



**PDF -kopio**

# Kohti vedyn



**POLTTOKENNOAUTO on sähköauto, joka saa energiansa polttokennoista ja/tai akuista. Konepellin alla on sähkömoottori ja sen tarvitsemat säätölaitteet.**

toisen maailmansodan syttymiseen. Filmillä näkyvät liekit kuitenkin syntyivät ilmalaivan kelluke-tankkien palavasta kankaasta ja moottorien polttoaineesta.

Syttymissy lienee ilmalaivan ja maapotentiaalın välinen jännite, joka syntyi laivan leijuessa ankkuriköysien varassa. Vetyvuotoa ei ilmalaivalla havaittu. Se olisi todennäköisesti kyllä huomattu, sillä vety oli hajustettu valkosipulilla.

Onnettomuudesta selvisi hengissä 62 henkilöä ja 35 menehtyi. Tämä olisi hyvä selviytymisprosentti kerosiiniajan ilmaa raskaamilta lentokoneilta.

## Monia valmistustapoja

Vedyn valmistuskeinoja on useita. Elektrolyysissä vettä hajotetaan sähkövirran avulla alkutekijöihinsä vety- ja happikaasuksi. Koska alhainen jännite riittää, olisi tämä hyvä

aurinkokennoilla tehdyn sähkön varastointi- ja siirtotapa. Kennot tietenkin sijaitsisivat aurinkoisessa etelässä, joten siirtomatka teollisuusmaihin tulisi erittäin pitkä.

Aurinkokennotekniikan kehittyessä kennojen hinnat ovat laskeutuneet. Pitkällä tähtäimellä niiden käyttö vedyn tuottamiseen ei sinänsä vaikuta aivan mahdollimattain ajatukselta. Lisäksi kennot kestävät vuosikymmeniä, joten hinta muodostuu lähes kokonaan kennojärjestelmän valmistamisesta ja pystyttämisestä. Polttoainekustannuksiakaan ei aurinkokennojen käytöstä synny. Sijoituspaikan on oltava mahdollisimman hyvässä auringonpaisteessa, sillä mainitusta eduista huolimatta riittävän kokenen kennoston rakentaminen on joka tapauksessa kallista.

Tuulienergia on nykyisin jo mel-

*"Kivikausi ei loppunut kivien loppumisen takia. Öljyn aika loppuu, mutta ei öljyn loppumisen takia", Saudi-Arabian entinen öljyministeri Sheikki Ahmed Zaki Yamani totesi viime syyskuussa. Vaikka öljyvarat eivät ennusteiden mukaisesti loppuisikaan, vedystä on tulossa sekä ympäristön että talouden kannalta järkevin ja lopullinen ratkaisu energiajärjestelmäksemme.*

ANTTI KURKELA

**T**uoin energian siirtoaine on sähkö. Vetyä voidaan käyttää samaan tarkoitukseen. Kumpakaan näistä ei esiinny missään vapaana, vaan niitä on jotenkin tuotettava. Sähköllä sinänsä voi tehdä vaikka mitä, kuten muuttaa se pyöriväksi liikkeeksi, mutta pitkien siirtomatkojen aikana tulee energiahäviöitä. Sähkö on myös korkeasta jalostusasteesta johtuen muita energiamuotoja kalliimpaa. Tämän vuoksi vety on tulossa sähkön rinnalle energiaa siirtämään.

Ilmalaiva Hindenburgin onnettomuus vuodelta 1937 on ollut suurimpia vetytalouden esteitä. Media kävi saksalaisten ilmalaivojen kimppuun kumentuneessa kansainvälisessä tilanteessa: elettiin jo tapahtumia, jotka johtivat

**JOSKUS polttokennoautot liikkuvat kaduilla kuin mitkä tahansa autot. Ford-yhtymän omistaman TH!NK-merkin FC 5 -malli perustuu Focukseen. Vety valmistetaan metanolista reformerilla. Polttokennoauto kuluttaa vain noin puolet polttomoottoriauton vaatimasta energiasta.**



Tätä tulostetta ei saa käyttää mainos- ja myyninedistämistarkoituksiin.

# aikaa

ko kilpailukykyistä. Tuulivoimalla valmistetun vedyn siirtäminen tulisi aurinkokennolla tehtyä vetyä halvemmaksi. Samalla voitaisiin myös jossain määrin varastoida tuulienergiaa. Polttoainekustannukset ovat tietenkin tässäkin tapauksessa nolla, mikä voi olla hyvä asia polttoaineen hinnan ollessa epävakaa.

Vetyä voidaan valmistaa myös kaasusta tai muista hiilivedyistä, jopa kivihielestä. Maakaasu koostuu enimmäkseen metaanista, joka on yksinkertaisin hiilivety. Monissa tapauksissa vetyä valmistetaan aluksi maakaasusta. Tosin tällöin hiilen lämpöarvo menetetään, ja vedystä tulee vääjäämättä maakaasua kalliimpaa. Vety voidaan erottaa maakaasusta myös käyttö-

kohteessa suhteellisen yksinkertaisella reformerilla. Vaikka tällöin ei voi puhua varsinaisesti vedyn käytämisestä energian siirtovälineenä, olisi suunta kuitenkin kohti vedynkäyttöä.

Nestemäistä polttoainetta on helppo käsitellä ja tankata autoihin. Tämän vuoksi ensimmäiset vetykäyttöiset autot saanevat tarvitsemansa vedyn metanolista, joka on kevein nestemäinen vetyä sisältävä yhdiste. Metanolia – joka on kevein alkoholi – voidaan tehdä kivihielestä, maakaasusta tai biomassasta. Hiilivaroja riittää pitkälle tulevaisuuteen, mutta niiden polttaminen perinteisillä tavoilla ei ole ilmaston kannalta siedettävä ratkaisu. Mikäli kivihielestä tehdäänkin metanolia, kivihieiden käytön hyöty-

suhde paranee ja osa kivihieiden epäpuhtauksista poistuu. Kaasuvarojakin on vielä reilusti jäljellä ja metanoliksi muunnetun kaasun kuljettaminen olisi suhteellisen helppoa.

Periaatteessa metanolin käsittely on hallinnassa ja sitä voidaan tankata autoilijoille tuttuun tapaan. Metanoli on tosin myrkyllistä ja syövyttää monia aineita, joten jakelulaitteistoa pitäisi uudistaa. Säilytys on kuitenkin huomattavasti helpompaa kuin vedyn säilyminen sellaisenaan. Varsinaisen vetytalon sijaan toinen vaihtoehto on metanolitalous.

Vetyä on ajateltu valmistettavan myös bensiinistä. Bensiini sisältää kuitenkin melkoisen sekoituksen hiilivetyjä, ja pelkän vedyn irrottaminen siitä on hankalaa. Hyötösuhde jää huonoksi. Bensiinin ehdottomia etuja ovat käyttövalmis jakelujärjestelmä ja kaikesta huolimatta edullinen hinta. Toisaalta bensiinin käyttö ei vähennä riippuvuutta öljystä.

## Kuljetus- ja säilytysongelmia

Vetyä on yhtä hankala varastoida kuin muitakin kaasuja. Oikeastaan

vähän hankalampi, sillä pienen molekyylikokonsa takia se vuotaa herkästi. Ilmaan päässyt vety pyrkii kevyenä kaasuna haihtumaan vauhdilla ylöspäin, joten se ei kovin helposti muodosta syttyvää seosta avoimeen tilaan. Haihtuminen on nopeaa, esimerkiksi Hindenburgin tapauksessa suurin osa ilmalaivan kellukseen vedystä ei ehtinyt palaa, ennen kuin seos oli jo muuttunut liian ohueksi syttyäkseen.

Vety palaa nopeasti näkymättömällä, erittäin kuumalla liekillä ja palovaikutus kohdistuu ylöspäin. Palamisen vaikutus kudoksiin on korkeasta lämpötilasta huolimatta usein pienempi kuin esimerkiksi hiilivetyjen koska vety palaa erittäin nopeasti. Ainetta käsiteltäessä on noudatettava äärimmäistä varovaisuutta, mutta mihinkään hysteriaan ei ole tarvetta.

Nykyisillä kuitutankeilla voidaan vetyä paineistaa suhteellisen järkevästi ja taloudellisesti. Avaruusaluksissa on käytetty myös nesteytettyä vetyä. Nesteyttäminen vaatii kuitenkin energiaa. Miinus 253-asteisen polttoaineen käsittely on lisäksi kallista ja vetyä haihtuu koko ajan tyhjiöeristetyistä tankeista huolimatta. Suomessa valmistettiin muutama vuosi sitten nesteytetylle maakaasulle soveltuvia tankeita, joilla rahdataan energiaa Ara-



bian niemimaalta Japaniin. Nesteytetty vety liikkuisi suunnilleen samanlaisella aluksella.

Pienen molekyylikokonsa ansiosta vety saadaan sitoutumaan moniin metalleihin. Se aiheuttaa näihin metalleihin vetyhaurautta, minkä vuoksi ne ovat olleet aikaisemmin jokseenkin hyödyttömiä. Vety erotetaan vetyä sisältävästä seoksesta eli hydridistä lämmittämällä. Järjestelmä on usein vain turhan painava ja kallis, eikä se ole tällä hetkellä kovin lupaava ainaakaan autokäytössä. Vetyä voidaan imeyttää vastaavasti myös hiileen.

Painesäiliöt ovat kehittyneet myös sellaisella vauhdilla, että myös paineistettu, kaasumainen vetykin näyttää taas järkevältä.

Kaikilla mainituilla menetelmillä vetyä saadaan säilötyä hieman alle kymmenen painoprosenttia säiliön painosta, mikä riittäisi jo 500 kilometrin ajeluun. Vedyn varastointitekniikoiden kehitys on johtanut siihen, että puhtaan vedyn käyttö auton polttoaineena näyttää suunnilleen yhtä järkevältä kuin metanolin käyttö.

Vetyä voidaan lisätä myös maakaasun sekaan kymmenisen prosenttia ilman, että kaasua käyttäviä laitteita, kuten lämmittimiä ja heloja, tarvitsee muuttaa. Ennen kuin kaikki toimii vedyllä, maakaasun terästäminen on yksi hyvä vaihtoehto. Tällä tavalla voitaisiin käynnistää suurisuuntaiset elektrolyysilaitokset ilman, että vetyputkia tai varsinaista käyttöä vedylle vielä olisi. Sähkönlähteeksi sopisi esimerkiksi norjalainen vesi- tai tuulivoima. Kaasuputketkin ovat sopivasti valmiina.

### Polttoa kennossa

Vedyn polttaminen on sen korkean hinnan vuoksi haaskausta. BMW on esitellyt vetykäyttöisiä polttomootoriautoja, mutta polttoaineen kalleuden vuoksi idea ei tunnu kovinkaan tuotantokelpoiselta. Lisäksi polttomootorille tyypillisesti palotapahtumassa syntyy tyypin oksideja, joita on hankala poistaa.

Vedystä kannattaa tehdä sähköä polttokennolla, jossa vety yhtyy happeen ja reaktion seurauksena syntyy vettä. Palaminen on tietenkin määritelmältään aineen kemiallista yhtymistä happeen ja esimerkiksi auton ruostuminen voidaan määritellä niin, mutta minäkäänlaista palamista liekkien muodossa ei polttokennossa tapahdu. Muilla kielillä laitteen nimi on polttoainekenno, joka kuvaa tapahtumaa paremmin.

Autokäyttöön tehtyjen kennojen reaktio toimii aina vedyllä ja il-



**POLTTOKENNON** elektrodeille johdetaan vetyä ja happea ilman mukana. Vedyn ja hapen yhtyessä muodostuu vettä, mitään saasteita ei synny. Yhden kennon jännite on alle voltin. Niitä liitetään sarjaan riittävä määrä, jotta saadaan sähköautolle sopiva taloudellinen jännite, esimerkiksi 200–300 voltia. Polttokenno on kuin tavallinen paristo, johon syötetään paristoista poiketen koko ajan reagoivia aineita. Tämän vuoksi se ei ole niin herkkä yksittäisten kennojen epätasapainolle kuin muut virtalähteet.

massa olevalla hapella. Moniin "polttokennomootoreihin" voidaan syöttää hiilivetyä tai metaanolia, mutta varsinaiseen kennoreaktioon näiden yhdisteiden hiili ei osallistu.

Tosin tähänkin on poikkeus: kehitteillä on kiinteäoksidikeno, johon voidaan syöttää suoraan hiilivetyä. Muista kennotyypeistä poiketen myös hiilen osuudella voidaan tuottaa sähköä. Yhdistämällä polttokenno kombivoimalaan saadaan jopa 70 prosentin sähköhyötysuhde. Liikennevälineissä tätä kennotyyppiä sovelletaan mahdollisesti laivoissa, junissa ja kuorma-autoissa. Ensimmäiset sovellukset tulevat olemaan sotilaisilaisia.

Polttokennot keksittiin 1800-luvulla. Ne kehitettiin luotettavasti toimiviksi avaruusohjelmien tarpeisiin. Avaruusaluksien nestemäinen vety ja happi toimivat raketti-polttoaineena ja niillä tuotettiin polttokennoissa aluksen tarvitsema sähkö. Sähkön lisäksi kennoista saatiin juomavettä astronauteille.

Polttokennotekniikalla saadaan noin 40–50 prosenttia energiasta sähkönä. Kennotyypistä riippuen loppuosaa on hyödynnettävissä lämmöksi, ja kenno voidaan liittää sähköntuotannossa kombiprosessin osaksi. Koska polttokennosta ei synny käytännössä saasteita, kennot voidaan sijoitella hajalleen. Tällöin kenno voi olla esimerkiksi taloyhtiössä, jolloin se tuottaa käytölämmön hukkalämmöstä ja sähkön paitsi yhtiön tarpeisiin, mahdollisesti myös myyntiin. Sähköllä voidaan sitten käyttää vaikka pienalojen lämpöpumppuja.

Autoissa kennon ja sähkömoot-



**MERCEDES-BENZ** toimittaa ensimmäiset polttokennotekniikkaa hyödyntävät Citaro-bussit asiakkaille vuonna 2002. Vetyä säilytetään painesäiliöissä auton katolla. Yksi tankkaus riittää 300 kilometrin ajoon. Moottorista irtoaa tehoa 250 kW.



**MERCEDES-BENZIN** A-malliin, jonka suunnittelussa otettiin huomioon myös vaihtoehtoiset voimalaitteet, perustuva Nekar voi olla hyvinkin lähellä vuodeksi 2004 lupailtua polttokennoautoa. Koeautoja on tehty sekä metanolilla että suoraan vedyllä toimivina. Ensimmäiset autot käyttänevät polttoaineenaan nesteytettyä tai kaasumaista vetyä. Koko järjestelmä on jo saatu mahtumaan välipohjaan.

torin yhdistelmän hyötysuhde on kaupunkiliikenteessä huomattavasti perinteistä polttomootoriautoa parempi.

### Polttokennoauto on avainasemassa

Polttomoottori on tähän asti ollut lähes ainoa autojen voimanlähde. Tunnetut öljyvarat, jotka riittävät ennusteiden mukaan edelleen viideksikymmeneksi vuodeksi, alkavat kuitenkin olla hankalissa paikoissa ja niiden hyödyntäminen tulee kalliiksi. Öljyntuottajamaiden järjestön OPEC:n ulkopuoliset "mustan kullan" varat hupenevat, joten OPEC:n vaikutusvalta koko öljyjaloudessa kasvaa entisestään.

Polttokennoauto kokoa kaikki uudenlaiseen, entistä parempaan autoon tarvittavat palikat yhteen. Virtalähteestään huolimatta kyseessä on puhdas sähköauto. Vaikka aluksi käytettäisiin fossiilista alkuperää olevaa polttoainetta vedyn tuottamiseen, paranee hyötysuhde kuitenkin ratkaisevasti ja ve-

tyä käyttävät kennot saadaan tuotantoon.

Hybridiautoksi kutsutaan yleensä polttomootorin ja sähkömootorin yhdistelmävoimanlähdeä. Hybridi, joka on siis eri asia kuin vetyä sisältävä yhdiste eli hydridi, tarkoittaa yleisesti sekasikiötä tai sekamuotoa, joten teoriassa muunlaisiakin yhdistelmiä voi olla. Sähkömootorin koko voi vaihdella, mutta joka tapauksessa se on enemmän tai vähemmän sähköauto.

Mikäli polttoaineen kulutukselle suunnitellut erittäin tiukat rajat toteutuvat, hybridin käyttö on välttämätöntä suurissa ja keskikokoisissa autoissa kaupunkikulutuksen pitämiseksi kurissa. Samasta syystä polttokenno-akkuhybridi ei ole mikään huono ajatus: polttokennoa ei nimittäin voi käyttää jarrutuksen liike-energian säilömiseen toisin kuin akkuja.

Polttokennon tie auton alle on ollut pitkä. Avaruuslennot eivät olleet kovinkaan kriittisiä kustannus-

Tätä tulostetta ei saa käyttää mainos- ja myynninedistämistarkoituksiin.

ten suhteen, mutta autot täytyy tehdä halvalla. Katalyyttinä tarvittavan platinan määrä on saatu vähemmän murto-osaan. Vielä kymmenen vuotta sitten platinaa ei olisi riittänyt autojen polttokennoistamiseen. Nyt raaka-aineita riittää, ja kennojen kilowattihinta on saatu pudotettua puolesta miljoonasta US-dollarista suunnilleen viidenkymmenen taalan tasolle.

Platinaa tarvitaan autojen polttokennoissa, jotta voitaisiin käyttää hinnaltaan kohtuullista hiilivety-pohjaista polttoainetta. Pelkän platinan hinta henkilöautoa kohden on tällä hetkellä noin 200 dollaria.

Polttokennojen koko ja paino on siis saatu aisoihin. Henkilöautoon riittävä kenno vie tilaa parin virvoitusjuomakorin verran ja saman verran tarvitsee metanolireformerin. Pisimmällä kehitystyössä lienee kanadalainen Ballard, jonka kanssa teolliseen yhteistyöhön ovat lyöttäytyneet DaimlerChrysler ja Ford. Myös GM:n puitteissa Opel on kehittänyt polttokennoa omiin maleihin.

Mercedes-Benz on esitellyt lukuisia polttokennoautojaan myös julkisesti ja tuotantoa suunnitellaan tämän vuosikymmenen puolivälissä.



**BMW:LLÄ on ajossa vedyllä toimivilla ottomootoreilla varustettuja autoja. Vety-moottorin teho laskee vastaavaan bensiinimoottoriin nähden. Kaupunkiliikenteessä hyötysuhde ei ole paljoo yli kymmenen prosentin, joten energiaa kuluu. Uusiutuva energia on kallista, eikä sitä riitä tuhlattavaksi asti, joten polttokennot tuntuvat järkevämiltä ratkaisuilta. Kuvassa 7-sarjaan perustuva vetyauto seisoo Münchenin lentokentällä sijaitsevalla vetytankkausasemalla.**

Tehtaan ilmoitus merkinnee sitä, että tekniset ja taloudelliset ongelmat on ratkaistu ja nyt rakennetaan lopullista tuotetta. Kohteenä on todennäköisesti A-malli,

jossa on jo suunnitteluvaiheessa varattu välipohjaan tilaa vaihtoehtoisille voimalaitteille. Joidenkin havaintojen mukaan kölipainon lisäys tekisi autolle hyvää.

## Tavoite muutaman vuoden päässä

Energiatalouden muutoskausi tulee kestämään kauan ja joka tapauksessa vaihtoehtoisia polttoaineita on kohta useampia. Öljyn ylivallasta lienemme oppineet sen, ettei yhteen energialähteeseen kannata sokeasti luottaa. Sen murentuessa tulossa on todella mielenkiintoisia autotekniikan uutuuksia.

Ensimmäisenä polttokennovaihtoehtona markkinoille tulee Mercedesin linja-auto, joka voisi olla todellinen vaihtoehto myös Suomessa esimerkiksi metron sijaan. Polttokennolinja-autoja toimitetaan kahden vuoden päästä 1,25 miljoonan euron hintaan. Mukana seuraa varsin täydellinen huoltopaketti.

Polttokennotekniikalla varustetulle henkilöautolle on jo annettu arviohinta. DaimlerChrysler on kerhtonut tuovansa sellaisen markkinoille 2004, ja hinnan sanotaan olevan dieselauton luokkaa. Pienen kulutuksen takia polttoainekulut pysyvät niin ikään kurissa. Jaa, että mistäkö sitä polttoainetta saa? Ainakin Shellistä, joka on ilmoittanut, että polttoainetta on saatavilla, kun autojakin on.

# Polttokennot

■ **POLTTOKENNOSSA** syötetään polttoainetta ja hapetinta sähkökemialliseen pariin, jolloin pari tuottaa sähköä. Yleensä polttoaine on vety joko sellaisenaan tai sitoutuneena esimerkiksi hiilivedyksi. Hapettimena toimii happi, jota saadaan kätevimmin ilmasta maan päällä käytettävissä kennoissa.

Polttokenno on periaatteessa primääripari, eli paristo, johon syötetään koko ajan reagoivia aineita. Normaalissa paristossahan reaktio perustuu syöpmiseen ja pari on kertakäyttöinen. Jos pariin voidaan ladata sähköä, kyseessä on sekundääripari eli akku.

Polttokennossa ei tapahdu varsinaista liekkiä ja savua synnyttävää palamista. Pelkällä vedyllä toimivissa kennoissa ei synny haitallisia savukaasuja ollenkaan, ja muillakin polttoaineilla päästöjä tulee muihin energiantuotantotapoihin nähden äärimmäisen vähän. Itse kenno ei pidä ääntä, mutta puhaltimet aiheuttavat jonkin verran melua.

## Kehityshistoriaa

Polttokennot ovat vanha keksintö. Italialainen fyysikko Alessandro Volta (1745–1827) kehitti ensimmäisen sähkökemiallisen parin jo vuonna 1802. Hän nimitti keksintöään keinokeinoiseksi sähkörauskuksi, koska hän oli tutkinut sähkörauskuksen sähköntuottoelintä. Elin on kehittynyt lihaskudoksesta ja siinä on suuri määrä sarjaan

kytkettyjä "kennoja", joilla rausku kehittää jopa 300 voltin jännitteen. Kyseessä on siis oikeastaan luonnon oma polttokenno, jossa kennoon syötetyistä aineista kehitetään kemiallisesti sähköä.

Sir Humbrey Davy yritti jo 1802 saada aikaiseksi sähköä suoraan polttoaineista, mutta ei onnistunut. Sir William Grove sai ensimmäisenä kehitettyä sähköä vedyn ja hapen avulla vuonna 1839 ja häntä pidetään yleisesti polttokennon keksijänä.

Varsinainen kehitys alkoi kuitenkin vasta vuonna 1932, kun Francis T. Bacon käytti halvempia materiaaleja kennon valmistuksessa. Hän halusi päästä eroon siihen asti käytetystä arvokkaasta platinakatalyytistä ymmärrettyään kalliin rakenteen mahdotomuuden. Kun elektrolyyttinä käytettiin happoa vähemmän syövyttävää kaliumhydroksidia, voitiin käyttää nikelikatalyyttiä. Polttoaineena toimi vety ja hapettimena oli happea. Vuonna 1959 Baconin ryhmä demonstroi 5 kW:n järjestelmää, jolla käytettiin hitsauskonetta, sirkkeliä ja trukkia. Samana vuonna Harry Karl Ihrig esitteli 20 kW:n polttokennotraktorin USA:ssa.

Polttokennot katsottiin tässä vaiheessa soveliaiksi avaruushjelmiin ja niitä käytettiin menestyksekkäästi Gemini- ja Apollo-lennoilla ja edelleen sukuallennoilla. Apollo-lennoille tyypitettyä vetyä Baconin kenno tyypistä kennoa käytetään edelleen. Siinä on

tosin platinaelektrodit, koska ne oli tyypitetty sellaisina seitsemänkymmentäluvun alussa ja hinnalla ei kyseisissä projekteissa ole suuremmin merkitystä.

## Kennotyypit

Baconin kenno oli tyypiltään **AFC (Alkaline Fuel Cell) eli alkaalinen polttokenno**. Se on yksinkertaisin polttokennotyyppi.

Kaliumhydroksidi on kuitenkin äärimmäisen herkkä hiilidioksidille. Se ei siedä edes normaalisti ilmassa olevaa hiilidioksidin määrää. Puhtaan hapen rahtaaminen mukana on turhaa, koska sitä on ympäröivässä ilmassakin ja puhdistimesta tulee liian massiivinen, joten tämä kennotyyppi ei ole kovin suuressa suosiossa maanpäällisissä sovelluksissa.

Pisimmälle kaupalliseen käyttöön kehitetyt kennot ovat Ballardin **PEM-kennot (Proton Exchange Membrane eli protoninvaihtokalvokennot**, toinen nimi **PEFC eli Polymer Electrolyte Fuel Cell eli muovielektrolyyttipolttokenno**). Itse kenno on yksinkertainen ja toimintalämpötila on 50–100 celsiusastetta. Hyötysuhde on vaihtelevilla kuormilla 50 % vedyllä ja 40 % metanolilla voimalayksikön kokoisissa laitoksissa, metanoliautolla suunnilleen 35 %.

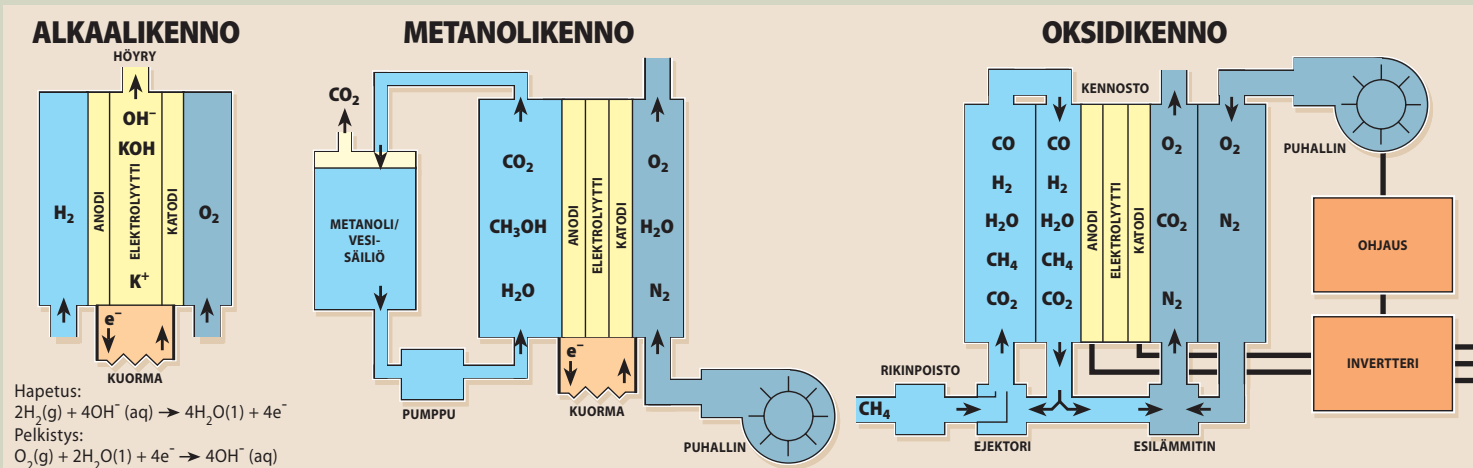
Metanolin käyttö vaatii reformerin, jossa metanoli hajotetaan veshöyryn avulla. Reformeri ei saa päästöjä hiili-

monoksidia kennoon, koska platina-katalyytti myrkyttyy siitä. Hiilen osuus käytetään prosessilämpönä. Tehon lisäämiseksi ilmaa ahdetaan kennoon mekaanisilla ja turboahtimilla, jotta saavutetaan kolmen ilmakehän ylipaine. Tämä kaikki tietenkin maksaa ja vie tilaa. Puhtaassa vetytaloudessa reformeria ei tarvita.

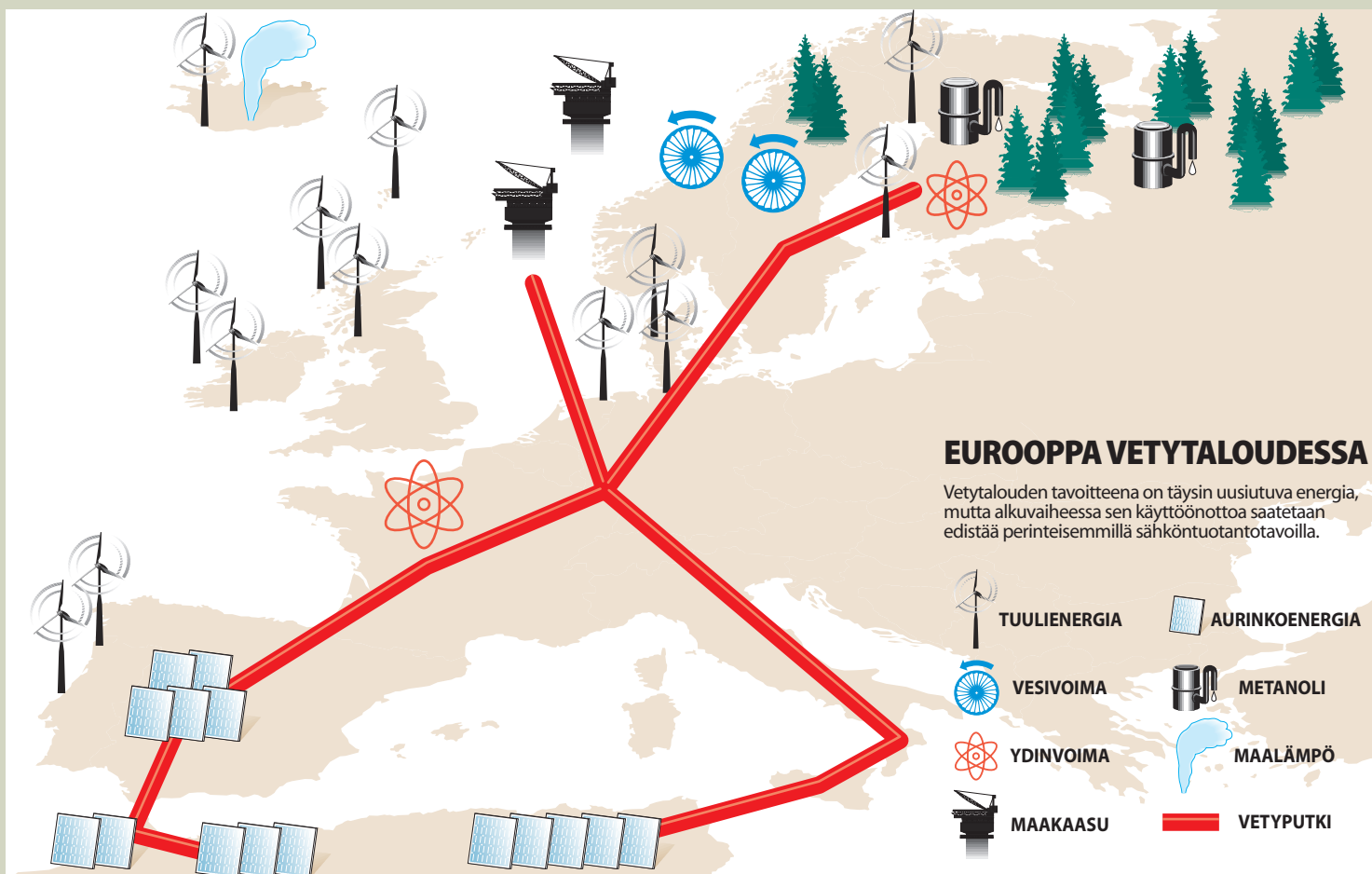
**Suorametanolikennoon, DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)**, metanolin ja veden seos voidaan syöttää suoraan kennon anodille, ja polttoaineen hiili menee elektrolyytin läpi katodille tuottamatta sähköä. Tämän tyyppisen kennon hyötysuhde on kymmenen vuotta sitten 25 %, joten se ei ollut kovin lupaava. Kun tehosiheys on 20-kertaistunut ja hiili saadaan kulkemaan kennon läpi sujuvasti, hyötysuhde voidaan saada paremmaksi kuin PEM-kennoilla. Ensimmäinen todennäköinen käyttökohde ovat kannettavat laitteet.

Autoteollisuuspuolella Ballard on ostanut tarvittavat lisenssit, ja Nissan ja Suzuki kehittävät niin ikään tätä kennotyyppiä. Sen toimintalämpötila liikkuu samoissa kuin PEM-kennoilla, joten DMFC on lupaava, muttei yhtä valmis vaihtoehto kuin PEM. Suorametanolikeno saattaa kuitenkin olla yllättäjä.

**Fosforihappokenno PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)** on toistaiseksi eniten valmistettu kennotyyppi. Siinä käytetään elektrolyttinä parisataa-as-



**VETYÄ** pidetään lopullisena polttoainevaihtoehtona. Sitä voidaan valmistaa metanolista, jota taas voidaan tehdä esimerkiksi biomassasta. Vety ei saateta ja kiertää täydellisesti luonnossa. Lisäksi se toimii taloudellisena sähkön siirtoaineena. Laajemmin vetyä kokeillaan energiansiirtäjänä ensimmäisen kerran Islannissa. Mukana ovat valtion lisäksi muun muassa DaimlerChrysler, Shell ja Norsk Hydro.



teista fosforihappoa ja polttoaineena maakaasua, joka hajotetaan reformerissa. Muiden kennotyyppien kehitys on tällä hetkellä ajanut tämän kennotyypin ohi.

**Sulakarbonaattikenno MCFC (Mol ten Carbonate Fuel Cell)** on yksinkertainen, ja se on ollut lupaava vaihtoehto viimeiset viisitoista vuotta. Käyttölämpötila on 600 astetta ja monenlaisia keveitä kaasumaisia tai nestemäisiä polttoaineita voidaan syöttää suoraan kennoon, jossa se hajoaa korkeassa lämpötilassa. Sähköhyötysuhteeksi saadaan jopa 50 % ja kombiprosessissa päästäisiin jo 60:een.

Kennotyyppi kärsii kuitenkin edelleen korroosio-ongelmista, eikä sen kehitystyö ole kovin vauhdikasta.

**Kiinteäoksidikenno SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)** toimii 500–1 000 asteen lämpötilassa. Aikaisemmin lämpötila oli lähempänä tuhatta, mutta nyt ollaan jo kohtuullisemmassa kahdeksassasadassa, ja alempikin lämpötila on mahdollinen.

Elektrolyytti on nimensä mukaisesti kiinteä, joten sulakarbonaattikennossa tarvittavia erittäin korkean lämpötilan pumppuja ei tarvita. Polttoaineksi kelpaavat moninaiset hiilivedyt, joita hajotetaan veden avulla.

Muista kenoista poiketen kiinteäoksidikenno tuottaa myös hiilimonoksidista sähköä. Korkeasta lämpötilasta johtuen yhdistäminen kombiprosesseihin on helppoa ja jäädytys edullista ilmajäädytyksellä. Korkeassa lämpötilassa reaktiot tapahtuvat siinä määrin herkästi, että kennoon ei tarvitse syöttää ilmaa ylipaineella, joten yksinkertainen puhallin riittää. Pienisäkin kiinteäoksidikenoissa hyötysuhde on 50 % ja suurissa kombivoimaloissa päästään 70 %:n sähköhyötysuhteeseen.

Kenno ei tuota lämpöä alle 650 asteessa, jolloin koko energia käytetään

kennon lämmittämiseen. Lämpeneminen vie aikaa joitakin minutteja, joten tyyppi ei sovellu aivan kaikkiin ajoneuvoihin, mutta melkein kaikkeen muuhun käyttöön se sopii. Toisaalta nykytekniikalla auto voidaan tieteenkin kaukokäynnistää tai ajelu voidaan aloittaa hybridikäytön akuilla.

Polttokenno on siis kovasti tulossa. Sen kehitykseen näyttää menneen suunnilleen samat 150 vuotta kuin kaasuturbiinilla Barberin keksinnöstä 1791 järkevään hyötysuhteeseen 1940-luvulla.