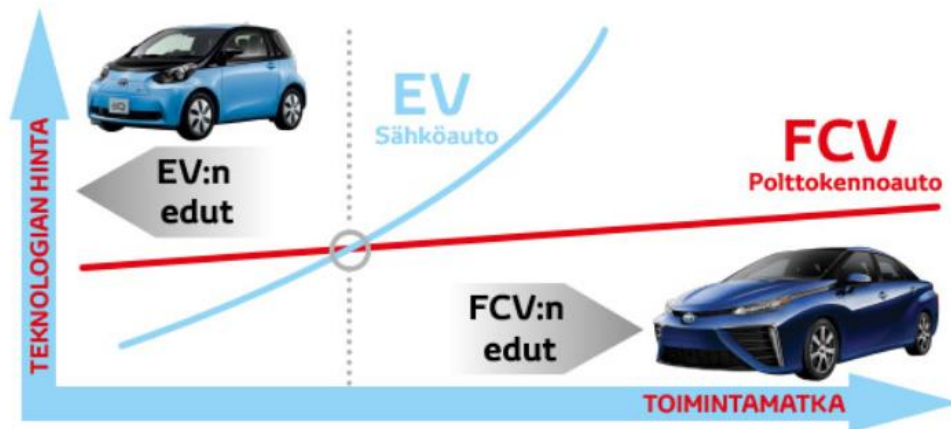
## 6 POLTTOKENNOJEN HYÖDYNTÄMINEN AJONEUVOISSA

Ajoneuvonvalmistajat ovat käyttäneet polttokennoja ajoneuvoissa 1990-luvun lopulta, mutta polttokennoilla toimivat autot ovat vieläkin pieniosa kaikista autoista. Polttokennoautoissa sen tarvitsema sähkö tuotetaan polttokennolla, joka muuttaa polttoaineen kemiallisen energian sähköenergiaksi.

Autonvalmistajien käyttämät polttokenno tyypit ovat protoninvaihtopolttokenno, suorametanolipolttokenno tai kiinteäoksidipolttokenno. Erilaisia polttokennoja käyttämällä haetaan eri asioita autoilta esimerkiksi, jos käytetään kiinteäoksidipolttokennoa ja siinä polttoaineena etanolia niin tankkaus helpompaa koska tankkaus voidaan suorittaa samalla lailla kuin bensa tai diesel autoihin.

### 6.1 Polttokennoautot

Polttokenno autojen hyviä puolia täyssähköautoihin verrattuna on sen kantama, tankkaus nopeus ja sen valmistuksesta syntyy pienemmät ympäristöpäästöt. Ajoneuvoissa käytettävän polttokenno teknologian hinta on laskenut vuodesta 2008 vuoteen 2015 jo 95 %. Polttokennoautojen kantamaa on helppo pidentää ilman suuria lisäkustannuksia polttokennoteknologiaan mitä autossa käytetään toisinkuin sähköautoissa kustannukset toiminta matkan pidentämiseksi voivat kasvaa kovin suuriksi. Kantomatkan ja teknologiaan hinnan nousua vertailua sähköauton ja polttokennoauton välillä on nähtävillä kuvassa 6. (Toyota Auto Finland Oy. n.d.)



KUVA 6. Kantomatkan ja teknologiaan hinnan nousua vertailua. (Toyota Auto Finland Oy. n.d.)

Tällä hetkellä polttokenno autot ovat huomattavasti kalliimpia kuin sähköautot. Kun polttokennoautot pääsisivät sarjatuotantoon, niiden hintojen oletetaan laskevan sähköautojen hintaluokkaan. Autonvalmistajat ovat kehittäneet materiaaleja, jolla kalliit jalometallit voitaisiin korvata halvemmilla materiaaleilla mikä laskee polttokenno autojen hintaa. (Toyota Auto Finland Oy. n.d.)

## 6.2 Auton valmistajat

Useilla erimerkeillä on polttokennoautoja tuotannossa tai suunnitteilla. Autonvalmistajia, joilla on autoja jo tuotannossa ovat Toyota, Hyundai, Mercedes-Benz ja Kia. Monilla auton valmistajilla kuitenkin on polttokenno autoja suunnitteilla kuten Nissanilla ja BMW:llä. General Motors valmistaa ja kehittää omille automerkeilleen polttokennoja ja niihin kuuluvaa tekniikkaa ja teknologiaa.

Osa auton valmistajista ei usko polttokennoautojen yleistymiseen eivätkä ole ryhtymässä valmistamaan tai suunnittelemaan polttokennoajoneuvoja esimerkiksi Tesla ja Volkswagen. Mercedes-Benz on suunnittelemassa polttokennoajoneuvojen valmistuksen lykkäämistä. (Hill J. 2021.)

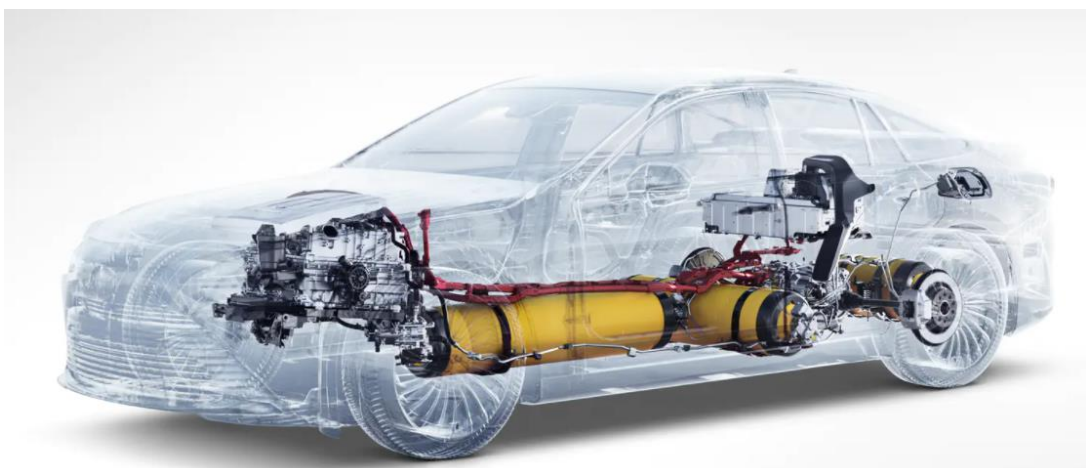
## 6.2.1 Toyota Mirai

Toyota Mirain nykyinen korimalli on seitsemännen sukupolven vetyauto mitä Toyota valmistaa. Toyota on valmistettu vuodesta 1996 lähtien vetyajoneuvoja. Kuvasta 7 näkee miltä Mirai näyttää.



KUVA 7. Toyota Mirai ( )

Toisen sukupolven Mirai on edeltäjänsä huomattavasti kehittyneemmällä teknologialla varustettu. Toisen sukupolven Mirailta saadaan noin 2 kertaa enemmän tehoa polttokennoista verrattuna edeltäjänsä. Mirain kantomatka on noin 650 km täydellä tankilla. Mirain polttokennon energistiheys on 3.1kW/l ja auton maksimi teho on 113kW. Auton maksimi vääntö on 355 Nm. Kuvassa 8 näkee Mirain polttokenno järjestelmän komponenttien sijoittelun. (Toyota Auto Finland Oy. n.d.)



KUVA 8. Mirain polttokenno järjestelmän komponentit. ( Toyota Motor. 2021.)

## 6.2.2 Hyundai Nexo

Hyundai Nexo on Hyundain toisen sukupolven polttokennoauto, joka korvasi edeltäjänsä Hyundai ix35:n. Autossa käytetään protoninvaihtopolttokennoa. Autoa ei ole saatavilla tällä hetkellä suomen markkinoilla. Kuvasta 9 näkee Hyundain Nexon. (Hyundai Motor Finland, n.d.)



KUVA 9. Hyundai Nexo. (Hyundai Motor Finland, n.d.)

Auton maksimi teho on 120 kilowattia. Auton moottori tuottaa 395 newtonmetrin väännön. Nexo kiihtyy 0–100 km/h noin 9,2 sekunnissa. Auton huippunopeus on 179 km/h. Autossa on 3 vetysäiliötä, joihin mahtuu 52 litraa vetyä. Auton kantama on noin 670 km. (Hyundai Motor Finland, n.d.)

## 6.2.3 Mercedes-Benz GLC F-Cell

Mercedes-Benz GLC F-Cell on vety hybridi ajoneuvo. Autossa käytetään polttokennoja ja niiden lisäksi autossa on erilliset ladattavat akut. Pelkillä akuilla pystyy ajamaan noin 50 km ja polttokennoilla ajettaessa kantama on noin 430 km. Kuvassa kymmenen näkee miltä Mercedes-Benz GLC F-Cell näyttää. (Dailmer. 2019.)

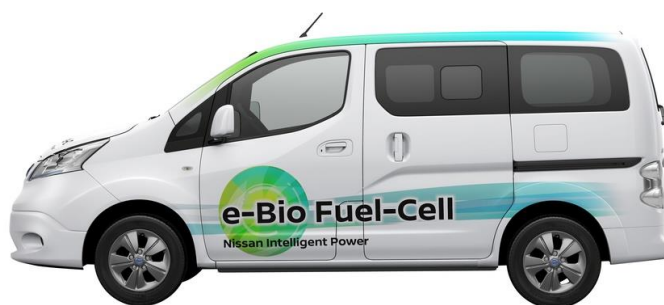


KUVA 10. Mercedes-Benz GLC F-Cell (Daimler. 2019.)

Auton maksimi teho on 147 kilowattia. Auton moottori tuottaa 350 newtonmetrin väännön. Auton huippunopeus on 160 km/h. Auton vetysäiliöihin mahtuu 4,4 kg vetyä. Auton kantama on noin 430 km vedyllä ja akuilla noin 50 km. (Daimler. 2019.)

#### 6.2.4 NISSAN e-Bio Fuel-Cell

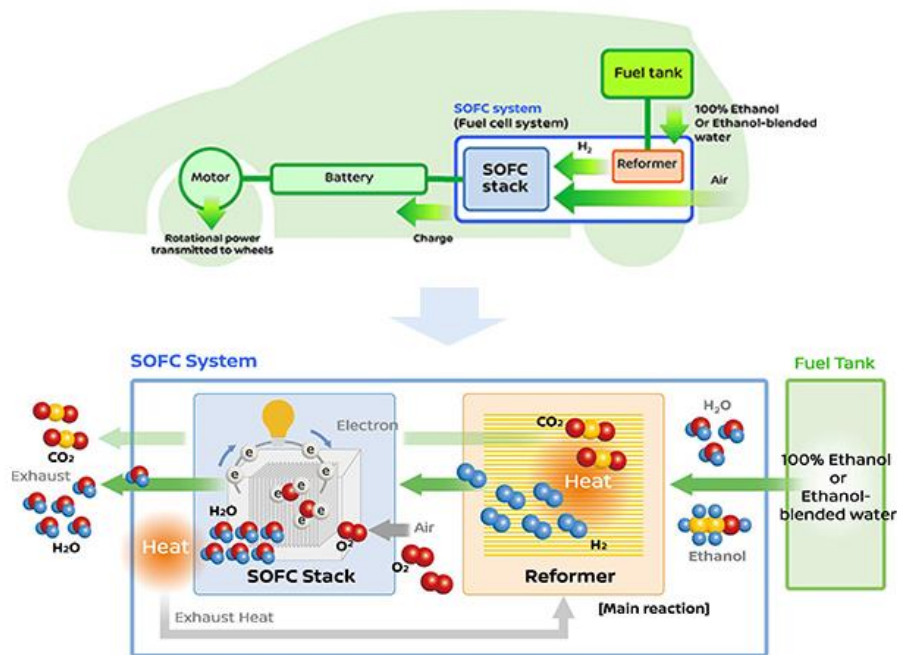
Nissanin polttokenno ajoneuvo on testaus vaiheessa. Autoa testataan Brasiliassa. Auto on rakennettu Nissan NV200 alustalle. Autosta ei ole vielä tietoa päätyykö se valmistukseen. Kuvasta 11 näkee miltä Nissanin polttokennoauto näyttää.



Kuva 11. Nissan e-Bio Fuel-Cell (Nissan Motor Corporation. 2016.)

Autossa käytetään kiinteäoksidipolttokennoa, joka käyttää polttoaineenaan 100 % etanolia tai etanoliin sekoitettua vettä. Polttokenno tuottaa 5kW tehon. Auton kantama on yli 600 kilometriä tankillisella. Polttoaineena käytetään 100 % eta-

nolia. Akkukapasiteetti autolla on 24 kW. Polttoaine säiliöiän koko on 30 litraa. (Nissan Motor Corporation. 2016.)



KUVA 12. Polttokennon toiminta tapa. (Nissan Motor Corporation. 2016.)

### 6.2.5 BMW i Hydrogen NEXT

BMW i Hydrogen NEXT projektina tunnettu polttokenno ajoneuvo mitä BMW kehittää on muokattu BMW X5:stä. Auton yksittäiset polttokennot ovat Toyotan tuottamia, mutta polttokennopino ja käyttöjärjestelmä ovat BMW kehittämiä. Kuvasta 13 näkee miltä BMW:n testi polttokennoauto näyttää.



KUVA 13. BMW i Hydrogen NEXT. (BMW GROUP. 2021.)

Auton maksimi teho on 125 kW, mutta autossa käytetään suorituskykykusku-riakkua, johon varastoidaan energiaa, jonka avulla autosta saa tehoa hetkelli-  
sesti noin 275 kW. Auton vetysäiliöihin mahtuu 6 kg vetyä. Auton kantama on  
noin 750 km. Autoa aletaan valmistamaan pieniä määriä testaus käyttöön  
vuonna 2022. (BMW GROUP. 2021.)

## 7 POHDINTA

Pariisin ilmastosopimus on ajamassa maita ja yrityksiä kehittämään mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittavia ja vähäpäästöisiä keinoja liikua ja tuottaa energiaa. Vetyä ollaan ajamassa seuraavaksi suureksi energia lähteeksi ajoneuvoihin ja energian tuotantoon. Teknologian millä vetyä voidaan käyttää energia lähteenä, on kuitenkin vielä alussa ja sen kehitys on alkanut nostamaan suosiota vasta 2010 luvulla vaikka. Vetyä tuotetaan kuitenkin tällä hetkellä pääsääntöisesti höyryreformoimalla sitä maakaasusta, jonka takia se ei ole vielä kovin ympäristöystävällistä. Kun vetyä valmistetaan elektrolyysillä vedestä, se on ympäristöystävällistä, jos siihen vaadittava energia tuotetaan uusiutuvalla energialähteellä. Tuottamalla vetyä elektrolyysillä on kallista verrattuna maakaasun höyryreformointiin.

Polttokennojen käyttämisellä ajoneuvoissa ja CHP-tuotannossa voidaan pienentää ympäristöpäästöjä sekä liikenteestä että sähkön- ja lämmöntuotannosta. Polttokennoja voidaan hyödyntää useissa erilaisissa laitteissa ja kulkuneuvoissa. Polttokennoja voidaan hyödyntää esimerkiksi paristoissa tai laivoissa. Polttokennoja käytettäessä ajoneuvoissa, laivoissa ja muissa kulkuneuvoissa voidaan pienentää maapallon hiilidioksidi ja muita ympäristöpäästöjä suuresti.

Useilla autonvalmistajilla on konsepti autoja, jotka olisivat valmiita tuotantoon mutta vähäisen kysynnän ja huonojen tankkaus mahdollisuuksien takia niitä ei ole vielä pistetty tuotantoon. Polttokennoautot ovat vielä kalliita verrattuna sähköautoihin ja vedyn tankkaus on kalliimpaa kuin sähköauton lataaminen.

Tällä hetkellä sähköautot ovat huomattavasti yleisempiä kuin polttokennoautot. Sähköauton etuja polttokennoajoneuvoon verrattuna ovat tankkausasemien määrä, sähkön hinta ja valtioiden ja EU:n tuet auton ostossa ja käytöstä. Polttokenno ajoneuvojen edut sähköautoon verrattuna ovat kantama ja tuotannon ympäristöystävällisyys. Vety ajoneuvoissa käytettävät akut ovat pienempiä kuin sähköautoissa, jonka ansiosta auton valmistuksessa päästöt ovat pienemmät. Polttokennoautojen kantama ei laske sää oloista riippuen niin paljoa kuin sähköautoilla, joilla kantama voi jopa puolittua sääoloista riippuen. Polttokennoauto-

jen kantama tällä hetkellä on merkistä riippuen 400 km ja 700 km välillä. Polttokenno ajoneuvojen kantamaa pystytään lisäämään helpommin kuin sähköautoissa. Polttokennoautoissa tarvitsee lisätä säiliö, joka ei tuo paljoa lisä painoa verrattuna sähkö autoihin joissa tarvitsisi lisätä akkuja jotka toisi lisää painoa tai kehittämällä akkuja joihin voi varastoida enemmän sähköä, mutta akkujen kehittäminen on kallista ja aikaa vieviä projekteja.

Ajoneuvoissa polttokennot eivät ole vielä yleistyneet. Polttokennoautojen yleistymistä hidastaa vedyn tankkausasemien puuttuminen. Suomessa ei tällä hetkellä ole yhtään vedyn tankkaus asemaa. Euroopan maista saksa, Iso-Britannia, Belgia ja Tanska ovat satsanneet vetyautoiluun. Saksassa oli 100 vedyntankkausasemaa vuonna 2020 ja vuoteen 2025 mennessä maassa on tarkoitus olla 400 tankkausasemaa. Iso-Britanniassa oli 65 vedyntankkausasemaa ja vuoteen 2025 mennessä tavoite on 300 tankkausasemaa. Tanskassa oli 15 vedyntankkausasemaa ja vuoteen 2025 mennessä tavoite on 185 tankkausasemaa. Belgiassa oli 25 vedyntankkausasemaa ja vuoteen 2025 mennessä tavoite on 75 tankkausasemaa. (Toyota Auto Finland Oy. n.d.)

Polttokenno ajoneuvot tekevät tulemistaan sitä mukaan, kun eri valtiot alkavat rakentamaan niille vaaittavaa infrastruktuuria. Suomessakin aiotaan aloittaa kokeilu minkä tarkoitus on testata polttokenno autojen suosiota, toimivuutta ja tulevaisuuden näkymiä suomessa.

Työssä käytettävät lähteet vaikuttavat luotettavilta, koska suurin osa lähteiden julkaisijoista on valtioiden alaisia laitoksia ja niiden tiedot perustuvat heidän tekemiin tutkimuksiin ja raporteihin. Lähteinä on myös käytetty polttokennoautojen valmistajien omia julkaisuja ja tietoja mitä he ovat jakaneet. Tutkimuksissa ja raporteissa kuitenkin saattaa olla virheitä tai materiaaleissa olevat tiedot saattavat ovat vanhentunutta tietoa.

## LÄHTEET

ABB. Fuel cell systems for ships. Luettu 29.4.2021

<https://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/power-generation-and-distribution/fuel-cell>

BMW GROUP. 2021. Everyday testing of BMW i Hydrogen NEXT with hydrogen fuel cell drive train begins. Julkaistu 16.6.2021 Luettu 21.10.2021.

<https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0334225EN/everyday-testing-of-bmw-i-hydrogen-next-with-hydrogen-fuel-cell-drive-train-begins?language=en>

Cornaert J. 2015. Hydrogen? Is that safe? Luettu 3.5.20201

<https://blog.toyota.eu/safety/hydrogen-is-that-safe/>

Dailmer. 2019. Mercedes-Benz GLC F-CELL. Eriytinen hybridi polttokennolla. Julkaistu 27.9.2019 Luettu 20.10.2021.

<https://www.daimler.com/sustainability/climate/glc-f-cell-environmental-check.html>

Fuelcellworks. n.d. Knowledge history. Luettu 20.3.2021

<https://fuelcellworks.com/knowledge/history>

GM Heritage Center. 2019. GM Hydrogen Fuel Cell Vehicles. Luettu 4.5.2021

[https://www.gmheritagecenter.com/featured/Fuel\\_Cell\\_Vehicles.html](https://www.gmheritagecenter.com/featured/Fuel_Cell_Vehicles.html)

HE 200/2016. Hallituksen esitys eduskunnalle Pariisin sopimuksen hyväksymisestä ja sopimuksen lainsäädännön alaan kuuluvien määräysten voimaansaatamisesta. Luettu 15.2.2021

<https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2016/20160200#idp446049760>

Hill J. 2021. The Driven: VW joins ranks of car makers rejecting hydrogen fuel cells. Julkaistu 16.3.2021. Luettu 19.5.2021.

<https://thedriven.io/2021/03/16/vw-joins-ranks-of-car-makers-rejecting-hydrogen-fuel-cells/>

Hyundai Motor Finland, n.d. Hyundai NEXO. Luettu 16.8.2021.

<https://www.hyundai.fi/mallisto/nexo/>

Jolly W. Britannica. Hydrogen chemical element. Luettu 24.4.2021

<https://www.britannica.com/science/hydrogen>

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2020. Liikenteen päästöt puoleen 2030 mennessä – tarvitaan laaja keinovalikoima. Julkaistu 27.10.2021 Luettu 7.5.2021.

<https://valtioneuvosto.fi/-/liikenteen-paastot-puoleen-2030-mennessa-tarvitaan-laaja-keinovalikoima>

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2020. Fossiilittoman liikenteen tiekartta - työryhmän loppuraportti Julkaisu 2020:17. Luettu 11.5.2021

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162508/LVM\\_2020\\_17](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162508/LVM_2020_17)

Motiva. 2020. Polttokenoautot. Luettu. 5.4.2021

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/polttokennoautot](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/polttokennoautot)

Motiva 1. 2020. Vety. Luettu 22.4.2021

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/energialahteet/vety](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/vety)

Nissan Motor Corporation. 2016. Nissan unveils world's first Solid-Oxide Fuel Cell vehicle. Julkaistu 4.8.2016. Luettu 17.5.2021.

<https://usa.nissannews.com/en-US/releases/nissan-unveils-world-s-first-solid-oxide-fuel-cell-vehicle#?>

Ranta A, Noponen T, Granström T, Scotti G, Kanninen P, Franssila S ja Halme A. 2010. Sähköä metanolipatruunasta. Proessori. Luettu 15.4.2021

<https://trip.ayy.fi/wiki/images/METANOLIPATRUUNA.pdf>

Toyota Auto Finland Oy. n.d. Mirai on saapunut. Nyt alkaa vetykäyttöisten ajoneuvojen päästötön aikakausi Luettu 11.5.2021

<https://www.toyota.fi/toyota/ymparisto/puhtaampaa-ilmaa/polttokennoautot.json>

Toyota Motor. 2021. 2021 MIRAI. Luettu 15.8.2021.

<https://www.toyota.com/mirai/>

U.S. Department of Energy. Hydrogen Production Processes.

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-processes>

U.S. Department of Energy 1. Hydrogen Production: Electrolysis.

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis>

U.S. Department of Energy 2. Hydrogen Production: Natural Gas Reforming.

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming>

U.S. Department of Energy 3. Hydrogen Storage. Luettu 3.5.2021.

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>

U.S. Department of Energy 4. n.d. Hydrogen Production: Biomass Gasification.

Luettu 15.5.2021

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-biomass-gasification>

U.S. Department of Energy Hydrogen Program. 2006. Hydrogen Fuel Cells.

Luettu 12.3.2021

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-processes>

VTT, Hallinen, M. 2007. Polttokennot. Luettu. 10.3.2021

<http://automation.tkk.fi/attach/AS-84-3134/hallinen107.pdf>