

# Esiselvitys laboratoriomittakaavan vedyntuotantoon

Juuso Jämsä

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2024

Biotuotetekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

JÄMSÄ, JUUSO:

Esiselvitys laboratoriomittakaavan vedyntuotantoon

Opinnäytetyö 26 sivua  
Toukokuu 2024

---

Fossiiliset polttoaineet ja energialähteet pyritään tulevaisuudessa parhaan mukaan korvaamaan uusiutuvilla energialähteillä. Vety on alkuaineena tunnettu, ja vetytalous tuo mahdollisen ratkaisun ja yhden vaihtoehdon, kun pyritään vähentämään fossiilisia polttoaineita. Vedyn tuottaminen on suurelta osin vielä painotunut fossiilisiin polttoaineisiin, mutta erilaiset ympäristöystävällisemmät vaihtoehdot ovat yleistymässä.

Vety voidaan jakaa luokkiin värien mukaan. Harmaalla vedyllä tarkoitetaan fossiilisesti tuotettua vetyä eli esimerkiksi maakaasulla tuotettua vetyä. Vihreä vety käyttää uusiutuvaa energialähdettä vedyn tuotantoon.

Työssä tutkittiin erilaisia tapoja tuottaa vetyä ja selvitettiin, millainen tapa olisi käytännöllinen pienmuotoiseen vedyn valmistukseen laboratoriossa. Tällä hetkellä yleisin tuotantotapa on höyryreformointi, jossa raaka-aineena käytetään maakaasua. Höyryreformointia vastaava vedyn valmistustapa on autoterminen reformointi, jossa on mukana osittaishapetus. Kaasutuksessa vety erotetaan tuotekaasusta, raaka-aineena voi olla biomassaa tai hiiltä.

Vedyn valmistus elektrolyysillä on ympäristöystävällinen ja tähän työhön käytännöllisin tapa. Eri menetelmiä on alkalelektrolyysi, joka on vanhin tapa. PEM-elektrolyysissä kalvo jakaa veden vedyksi ja hapeksi sähkön avulla. SOEC käyttää todella korkeaa lämpötilaa. AEM-elektrolyysissä käytetään erikoiskalvoa.

Kaupallisesti yleisimmät tavat ovat alkalelektrolyysi sekä PEM-elektrolyysi. Näistä opintotarkoituksiin järkevä on uudempi ja nopeampi PEM-menetelmä. Laitteistot ovat kompaktin kokoisia ja käyttölämpötila on suhteellisen alhainen. Menetelmä on kuitenkin herkkä veden epäpuhtauksille. Laitteistoja löytyy Euroopasta sekä Pohjois-Amerikasta. Jakelijat tarjoavat erilaisia vaihtoehtoja ja mahdollisuuksia varastointiin. Lisä- ja varaosia löytyy laajasti monilta jakelijoilta.

---

Asiasanat: vety, vetytalous, vedyn tuotanto, PEM

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Bioproduct Engineering

JÄMSÄ, JUUSO:  
Preliminary Study for Lab-Scale Hydrogen Production

Bachelor's thesis 26 pages  
May 2024

---

Hydrogen is a known element which can be a part of the journey away from fossil fuels. In this thesis, different ways of producing hydrogen and the methods for small-scale hydrogen production in the laboratory were investigated. Different methods like steam reforming, autothermal reforming, gasification and hydrogen production by electrolysis were examined.

This study was conducted by systematically examining the websites of distributors for hydrogen production equipment. The findings stated that the production of hydrogen by electrolysis is environmentally friendly and the most practical way for this work. Among the different methods is the alkaline electrolysis which is the oldest method. In PEM electrolysis the membrane splits water into hydrogen and oxygen using electricity. SOEC uses a really high temperature. A special membrane is used in AEM electrolysis.

The most common commercial methods are alkaline-electrolysis and PEM electrolysis. For study purposes, the newer and faster PEM method is more sensible. The device has a compact size and the operating temperature is relatively low. However, the method is sensitive to water impurities. The equipment can be found in Europe and North America. Distributors offer different options and possibilities for hydrogen storage. Additional and spare parts are widely available from many different distributors.

---

Key words: hydrogen, hydrogen production, PEM

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TEORIAOSUUS.....	7
2.1	Vetytalous .....	7
2.2	Vedyn tuotantotavat .....	8
2.3	Vedyn valmistus elektrolyysillä.....	9
3	SIVUJEN VERTAILU .....	12
3.1	Mahdolliset jakelijat .....	12
4	LAITTEISTOJEN VERTAILU .....	15
4.1	Single Electrolyzer Kit .....	15
4.2	Double Electrolyzer Kit.....	15
4.3	Single ja Double Electrolyzer Kit .....	16
4.4	Electrolyzer 65 .....	18
4.5	Electrolyzer 230 .....	18
4.6	Varastointi, lisä- ja varaosat .....	20
5	YHTEENVETO .....	22
	LÄHTEET.....	24

**LYHENTEET JA TERMIT**

APAC	vast Asia Pacific region
EMEA	Europe, Middle East and Africa
SMR	Höyryreformointi
ATR	Autoterminen reformointi
PEM	protoninvaihtomembraanielektrolyysi
AEM	anioninvaihtokalvo
SOEC	kiinteäoksidielektrolyysi
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi

## 1 JOHDANTO

Vety on yksi yleisimmistä alkuaineista, jota löytyy useimmiten veteen sitoutuneena. Ilmastonmuutoksen mukana tulevat ongelmat tuovat vedyn käytön yhä enemmän ajankohtaisemmaksi. Aiemmin pääsääntöisenä energialähteenä käytetyt fossiiliset polttoaineet ovat aiheuttaneet hiilidioksidipäästöjen voimakkaan kasvun (Dawood, Anda & Shafiullah, 2022). Vetyä on mahdollista tuottaa vihreästi, jolloin siitä ei tulisi haitallisia päästöjä ympäristöön. Näiden tekijöiden vuoksi vety energian lähteenä on puhututtanut maailmalla kuin myös Suomessa. Esimerkiksi YLEllä Joukanen (2023) on kirjottanut mahdollisista miljardi-investoinneista Suomen vetytalouteen.

Työssä tehdään esiselvitys laboratoriomittakaavan vedyn tuotantoon Tampereen ammattikorkeakoululle. Opinnäytetyö tutkii tämänhetkistä vetytalouden tilannetta maailmalla ja Suomessa sekä vertailee eri vedyn tuotantotapoja ja niiden mahdollisia vaikutuksia ympäristöön. Tutkimuksen tarkoituksena on toimia apuna päätöksessä minkälainen tuotantotapa on tulevaisuudessa järkevin ja sopii parhaiten ammattikorkeakoulun laboratorion opintotarkoituksiin.

Valmistustapojen lisäksi opinnäytetyössä tutkitaan taloudellisten näkökulmien kautta, mitä erilaiset laitteet tulisivat maksamaan ja esimerkiksi, miten niihin on saatavilla mahdollisia varaosia. Tutkimuksessa pyritään myös löytämään laitteistojen myyjiä mahdollisimman läheltä Suomea. Työn pääasiallisena tarkoituksena on löytää erilaisia ratkaisuja vedynvalmistukseen laboratoriossa ja tutkia mikä niistä olisi käytännöllinen ja tarkoituksenmukainen.

## 2 TEORIAOSUUS

### 2.1 Vetytalous

Vety on jo tunnettu energialähde, jonka käyttö nykyään ja tulevaisuudessa tulee kasvamaan muun muassa ympäristökriisin, taloudellisen edun sekä geopolitiikan takia (Dillman & Heinonen, 2022). Maailmalla vetyä käytetään laajasti lannoitteiden valmistuksessa sekä öljynjalostuksessa. Tällä hetkellä vedyn tuottaminen on suurimmalta osin tuotettu fossiilisesti, mutta tulevaisuudessa tilanne on muuttumassa. (Kostiainen, 2023)

Vety voidaan jakaa sen lähteen perusteella. Näitä ovat vihreä vety eli uusiutuva vety, joka on tuotettu uusiutuvalla energialähteellä. Päästötön vety tuotetaan uusiutuvalla tai ydinvoimalla ilman CO<sub>2</sub>-päästöjä. Sininen vety tuotetaan fossiilisella polttoaineella, jossa otetaan talteen hiili näin vähentäen CO<sub>2</sub>-päästöjä. Turkoosi vety on tuotettu pyrolyysin avulla, jossa syntyy hiilimustaa sivutuotteena. Harmaa vety on fossiilisella polttoaineella tuotettua vetyä, jossa syntyy CO<sub>2</sub>-päästöjä. (Vartiainen, 2020)

Suomessa vedyn suurin käyttäjä on Neste ja sen öljyjalostamo. Tämän lisäksi vetyä käytetään myös lannoitteiden valmistuksessa, metallien jalostuksessa, kemianteollisuudessa sekä kaivosteollisuudessa. Vuoden 2020 vedyn tuotanto Suomessa Euroopan mittakaavalla oli pientä noin 1,5 %, mutta tulevaisuudessa tämä luku tulee nousemaan. (Kostiainen, 2023)

Vetyenergian käyttö eri sektoreilla tulevaisuudessa tulisi kasvamaan energian tarpeen kasvaessa. Kuljetustoiminnan ja liikenteen ennustetaan kasvavan suuresti, jopa tuplaten vuoteen 2050 mennessä. Kuljetukseen kuluu jopa neljännes koko maailman CO<sub>2</sub>-päästöistä. Vetyä voitaisiin hyödyntää siis tiellä, raiteilla sekä vedellä. Vedyn käyttö myös asuinalueilla esimerkiksi lämmityksessä, valaistuksessa sekä muissa samanlaisissa tapauksissa rakennuksissa antaisi mahdollisuuden taloudellisempaan ja ympäristöystävällisempään ratkaisuun. Nämä asiat tuovat maailmanlaajuisesti jopa kolmanneksen CO<sub>2</sub>-päästöistä sekä noin puolet energiankulutuksesta. Myös energiankulutuksen teollisuudessa ollessa suuri,

voitaisiin vetyenergian avulla vaikuttaa myös näihin päästöihin ja kulutuksiin. (Brandon & Kurban, 2017)

Fossiilisten polttoaineiden, kuten öljyjen hintojen kasvaessa myös taloudelliset syyt ovat vedyn käytön puolella. Hintojen nousuun vaikuttaa suuresti energiapolitiikan muutokset, jotka esimerkiksi nostavat fossiilisten polttoaineiden veroja. Vihreä vety tuo siis hyvän vaihtoehdon. Uusiutuvalla energialähteellä tuotettu energia on suunta, johon monet eri tekijät ovat kulkemassa. (Demirbas, 2017)

Vuonna 2023 yksi kilogramma vetyä piti sisällään reilun 39 kWh energiaa. Sen tuottamiseen vaadittiin noin 55 kWh sähköä, jolloin hyötysuhde olisi 70 prosentin paikkeilla. Hyötysuhdetta saataisiin parannettua, jos pystyttäisiin käyttämään hukkalämpö esimerkiksi kaukolämpönä tai mahdollisesti parantamalla nykyistä käytettyä elektrolyysimenetelmää. Tällä hetkellä myöskään vihreän vedyn tuottaminen ei vielä ole kannattavaa taloudellisista syistä. Puhdas vety maksaa noin 4–6 €/kg, verrattaessa maakaasulla valmistettuun vetyyn eli harmaaseen vetyyn, joka maksaa noin 1,5–2 €/kg. EU:n kriteerit vaativat vihreän vedyn valmistukseen päästötöntä sähköä, johon Suomella on hyvä mahdollisuus tuulivoimaloiden avulla. (Kostiainen, 2023)

## 2.2 Vedyn tuotantotavat

Tällä hetkellä yleisin tuotantotapa vedylle on SMR eli höyryreformointi. Raaka-aineena tässä tuotantotavassa käytetään maakaasua. Prosesissa maakaasu lämmitetään korkeassa lämpötilassa katalysaattorin kanssa. Maakaasussa oleva metaani ja lämmityksessä käytetty vesihöyry reagoivat keskenään ja tuottavat vetyä sekä hiilimonoksidia. Tuotantotapa on tällä hetkellä edullisin, mutta ympäristöön vapautuva hiilidioksidi on haitallista. (Kiesilä, 2021)

Autoterminen reformointi eli ATR on suunnilleen samantyylinen tapa kuin höyryreformointi, mutta erona on tuotu osittaishapetus, jolloin reaktioon tuodaan happea. Lämpötilat myös autotermisessä reformoinnissa ovat korkeammat verrattuna höyryreformointiin. (Kiesilä, 2021)

Vedyn valmistuksessa kaasutuksella erotetaan vety tuotekaasusta. Raaka-aineena voidaan käyttää esimerkiksi biomassaa tai hiiltä. Tuotantotavassa käytetään korkeita lämpötiloja sekä paineita, joissa lähtöaine, happi ja vesihöyry reagoivat keskenään. Riippuen raaka-aineesta tavan ympäristöystävällisyys vaihtelee. Käytettäessä hiiltä raaka-aineena ovat saasteiden määrä huomattavasti suuremmat verrattuna biomassaan. (Tuomivirta, 2023)

Vedyn valmistus elektrolyysillä on puhdasta ja päästötöntä, kunhan prosessiin käytettävä sähkökin on vihreää. Tuotantotavassa vety erotetaan vedestä sähkön avulla ja sivutuotteena syntyy lämpöä sekä happea. Käyttämällä näitä sivutuotteita saadaan prosessin hyötysuhdetta parannettua enemmän. (Kostiainen, 2023)

### **2.3 Vedyn valmistus elektrolyysillä**

Vedyn valmistus elektrolyysillä on mahdollista tehdä vihreästi eli päästämättä haitallisia päästöjä ympäristöön. Elektrolyysillä valmistus vaatii paljon sähköä, joten taloudellisesti riippuen sähkön saatavuudesta ja alkuperästä se voi ollakin kallista. Jos tarvittavan sähkön pystyisi tuottamaan esimerkiksi tuuli- tai aurinkovoimalla voisi se olla taloudellisesti katsottuna hyvä vaihtoehto. Pidemmälle tulevaisuuteen mietittäessä myös päästöttömät vaihtoehdot tulevat yhä tärkeämmäksi, kun pyritään pääsemään eroon fossiilisista polttoaineista ja niiden käytöstä. Esimerkiksi Suomessa tuulivoiman mahdollisuudet ovat korkeat. (Keuru, 2022)

Vedyn valmistukseen elektrolyysillä on erilaisia vaihtoehtoja. Alkalielektrolyysi on perinteinen ja yleisesti käytetty elektrolyysi. PEM-teknologia on kehitetty vaihtoehdoksi alkalielektrolyysin tilalle. Erilaisia vaihtoehtoja on myös kiinteäoksidielektrolyysi sekä AEM. Laitteiden kalleimmat osat ovatkin elektrolyysit. (Atlas Copco n.d.)

Alkalielektrolyysi on vaihtoehdoista vanhin ja mahdollisesti tunnetuin menetelmä. Ongelmia kuitenkin löytyy, esimerkiksi alhainen hyötysuhde. Prosessissa elektrolyysiin on upotettu anodi sekä katodi, tämä on normaalisti alkalinen liuos. Liuokseen johdetaan tasajännitettä, jonka avulla muodostetaan vetyä ja happea.

Katodista muodostuu vetyä ja anodi muodostaa happea. Elektrodien välissä sijaitseva kalvo estää vedyn, hapen ja tuotekaasujen sekoittumisen keskenään. Lämpötila on noin 70–95 °C. Menetelmä on hitaampi verrattuna PEM-teknologiaan. Myös hieman korkeammat lämpötilat vievät enemmän energiaa. (Kiesilä, 2021)

PEM-elektrolyysi on kehitetty 1950-luvulla, mutta on tällä hetkellä yksi lupaavimmista menetelmistä vedyn tuotannossa ottaen huomioon sen kestävyys ja vähäiset päästöt (Kumar & Himabindu, 2019). Menetelmästä käytetään montaa nimeä, kuten protoninvaihtomembraani tai polymeerielektrolyyttimembraani. Kalvona voidaan käyttää todella ohutta useasti Nafion-polymeerikalvoa, joka erottaa kaasut toisistaan ja johtaa protoneja. Nafion kalvot valmistetaan perfluorosulfonihaposta ja ne ovat kalliita eivätkä ole toimivia liian korkeissa lämpötiloissa. Kalvot hajoavat myös huonosti ympäristössä. Elektrolyysikennojen rakentaminen tuo suurempaa tuotantokapasiteettia. Tällä hetkellä tämä on kalliimpi vaihtoehto verrattuna alkalielektrolyysiin, mikä rajoittaa menetelmän käyttöä. Anodi ja katodi puristuvat erikoismuovista valmistettua kalvoa vasten tai ne ovat integroitu valmiiksi kalvoon. Näistä muodostuu elektrodikokoonpano. Vesi hajoaa hapeksi ja protoneiksi ja liikkuvat kalvon läpi kohti katodia, jossa reaktion ansiosta muodostuu vetyä. Reaktio saadaan alkuun antamalla siihen virtaa. Käyttölämpötila on 50–80 °C. Tällä menetelmällä valmistettu vety on erittäin puhdasta. Menetelmä on herkkä epäpuhtauksille vedessä. (Keuru, 2022)

Kiinteäoksidielektrolyysi käyttää kiinteää sähköä johtavaa materiaalia elektrolyytinä. Menetelmässä katodilla vesi ja elektronit yhdistyvät ja muodostavat vetykaasua sekä negatiivisia happi-ioneja. Happi kulkeutuu kiinteän kalvon läpi anodille, jolloin muodostuu reaktion avulla happikaasua. SOEC vaatii selvästi korkeamman käyttölämpötilan 700–1000 °C, mutta hyötysuhteeltaan mahdollisesti parempi verrattuna ylempänä mainittuihin vaihtoehtoihin. Menetelmällä ei ole vielä paljoa käyttökokemusta suuressa mittakaavassa. (Hansen-Haug, 2023)

Anioninvaihtokalvo-menetelmässä käytetään erikoiskalvoa. Negatiivisesti varautuneet ionit pystyvät läpäisemään tämän kalvon ja se mahdollistaa sähkövirralla veden jakamisen vedyksi ja hapeksi. Käyttölämpötilat eivät ole korkeat noin 60–80 °C Menetelmä verrattuna PEM-menetelmään kestää veden epäpuhtauksia

sekä siinä on pienemmät kustannukset. Menetelmä ei ainakaan vielä ole kokenut suuria suosioita tai kehityksiä eikä sillä ole suuren mittakaavan asennuksia. (Atlas Copco n.d.)

Tutkittaessa vedyn eri tuotantotapoja tulevaisuuden suunta näyttää yhä enemmän menevän vedyn valmistukseen elektrolyysillä, vaikka tällä hetkellä se ei olekaan vaihtoehtoista suosituin. Vedyn valmistus elektrolyysillä on vieläkin kehittyvässä ja mahdolliset vaihtoehdot varmasti paranevat. Tällä hetkellä selkeästi kaupallisesti suosituimmat ovat alkalielektrolyysimenetelmä sekä PEM-menetelmä. Suuren mittakaavan tuotannot eivät ole vielä taloudellisesti samalla tasolla esimerkiksi höyryreformoinnin kanssa, mutta mietittäessä pienmittakaavan tuotantoa elektrolyysimenelemät ovat järkeviä. Suuren käyttölämpötilansa vuoksi SOEC-menetelmä ei ole järkevä laboratorioon. Alkalielektrolyysi-menetelmä on jo vanhempi versio verrattuna PEM-teknologiaan. Opintoihin soveltuvia PEM-teknologiaa käyttäviä laitteistoja on saatavilla erilaisina vaihtoehtoina, kuten käyttäen hyväksi aurinko- tai tuulivoimaa. Erilaisia vaihtoehtoja vedyn pienmuotoiseen tuotantoon löytyy eri puolelta maailmaa. Monet jakelijat myyvät laitteistoja, jotka ovat tarkoitettu juuri opintoja varten.

### 3 SIVUJEN VERTAILU

#### 3.1 Mahdolliset jakelijat

Vedyn pientuotantoon sekä opetukseen soveltuvia laitteita on mahdollisuuksia ostaa erilaisia ja eri puolelta maailmaa. Eri sivustot toimivat eri tyyleillä ja toimitusajat voivat vaihdella niiden välillä paljonkin. Lopulliset hinnat ovatkin monella toimittajalla saatavilla tietoon vasta tilausta vahvistettaessa.

H-Tec-Education on Yhdysvaltoihin sijoittuva sivusto, josta löytyy hyvin erilaisia vaihtoehtoja sekä niihin tarvittuja varaosia tai lisäosia. Täältä tilattujen tuotteiden toimitusaikaa on vaikea arvioida, mutta kansainväliset kuljetukset vievät heidän mukaansa yleensä noin 2–5 arkipäivää. Myös tilauksissa, jotka tilataan Yhdysvalloista, on otettava huomioon tulevat lisämaksut, kuten esimerkiksi tullit. Myös hintojen vaihtelu valuuttakurssien mukaan on otettava huomioon. Tämä voi vaihdella usein, mutta nämä vaihtelut eivät ole suuria. (H-Tec education n.d.a)

Fuel cell store on myös sivusto, joka on sijoittunut Yhdysvaltoihin, mutta tilaukset onnistuvat sieltäkin Suomeen. Sivustolta löytyy laaja valikoima sekä lisä- ja varaosia. Tilauksiin tältä sivulta tulee ottaa myös huomioon samat asiat kuin edellä mainitulla sivustolla, kuten esimerkiksi tullit. Tilausajat vaihtelevat yhdestä päivästä useaan arkipäivään, riippuen tilauksesta, määrästä, päivästä sekä tuotteista. (Fuel cell store n.d.a)

Findel sijoittuu Iso-Britanniaan. Tilaukset onnistuvat Eurooppaan, mutta Brexitin jälkeen täytyy myös huomioida mahdolliset lisämaksut. Tilauksiin heidän mukaansa menee kymmenisen arkipäivää riippuen tilauksesta. Sivuston valikoima ei ole yhtä hyvä kuin edellisissä, mutta sijainti on lähempänä määränpäättä. (Findel n.d.)

Heillä on sivustonsa mukaan käytössä DDP eli Delivered Duty Paid. Tämä tarkoittaa toimitettu tullattuna. Tässä myyjä toimittaa tavarat, maksaa kustannukset,

vastaa vahingoista toimitukseen asti. Myyjä hoitaa myös tuonti- ja vientimuodollisuudet. Ostaja sen sijaan vastaanottaa tilauksen sovituspaikassa ja vastaa tavaroista vastaanoton jälkeen (Logistiikan maailma n.d.).

Inds on myös Iso-Britanniaan sijoittuva sivusto. Heidän valikoimastaan löytyy tuotteita hyvin, mutta hinnan moneen laitteistoon saa vain kysymällä niitä erikseen. Tuotteiden tilausajan saa selville heidän mukaansa tilauksen yhteydessä tai pian sen jälkeen ja se vaihtelee tilauksien perusteella. Tilauksiin tulee ottaa huomioon myös mahdolliset lisämaksut, kuten toimitus ja arvonlisävero. (Inds n.d.)

Horizon educational on sivusto, joka toimii Yhdysvalloissa, APAC-alueella sekä EMEA-alueella. EMEA-alueella se sijoittuu Prahaan. Tilauksien saapumisajat riippuvat tilauksien koosta ja määränpäästä. Tilausten lähdettyä niiden pitäisi olla perillä 1–5 arkipäivän kuluessa sekä sitä pystyy seuraamaan. Tuotteita on erilaisia ja hinnat näkyvät sivustolta, lopullinen hinta tulee tietoon tilausta viimeisteltäessä. Kuljetuksen pitäisi olla EU:n sisäisen, joten esimerkiksi tulleja ei tulisi. (Horizon educational n.d.a)

Element-1 on Alankomaissa sijaitseva sivusto sekä tukkukauppa. Heidän sivuiltaan löytyy hyvä valikoima tuotteita hintoineen sekä varaosia. He pyrkivät toimittamaan tuotteet viikon aikana tilauksesta. (Element-1 n.d.)

Quintech on Saksassa oleva sivusto, jolta löytyy kattava valikoima mahdollisia laitteistoja sekä lisä- ja varaosia. Toimitusaika voi vaihdella tuotteiden mukaan, mutta monissa tuotteissa toimitusajaksi sanotaan 6–8 viikkoa. Pakkausmateriaalina käytetään pelkästään kierrätettyä ja ympäristöystävällisiä materiaaleja. (Quintech n.d.a)

Kamptec on osa Brink Techniekiä. Tämä sijoittuu Alankomaihin. Sivulta löytyy hyvä valikoima erilaisia vaihtoehtoja hintoineen, jotka sopisivat pienmuotoiseen vedyn tuotantoon. Löytyy myös lisä- sekä varaosia. Sivua ei ole käännetty. (Kamptec n.d.)

Phywe on Saksassa sijaitseva. Tilaukset Suomeen onnistuvat. Hintaan on otettava huomioon verot. Tilauksien enimmäispaino on 31,5 kg. Kuljetukset maksaisivat 19 € Suomeen. Tilaukset ovat tehtävä koulun puolesta, sillä tilaukset yksityishenkilöille eivät onnistu. (Phywe n.d.)

Näillä sivuilla löytyy hyvä ja laaja valikoima. Hinnat vaihtelevat sekä Yhdysvalloista ja Iso-Britanniasta tilatut tuotteet tulevat alueilta, joista on otettava huomioon mahdolliset tullimaksut. Sivuilta on myös saatavilla mahdollisia varaosia. On hyvä myös ottaa huomioon PEM-kennojen rajoitettu käyttöikä, joka on noin 10 000 käyttötuntia.

#### TAULUKKO 1. Mahdolliset jakelijat

Sivu	WWW-osoite	Maa/Alue
H-Tec-Education	<a href="#">Linkki</a>	USA
Fuel cell store	<a href="#">Linkki</a>	USA
Findel	<a href="#">Linkki</a>	UK
Inds	<a href="#">Linkki</a>	UK
Horizon educational	<a href="#">Linkki</a>	EU
Element-1	<a href="#">Linkki</a>	EU
Quintech	<a href="#">Linkki</a>	EU
Kamptec	<a href="#">Linkki</a>	EU
Phywe	<a href="#">Linkki</a>	EU

## 4 LAITTEISTOJEN VERTAILU

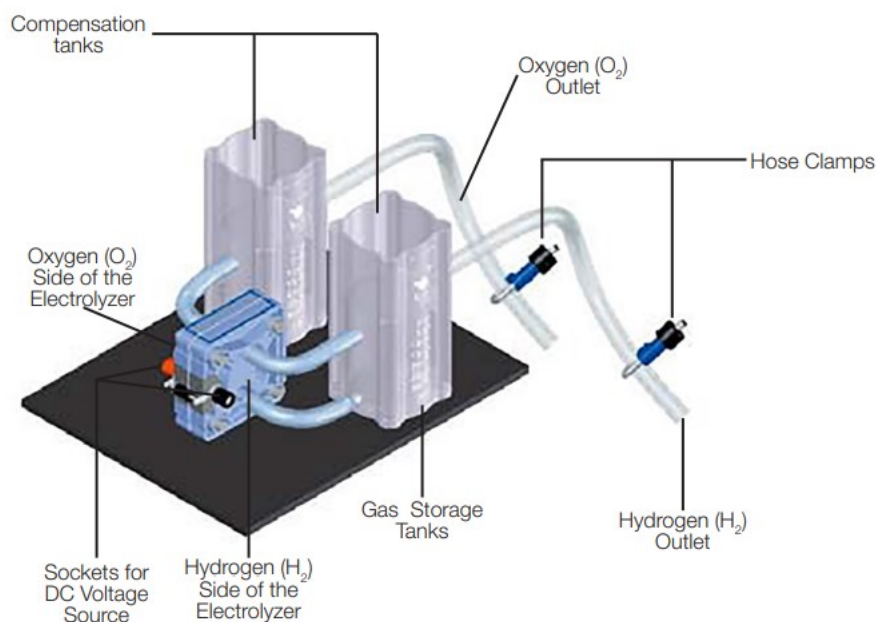
### 4.1 Single Electrolyzer Kit

Single Electrolyzer Kit löytyy esimerkiksi Fuel cell storen valikoimasta. Tilaus tulisi tehdä siis Yhdysvaltoihin, joka toisi mukanaan tullimaksun. Samalta sivulta pystyy hankkimaan myös tarpeen tullen varaosia kyseiseen laitteistoon. Tilaukset tältä sivulta kannattaisi tehdä isompina erinä, jotta vältetään turhilta menoilta.

Tuotteen mukana tulee ohjekirja sekä tarvittavat varastot vedelle, vedylle ja hapelle. Laitteiston avulla pystyy valmistamaan vetyä ja happea veden ja sähkön avulla. Laitteiston hinta on 158 USD eli 144,98 €. Hintaan tulee vielä lisätä tullimaksut. Hinta voi myös muuttua euroina riippuen valuuttakurssista. Laitteiston mitat ovat 51 x 51 x 41 mm (H x W x D). Tilaukseen voi halutessa lisätä myös esimerkiksi aurinkopaneelin tai H-TEC powersupplyn. (Fuel cell store n.d.b)

### 4.2 Double Electrolyzer Kit

Double Electrolyzer Kit löytyy samalta sivulta edellisen vaihtoehdon kanssa, joten hintaan tulee ottaa huomioon tullimaksut. Tuote eroaa Single versioon Double cell PEM-elektrolyysikennoilla, joita on yksi Single versiossa. Laitteiston mitat ovat 90 X 170 X 135 mm (H x W x D). Laitteistolta painoa löytyy noin 290 g. Tuotteen mukana tulee samat asiat verrattuna Singleen. Laitteiston hintana on 193 USD eli 177,10 €. Hintaan tulee lisätä vielä tullimaksut. Hinta euroina voi muuttua riippuen valuuttakurssista. Normaali käyttövirta laitteistolle on 1.5 A, eli sama kuin Single versiossa. Eroa Single ja Double versioissa löytyy suurimman käyttöjännitteen kohdalla. Doublessa se on 4 V. Virtaa laitteisto käyttää noin 6 W. (Fuel cell store n.d.c)



KUVA 1. Mallikuva Electrolyzer Kit. (H-Tec Education, 2022)

### 4.3 Single ja Double Electrolyzer Kit

Nämä laitteistot ovat siis samantyyllisiä kuin edellä mainitut Fuel cell storen tuotteet, mutta ovat saatavilla eri sivustoilta Euroopasta tai muualta. Tuotteista löytyy edellä mainittujen tyylin mukaisesti joko single tai double PEM-elektrolyysikennot sekä varastot vedelle, hapelle sekä typelle. Tuotteiden erot ovatkin siis samantaisia kuin edellisissäkin.

Laitteistojen hinnat vaihtelevat riippuen sivustosta ja maasta. Hinnat laitteistolle on nähtävillä taulukosta 3. Jokaisella sivustolla ei ole saatavilla kyseisiä laitteita ja niiden saatavuus voi vaihdella.

Nämä samat tuotteet ovat saatavilla myös UK:n alueelta. Hinnat näihin tuotteisiin ovat saatavilla vain kysymällä. Myös Brexitin jälkeen Iso-Britanniasta tilattavat tuotteet ovat tullattava. Tullin maksun lisäksi otetaan huomioon arvonlisävero, joka on yleensä 24 %. Myös on otettava huomioon, että verkkokaupan sijainti ei ratkaise sitä onko tuote tullattava vai ei, vaan mistä tilattu tuote toimitetaan. Myös Iso-Britanniasta tilatut tuotteet, jotka ovat todistetusti myös valmistettu Isossa-

Britanniassa eivät ole tarpeellisia tullattavia. Tämän pystyy todistamaan esimerkiksi kauppalaskulla, josta löytyy määrämuotoinen alkuperävarakuutus.

TAULUKKO 2. Single ja Double laitteistojen vertailu

	Single Electrolyzer Kit	Double Electrolyzer Kit
H <sub>2</sub>	10 ml/min	20 ml/min
O <sub>2</sub>	5 ml/min	10 ml/min
Käyttövirta	1,5 A	1,5 A
Jännite (Max)	2 V	4 V
Varasto tankit	30 ml molemmat	80 ml molemmat

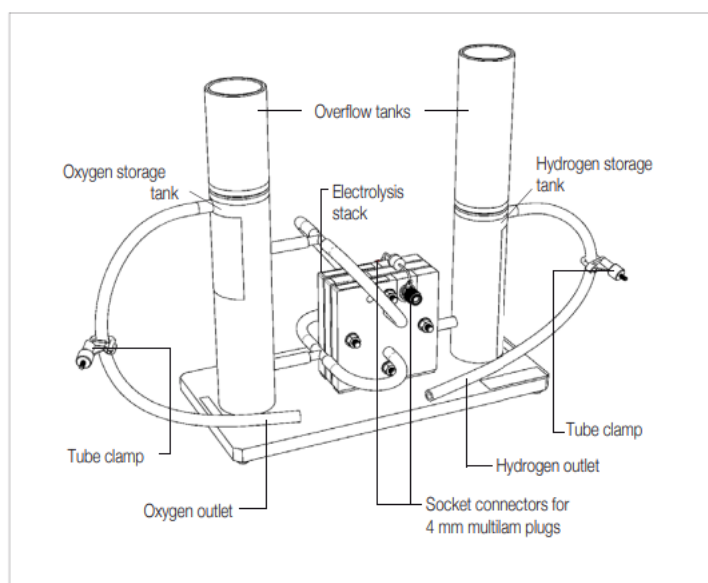
Taulukosta 2 pystyy vertailemaan laitteistojen eroa. Taulukosta 3 nähdään hintavertailut kyseisille tuotteille eri sivustoilta. Hinnat ovat ennen veroja sekä mahdollisia lisämaksuja, kuten tulleja. Lopullinen hinta on varmasti tiedossa tilauksia viimeisteltäessä.

TAULUKKO 3. Hintavertailu

Sivu	Single Electrolyzer Kit (€)	Double Electrolyzer Kit (€)
H-Tec-Education	148,38	181,25
Fuel cell store	148,38	181,25
Findel	-	-
Inds	Hinta kysymällä	Hinta kysymällä
Horizon educational	-	-
Element-1	218	253
Quintech	158	-
Kamptec	253	310
Phywe	-	-

#### 4.4 Electrolyzer 65

Electrolyzer 65 laitteistosta löytyy kahden PEM-kennon elektrolyysipino. Nämä kennot yhdistetään toisiinsa sarjaan sähköisesti. Elektrolyysipinon keskiosa on varattu vedylle ja näiden ulkopuolet palvelevat veden syötölle ja syntyvän hapen poistolle. Vety sekä happi poistuu putkien kautta. Mukaan kuuluu siis myös varastona toimivat tankit vedylle ja hapelle. Laitteiston mitat ovat 250 x 250 x 120 mm (H x W x D). Laitteiston paino on noin 950 g (H-Tec education n.d.b)

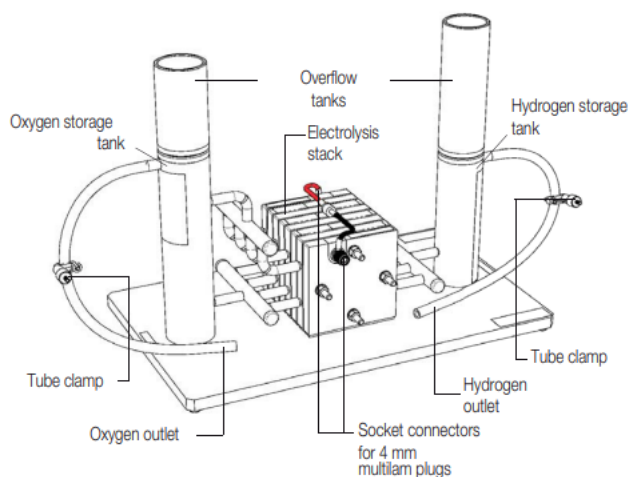


KUVA 2. Mallikuva Electrolyzer 65 (H-Tec Education, 2019)

Kuvasta 2 huomataan keskellä oleva elektrolyysien kennopino, jossa on kaksi kennoa. Keskiosasta lähtee putket, joiden avulla saadaan poistettua vety sekä happi niille tarkoitettuihin varastoihin. Electrolyzer 65 laitteiston virrankulutus on noin 16 W.

#### 4.5 Electrolyzer 230

Electrolyzer 230 on seitsemänkennoisesta elektrolyysipinosta varustettu laitteisto. Nämä seitsemän yksittäistä kennoa yhdistetään laitteiston keskellä toisiinsa sähköisesti. Tähänkin kokonaisuuteen kuuluu varastotankit vedylle sekä hapelle. Laitteiston mitat (H x W x D) ovat 250 x 330 x 200 mm ja painoa on 1,85 kg. (H-Tec education n.d.c)



KUVA 3. Mallikuva Electrolyzer 230. (H-Tec Education, 2019)

Kuvasta 3 helposti havainnoidaan ero edellisenä mainittuun laitteistoon. Seitsemän kennon pino keskellä tuottaa vedyn sekä hapen, jotka sitten poistuvat sivuilla oleviin niille tarkoitettuihin varastoihin. Laitteiston virrankulutus on noin 56 W.

Taulukosta 4 huomataan laitteistojen Electrolyzer 65 ja Electrolyzer 230 erot keskenään.

TAULUKKO 4. Laitteistojen vertailu

	Electrolyzer 65	Electrolyzer 230
Kennojen määrä	2	7
Sallittu käyttöjännite	0–4 V	0–14 V
Sallittu käyttövirta	0–4,4 A	0–4,4 A
Nimellisvirrankulutus	n. 16 W	n. 56 W
H <sub>2</sub>	n. 65 ml/min	n. 230 ml/min
O <sub>2</sub>	n. 32,5 ml/min	n. 115 ml/min
Sallittu käyttöpaine	0–20 mbar	0–20 mbar

Taulukosta 5 nähdään eri jakelijoiden hinnat kyseisille laitteille ja niiden saataisuus heidän sivuiltaan. Hinnat ovat ennen mahdollisia veroja sekä lisämaksuja, kuten tulleja. On myös hyvä huomioida, että hinnat sekä valuuttakurssit voivat muuttua. Lopullinen hinta tulee varmasti tietoon tilausta tehdessä.

TAULUKKO 5. Hintavertailu.

Sivu	Electrolyzer 65 (€)	Electrolyzer 230 (€)
H-Tec-Education	307,71	512,85
Fuel cell store	307,71	512,85
Findel		
Inds	Hinta kysymällä	Hinta kysymällä
Horizon educational	-	-
Element-1	390	610
Quintech	299,99	530
Kamptec	-	780
Phywe	Hinta kysymällä	-

#### 4.6 Varastointi, lisä- ja varaosat

Sivuilta, joilta löytyy kyseisiä tuotteita, löytyy myös varaosia tai lisäosia laitteistoille. Varaosia on erilaisia eri tarpeisiin, kuten varastoja hapelle ja vedylle tai uusia kennoja. Tilauksiin voi myös lisätä tarpeellisia johtoja tai virtalähteitä. Ottaen huomioon kennojen rajalliset käyttötunnit voi tilaukseen myös lisätä ylimääräisiä PEM-kennoja. PEM-kennojen hinnat vaihtelevat sivujen mukaan. Hinnat kennoille ovat noin muutaman sadan euron luokkaa riippuen kennosta. Vedyn varastoinnillekin löytyy ratkaisuja muutamilta sivuilta. Vedyn varastoimiseen tarvitaan korkeaa painetta. Vedyn varastointi nesteinä olisi myös mahdollista, mutta se vaatisi jatkuvasti todella alhaiset lämpötilat.

Fuell cell store tarjoaa vedyn varastoinnille mahdollisuuksia kaasupulloina. Hinnat ja koot vaihtelevat ja niihin on saatavilla lisäosia maksua vastaan. Jokaiseen tuotteeseen ei ole hintaa saatavilla, mutta hinnat vaihtelevat viidestä sadasta jopa yli kolmeen tuhanteen (Fuel cell store n.d.d). Myös Horizon Educational tarjoaa varastoinnille vaihtoehdon. Hintaa kanisterille olisi saatavilla kysymällä. (Horizon educational n.d.b)

Element-1 sivu tarjoaa myös muutaman vaihtoehdon vedyn varastoinnille. Tällä hetkellä heillä ei ole tuotteita saatavilla, mutta tilanne voi tulevaisuudessa muuttua. Hinnat vaihtelevat kahdesta sadasta eurosta yli neljään sataan euroon (Element-1 n.d.b). Quintechillä on oma luokkansa vedyn varastoinnille, mutta tällä hetkellä heillä ei ole saatavilla tuotteita. (Quintech n.d.b)

Varastoinnille tarjoaa myös vaihtoehtoja erilaiset sivut, joita ei ole vielä edellä mainittu. Näitä ovat esimerkiksi H2planet sekä BOC. H2planetista löytyy myös erilaisia vaihtoehtoja vedyn valmistukseen. Hinnat ovat saatavilla kysymällä niitä erikseen. Monilla sivuilla ratkaisut varastoinnille ovat suhteellisen samanlaisia. (H2planet n.d.)

Varaosia löytyy hyvin monilta jakelijoilta, kuten kennot ja väliaikaiset varastotankit. Esimerkiksi Quintechin valikoimasta löytyy laajasti erilaisia varaosia sekä lisäosia. Valikoimasta löytyy erikokoisia kennoja, erikokoisia varastotankkeja, (Quintech n.d.c)

Vedyn valmistus elektrolyysillä vaatii puhdasta vettä ja sen ollessa todella herkkä veden epäpuhtauksille on syytä olla tarkkana veden puhtauden kanssa. Hapen varastointi onnistuu myös nesteinä, mutta se vaatisi vedyn tapaan todella alhaiset lämpötilat. Varastointi onnistuu myös vedyn tyyliin kaasuna erilaisissa säiliöissä tai kaasupulloissa.

## 5 YHTEENVETO

Vedyn rooli energialähteenä nähdään tärkeänä vaihtoehtona pyrittäessä vähentämään fossiilisten energianlähteiden käyttöä. Vihreän eli päästöttömän vedyn rooli nousee myös tärkeäksi EU:n asettamien kriteerien ja tavoitteiden myötä. Suomen asema uusiutuvien lähteiden näkökulmasta katsottuna on hyvä, sillä esimerkiksi tuulivoimalle Suomessa on hyvä tilanne. Vedyn yleisin valmistustapa vielä tällä hetkellä käyttää maakaasua raaka-aineena, mutta erilaiset vaihtoehdot yleistyvät. Fossiilisesti valmistettua vetyä kutsutaan harmaaksi vedyksi.

Pienmuotoiseen vedyn valmistukseen opetustarkoituksessa järkevä valinta on vedyn valmistus elektrolyysillä. Menetelmiä on erilaisia, joista kaupallisesti tällä hetkellä yleisimpiä ovat alkali- sekä PEM-menetelmä. Näistä PEM-menetelmä on uudempi sekä käytännöllisempi vaihtoehto opetuskäyttöön. Menetelmässä vedestä erotellaan happi sekä vety toisistaan virran avulla. Valmistusmenetelmistä myös AEM-menetelmän kehitys voi olla suurta, sillä se on kustannustehokas sekä ympäristöystävällinen. Tämä vaihtoehto mahdollistaa uusilla anioninvaihtokalvoilla elektrolyysin käytön edullisilla siirtymämetalleilla, jotka eivät sisällä PFAS:ia eli per- ja polyfluorattuja alkaliyhdisteitä.

Opetustarkoitukseen käytettäviä laitteita myydään eri puolella maailmaa. Potentiaalisimmat laitteistojen toimittajat sijaitsevat Yhdysvalloissa ja Euroopan alueella. Jakelijoilla on erilaiset valikoimat sekä erilaiset hinnat. Hintoihin tulee ottaa myös huomioon mahdolliset lisämaksut, kuten toimituskulut ja tullikustannukset.

Laitteistoja löytyy Electrolyzer single- ja double kittejä. Nämä eroavat toisistaan muun muassa kennojen määrällä sekä valmistusnopeudella. Myös hyvän vaihtoehdon tarjoaa Electrolyzer 65 sekä 230. Näillä eroa toisiinsa on esimerkiksi myös samat kuin yllä mainituilla laitteistoilla. Vaihtoehdoista Electrolyzer 230 omaa parhaimmat ominaisuudet, kuten suurimman valmistusnopeuden sekä laitteisto on kooltaan kookkain. Jokainen vaihtoehto on kuitenkin kompakti sekä sopiva kokonsa puolesta laboratorioon.

Varaosia löytyy hyvin lähes jokaiselta jakelijalta. Esimerkiksi kennoilla on rajalliset käyttötunnit noin 10 000 tuntia, joten se on hyvä ottaa huomioon. Myös väliaikaiset laitteistojen varastotankit ovat suuressa käytössä sekä suhteellisen halpoja, joita voi lisätä tilaukseen. Jokaiselle laitteistolle on olemassa myös ohjekirjat, joista löytyy hyvin tietoa kyseistä laitteesta ja sen toiminnasta. Vedyn varastoinnin kannalta löytyy myös vaihtoehtoja, joita ovat pääasiallisesti kaasupullot ja -säiliöt. Varastointi tapahtuu suuressa paineessa ja on otettava huomioon, että vety on räjähdysherkkä. Vetyä sekä muita mahdollisia kaasuja varastoidessa on tärkeää tuntea kyseinen aine, tietää miten aine reagoi toisten aineiden kanssa sekä tietää miten toimia erilaisissa tilanteissa. Vetyä voidaan käyttää kanto- ja instrumenttikaasuna. Myös pakokaasutesteissä voi käyttää hyväksi vetyä. Teollisuudessa vetyä voidaan käyttää esimerkiksi pelkistyskaasuna. Vedyn käyttö keskittyy suurimalta osin teollisuuden pariin muun muassa polttoaineena.

## LÄHTEET

Atlas Copco. n.d. Vedyn tuotanto: Miten vetyä valmistetaan ja mitä se on?. Verkkosivu. Viitattu 21.4.2024. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/air-compressor-blog/what-is-hydrogen-and-how-is-it-produced>

Brandon, N. P., & Kurban, Z. 2017. Clean energy and the hydrogen economy. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*, 375(2098), 20160400–20160400.

Dawood, F., Anda, M., & Shafiullah, G. M. 2020. Hydrogen production for energy: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(7), 3847–3869.

Demirbas, A. 2017. Future hydrogen economy and policy. *Energy Sources. Part B, Economics, Planning and Policy*, 12(2), 172–181.

Dillman, K. J., & Heinonen, J. 2022. A ‘just’ hydrogen economy: A normative energy justice assessment of the hydrogen economy. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 167, 112648-.

Element-1. n.d.a. Contact Us. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024. <https://element1.com/contact-us/#>

Element-1. n.d.b. Hydrogen storage. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2024. <https://element1.com/product-category/hydrogen-storage/>

Findel. n.d. Help and Advice. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024. <https://www.findel-international.com/help-and-advice>

Fuel cell store. n.d.a. About us. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024. <https://fuelcellstore.com/about-us>

Fuel cell store. n.d.b. Single electrolyzer kit. Verkkosivu. Viitattu 15.4.2024. <https://www.fuelcellstore.com/electrolyzer-5-e101?search=single>

Fuel cell store. n.d.c. Double electrolyzer kit. Verkkosivu. Viitattu 15.4.2024. <https://www.fuelcellstore.com/electrolyzer-10-e102?search=double>

Fuel cell store. n.d.d. Hydrogen storage. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2024. <https://www.fuelcellstore.com/hydrogen-equipment/hydrogen-storage>

H-Tec Education. 2019. Operating Instructions. PDF-dokumentti. Viitattu 15.4.2024. <https://h-tec-education.com/manuals/e206-e207-manual.pdf>

H-Tec Education. 2022. Operating Instructions. PDF-dokumentti. Viitattu 15.4.2024. <https://h-tec-education.com/manuals/e101-e103-e104-e205-manual.pdf>

H-Tec Education. n.d.a. About us. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024. [https://h-tec-education.com/about\\_us](https://h-tec-education.com/about_us)

H-Tec Education. n.d.b. Electrolyzer 65. Verkkosivu. Viitattu 15.4.2024. <https://h-tec-education.com/electrolyzer-65-htec-e206?search=electrolyzer>

H-Tec Education n.d.c. Electrolyzer 230. Verkkosivu. Viitattu 15.4.2024. <https://h-tec-education.com/electrolyzer-230-htec-e207?search=electrolyzer>

H2planet. n.d. Hydrogen storage. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2024. <https://www.h2planet.eu/en/products/professional/Hydrogenstorage>

Hansen-Haug, P. 2023. Vedyn tuotanto elektrolyysillä. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 22.4.2024. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/814999/Hansen-Haug\\_Patrik.pdf?sequence=3](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/814999/Hansen-Haug_Patrik.pdf?sequence=3)

Horizon Educational. n.d.a. Who We Are. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024. <https://www.horizoneducational.com/about-us/t1533>

Horizon Educational. n.d.b. Metal Hydride Storage Canisters. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2024. <https://www.horizoneducational.com/metal-hydride-storage-canisters/p1610>

Inds. n.d. Contact Us. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024. <https://www.inds.co.uk/contact-us/>

Joukanen, T. 2023. Maailman ensimmäinen vihreän vedyn tuotantolaitos avomereillä läpäisi testit – Suomeen on suunnitteilla tuotantoa Perämerelle. YLE. Viitattu 26.4.2024. <https://yle.fi/a/74-20062706>

Kamptec. n.d. Home. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024. <https://www.kamptec.nl/>

Keuru, M. 2022. Alkali- ja PEM-teknologioiden vertailu elektrolyysiprosessissa. Energia- ja ympäristötekniikka. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 21.4.2024. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/755371/Keuru\\_Milka.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/755371/Keuru_Milka.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Kiesilä, P. 2021. Vetytalous ja vedyn tuotanto eri teknologioilla. Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta. Tampereen yliopisto. Kandidaatintyö. Viitattu 21.4.2024. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/133884/Kiesil%C3%A4Pyry.pdf>

Kostiainen, J. 2023. Vetytalous. Viitattu 15.4.2024. <https://corporate.nordea.com/article/80926/vetytalous>

Shiva Kumar, S., & Himabindu, V. 2019. Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. Materials Science for Energy Technologies, 2(3), 442–454.

Logistiikan maailma. n.d. DDP Delivery Duty Paid. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024. <https://www.logistiikanmaailma.fi/sopimukset/toimituslausekkeet/incoterms-2020/ddp/>

Phywe. n.d. General Terms and Conditions (GTC) of PHYWE Systeme GmbH & Co. KG. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024. <https://www.phywe.eu/general-terms-conditions/>

Quintech. n.d.a. General terms and conditions. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024. <https://www.quintech.de/en/general-terms-and-conditions/>

Quintech. n.d.b. Hydrogen storage. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2024. <https://www.quintech.de/en/kategorie/hydrogen-storage/>

Quintech. n.d.c. Education and demonstration. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2024. <https://www.quintech.de/en/kategorie/education-demonstration/>

Tuomivirta, T. 2023. Vedyn tuotanto uusiutuvilla raaka-aineilla ja vetytalous luki-  
on kemian opetuksessa. Materiaalikemia. Kemian aineenopettajan koulutusoh-  
jelma. Itä-Suomen yliopisto. Pro-gradu tutkielma. Viitattu 21.4.2024.  
[https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/29232/urn\\_nbn\\_fi\\_uef-20230084.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/29232/urn_nbn_fi_uef-20230084.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vartiainen, E. 2020. Vetytalous tulee ennemmin tai myöhemmin. Viitattu  
16.4.2024. <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/blogi/forthedoers-blogi/vetytalous-tulee-ennemmin-tai-myohemmin>