

# VEDYN- JA UUSIUTUVAN ENERGIAN TUOTANTOON LIITTYVÄN OPPIMISYMPÄRISTÖN KÄYTTÖÖNOTTO

Sampo Joona

Opinnäytetyö  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus  
Insinööri (AMK)

2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Sampo Joona	<b>Vuosi</b>	2023
<b>Ohjaaja(t)</b>	Vesa-Matti Ruismäki		
<b>Toimeksiantaja</b>	Lapin ammattikorkeakoulu		
<b>Työn nimi</b>	Vedyn- ja uusiutuvan energian tuotantoon liittyvän oppimisympäristön käyttöönotto		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	36 + 4		

---

Opinnäytetyö tarkoituksena oli kunnostaa ja käyttöönottaa vedyn tuotantoon sekä uusiutuvien energiamuotojen opetukseen tarkoitettu oppimisympäristö. Työn toimeksiantajana toimi Lapin ammattikorkeakoulu, joka omistaa kyseisen oppimisympäristön.

Työ toteutettiin kehittämispainotteisena opinnäytetyönä. Tietoperustana työssä käytettiin vedyn tuotantoon ja uusiutuviin energiamuotoihin liittyvää kirjallisuutta, tutkimuksia sekä artikkeleita. Työssä käytiin läpi vedyn tuotantoon ja käyttöön liittyvää teoriaa sekä tuuli- ja aurinkovoiman perusteita.

Toiminnallisessa osuudessa esiteltiin käyttöönotettava oppimisympäristö sekä käytiin läpi laitteistoon tehtävät testaukset ja korjaustoimenpiteet.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi toimiva oppimisympäristö, jota voidaan hyödyntää energiatekniikan opetuksessa.

Civil Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Sampo Joona	<b>Year</b>	2023
<b>Supervisor</b>	Vesa-Matti Ruismäki		
<b>Commissioned by</b>	Lapland University of applied sciences		
<b>Subject of thesis</b>	Deployment of a Learning Environment Related to Hydrogen and Renewable Energy Production		
<b>Number of pages</b>	36 + 4		

---

The purpose of this thesis study was to update and deploy a learning environment, which is used for teaching hydrogen production and renewable energy. The study was commissioned by Lapland University of Applied Sciences, which owns the learning environment in question.

The study was implemented as a development-oriented thesis. Literature, studies and articles related to hydrogen production and renewable forms of energy was used as a knowledge base for the study. The study also covered the theory related to the production and use of hydrogen, as well as the basics of wind and solar power. The functional part of the study included a presentation, testing, troubleshooting and repairing of the learning environment.

As a result of the thesis study, a functional learning environment was created, which can be utilized in the teaching of energy technology studies.

Key words

Hydrogen, renewable energy, learning environment

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 VETY .....	6
2.1 Vety aineena .....	6
2.2 Vetytalous .....	6
2.3 Vedyn tuotanto .....	7
2.4 Vedyn käyttö .....	8
3 VEDYN TUOTANTO- JA KÄYTTÖLAITTEET .....	9
3.1 Elektrolyysi .....	9
3.2 Muut vedyn tuotantotavat .....	11
3.3 Polttokenno .....	11
4 UUSIUTUVAT ENERGIANLÄHTEET VEDYNTUOTANNOSSA .....	13
4.1 Tuulivoima .....	13
4.2 Aurinkovoima .....	14
5 OPPIMISYMPÄRISTÖ .....	17
5.1 Esittely ja keskeiset komponentit .....	17
5.2 Oppimisympäristön käyttöönotto .....	21
5.3 Demolaitoksen harjoitustyöt .....	30
6 POHDINTA .....	32
LÄHTEET .....	34
LIITTEET .....	36

## 1 JOHDANTO

Uusiutuvien energiamuotojen käyttö Suomessa kasvaa kovaa vauhtia. Suomen tavoitteena on kattaa energian loppukulutuksesta 51 prosenttia uusiutuvilla energiamuodoilla vuonna 2030. (Motiva 2022a.) Lisäksi puhtaan ja vähähiilisen vedyn tuotantoa pyritään lisäämään tulevaisuudessa. Puhdasta ja vähähiilistä vetyä voitaisiin tulevaisuudessa käyttää energian varastointiin ja jakeluun, sekä sillä voitaisiin korvata fossiilisia raaka-aineita useissa prosesseissa. (Sivill ym. 2022, 19.)

Opinnäytetyön tavoitteena on käyttöönottaa oppimisympäristö, jossa voidaan opettaa uusiutuvan energian ja vedyn tuotantoa. Oppimisympäristöä voidaan käyttää monipuolisesti energiatekniikan opetuksessa. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Lapin Ammattikorkeakoulu. Työ toteutettiin kehittämispainotteisena opinnäytetyönä.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi vedyn tuotannon ja käytön perusteita sekä niihin liittyvää laitteistoa ja niiden toimintaperiaatteita. Lisäksi tutustutaan tuuli- ja aurinkovoiman perusteisiin.

Toiminnallinen osuus koostuu oppimisympäristön vianmäärityksiin, korjauksiin ja testauksiin liittyvistä työvaiheista. Osuudessa käydään myös läpi oppimisympäristöllä tehtäviä harjoituksia.

## 2 VETY

### 2.1 Vety aineena

Vety on maailman kaikkeudessa yleisimmin esiintyvä alkuaine. Vetyä ei kuitenkaan esiinny puhtaana alkuaineena luonnossa, vaan se on sitoutuneena muihin alkuaineisiin. Yksi vedyn tunnetuimmista yhdisteistä on hapen ja vedyn yhdiste vesi. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 294.)

Vedyllä on korkea tehollinen lämpöarvo, joka on 120 MJ/kg. Kyseinen lämpöarvo on noin kolminkertainen raskaaseen tai kevyeen polttoöljyyn verrattuna. Vedyn tiheys on 0,083 kg/m<sup>3</sup>, joka on hyvin alhainen. Tämän takia vedyn lämpöarvo tilavuusyksikköä kohden on pieni vain noin 10 MJ/m<sup>3</sup>. Vertailun vuoksi maakaasun lämpöarvo tilavuusyksikköä kohden on 36 MJ/m<sup>3</sup> eli yli kolme kertaa suurempi. (Huhtinen ym. 2013, 294.)

Vety on palava kaasu ja tarpeeksi suurina pitoisuuksina se on tukahduttavaa. Vedyn syttymisraja ilmassa on 4 %–75 % (Linde 2020). Vedyn syttymiseen ilmassa riittää 4 %:n pitoisuus, kun vedyn pitoisuus ilmassa ylittää 75 %, ei ilmassa oleva happi riitä enää vedyn syttymiseen. Tämän takia vedyn kanssa työskennellessä täytyy noudattaa erityistä varovaisuutta ja tarvittavien turvalaitteiden on oltava kunnossa.

### 2.2 Vetytalous

Vetytalous on järjestelmä, jolla pyritään siirtymään pois fossiilisten energianlähteiden ja raaka-aineiden käytöstä vähähiilisellä energialla tuotetun vedyn avulla (Sivill ym. 2022, 14).

Ilmastonmuutoksen torjunnassa puhdas ja vähähiilinen vety on nostettu yhdeksi välttämättömäksi keinoksi ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. On esitetty, että vuonna 2050 Euroopassa noin 18 prosenttia energian loppukäytöstä olisi puhtaasta ja vähähiilisestä vedystä sekä siitä valmistettavista synteettisistä polttoaineista. Puhtaan ja vähähiilisen vedyn tuotanto ei ole tällä hetkellä taloudellisesti kilpailukykyistä, mutta 2030-luvulla se nähdään yhtenä oleellisena keinona hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. (Sivill ym. 2022, 18–19.)

### 2.3 Vedyn tuotanto

Vetyä ei esiinny luonnossa puhtaana alkuaineena, vaan vety on sitoutunut muihin aineisiin. Tästä syystä vety täytyy valmistaa hajottamalla aineita, joihin vety on sitoutunut. Vedyn valmistustapoja ovat muun muassa reformointi, elektrolyysi ja kaasutus. (Huhtinen ym. 2013, 294.)

Vedyn tuotantotavat on jaoteltu värien avulla. Yleisimmin käytetyt nimitykset ovat vihreä, sininen ja harmaa vety. Vihreä vety on tuotettu uusiutuvalla energialla. Sininen vety on tuotettu fossiilisista polttoaineista, mutta tuotannosta syntyvä hiilidioksidi otetaan talteen. Harmaa vety valmistetaan myös fossiilisista polttoaineista, mutta ilman hiilidioksidin talteenottoa. (IEA 2019, 34.) Kuviossa 1 on eritelty tuotantotavat tarkemmin väreittäin.

	Terminology	Technology	Feedstock/ Electricity source	GHG footprint*
PRODUCTION VIA ELECTRICITY	Green Hydrogen	Electrolysis	Wind   Solar   Hydro Geothermal   Tidal	Minimal
	Purple/Pink Hydrogen		Nuclear	
	Yellow Hydrogen		Mixed-origin grid energy	Medium
PRODUCTION VIA FOSSIL FUELS	Blue Hydrogen	Natural gas reforming + CCUS Gasification + CCUS	Natural gas   coal	Low
	Turquoise Hydrogen	Pyrolysis	Natural gas	Solid carbon (by-product)
	Grey Hydrogen	Natural gas reforming		Medium
	Brown Hydrogen	Gasification	Brown coal (lignite)	High
	Black Hydrogen		Black coal	

Kuvio 1. Vedyn tuotantotavat väreittäin (Global energy infrastructure 2021)

Suomessa tuotettiin vuonna 2020 noin 145 000 tonnia vetyä teollisuuteen, joka on energiaksi muutettuna noin 5 TWh. Määrä vastasi noin 1,5 % Euroopan vedyn tuotannosta. Suurin osa Suomen vedystä valmistettiin fossiilisista polttoaineista ja vain murto-osa elektrolyysillä. Vuonna 2030 Suomessa olisi tarkoitus tuottaa puhdasta vetyä 3,7–7,9 TWh asiantuntijoiden laatimien vetyskenaarioiden mukaan. Tämä tarkoittaa todella suurta kasvua puhtaan vedyn tuotannossa kuluvan vuosikymmenen aikana. (Sivill ym. 2022, 112,159.)

Suomen ensimmäisen vihreän vedyn tuotantolaitoksen rakentaminen aloitettiin Harjavallassa vuonna 2022. Laitos on tarkoitus ottaa käyttöön vuonna 2024. Laitoksen elektrolyysikapasiteetti on 20 MW. Vedyn lisäksi laitoksesta saadaan sivuvirtoina happea sekä lämpöenergiaa. (P2X Solutions Oy 2021.)

## 2.4 Vedyn käyttö

Vetyä käytetään teollisuudessa useisiin eri tarkoituksiin. Öljynjalostus, ammoniakin- ja metanolin valmistus ovat kolme vetyä eniten käyttävää prosessia. Öljynjalostuksessa käytetään noin kolmannes tuotetusta vedystä. Öljynjalostuksessa vetyä käytetään epäpuhtauksien, kuten rikin poistossa. Ammoniakin valmistuksessa käytetään 23 % ja metanolin valmistuksessa 11 % tuotetusta vedystä. (IEA 2019, 89–91.)

Tulevaisuudessa vetyä pyritään käyttämään energiankantajana sekä energiavarastona. Vedystä voidaan valmistaa synteettisiä polttoaineita, kuten metaania tai metanolia. Näillä polttoaineilla voitaisiin korvata liikenteessä ja teollisuudessa käytettäviä fossiilisia polttoaineita. Vetyä voidaan käyttää ja varastoida myös sellaisenaan. Vetyä käytetään polttokennojen polttoaineena sekä tulevaisuudessa vedyllä voitaisiin korvata terästeollisuudessa käytettävää fossiilista hiiltä. Vedyn varastointi ja jakelu sellaisenaan aiheuttaa kuitenkin paljon haasteita. (Sivill ym. 2022, 20–22.)

Vetykaasun alhaisen tiheyden vuoksi se varastoidaan yleensä paineistettuna terässäiliöissä. Varastoinnin standardipaine on 200 baaria. Paineen nostaminen 200 baariin kuluttaa vedyn tehollisesta lämpöarvosta noin 10 %. Vetyä voidaan myös nesteyttää, mutta tämä vaatii -252 °C lämpötilan. Vetykaasun nesteyttäminen kuluttaa energiaa 30 % vedyn tehollisesta lämpöarvosta. (Huhtinen ym. 2013, 295–296.)



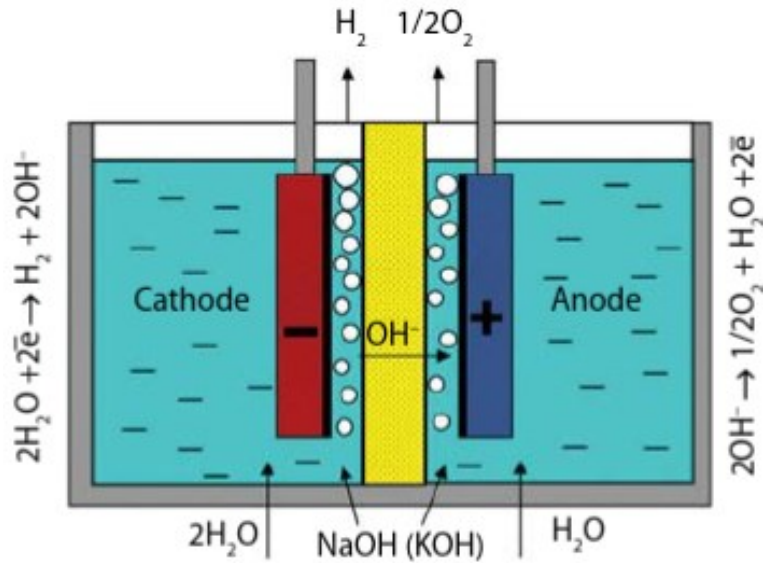
### 3 VEDYN TUOTANTO- JA KÄYTTÖLAITTEISTOT

#### 3.1 Elektrolyysi

Elektrolyysissä muutetaan sähköenergiaa kemialliseksi energiaksi. Prosessi saadaan aikaiseksi pakottamalla tasavirta kulkemaan elektrolyysikennon lävitse, jolloin saadaan aikaan halutut hapettumis-pelkistymisreaktiot elektrodeilla. Elektrolyysikennoissa on kahdenlaisia elektrodeja ja näitä kutsutaan anodiksi sekä katodiksi. Hapettumisreaktio tapahtuu anodilla ja pelkistymisreaktio katodilla. Vedyn tuotannossa elektrolyysillä hajotetaan vettä. Veden hajotessa elektrolyysissä, katodilla syntyy vetyä ja anodilla happea. Elektrolyysiin tarvitaan myös elektrolyytti, jonka tehtävä on kuljettaa varautuneet ionit halutulle elektrodille. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio 2018, 157–160.)

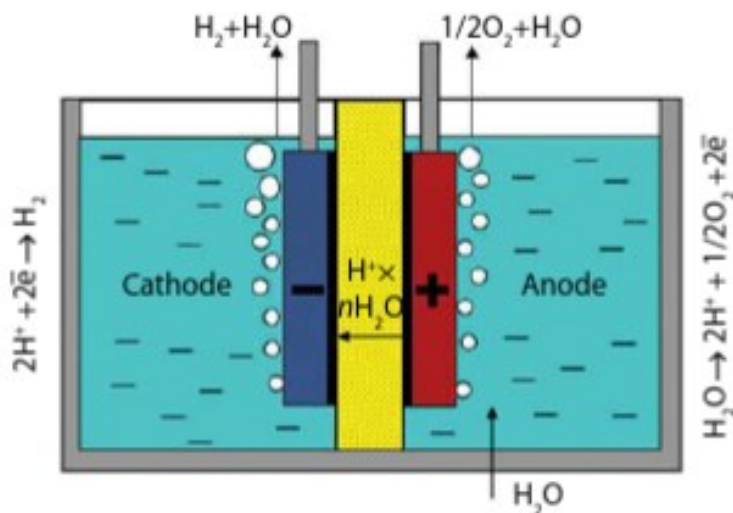
Veden hajotukseen käytettävät elektrolyysit jaetaan neljään eri tyyppiin. Nämä ovat alkalinen-, polymeeri-, anioninvaihto- ja vesihöyryelektrolyysi. Edellä mainitut laitteistot erottavat toisistaan niiden rakenne, toimintaperiaate ja niissä käytetyt materiaalit. (Irena 2020.)

Alkalisessa elektrolyysissä elektrolyytinä käytetään kalium- tai natriumhydroksidiliuosta ja elektrodit ovat usein nikkelipäällystettyä terästä. Alkalisissa elektrolyysereissä anodi ja katodi erotetaan ioneja läpäisevillä kalvoilla. Kalvon tarkoitus on pitää elektrolyysissä syntyvät kaasut eli vety ja happi erillään toisistaan. Mikäli kaasut pääsisivät reagoimaan keskenään, voisi se johtaa vetyräjähdykseen. Elektrolyytissä olevaa vettä haihtuu elektrolyysin aikana ja vettä pitääkin lisätä käytön aikana, jotta elektrolyytin konsentraatio pysyy optimaalisena. Alkalisen elektrolyysin yksi ongelma on se, että sillä tuotettua vetyä ei ole tarpeeksi puhdasta käytettäväksi sellaisenaan. Tuotettu vety täytyy puhdistaa siihen jääneestä vedestä ja elektrolyyttijäämistä. (Sankir & Demirci Sankir 2017, 241–244.) Kuviossa 2 nähdään alkalisen elektrolyysin toimintakaavio.



Kuvio 2. Alkalisen elektrolyyserin toimintakaavio (Sankir & Demirci Sankir 2017)

Polymeerielektrolyyserissä elektrolyyttinä on polymeerikalvo, joka on kiinteä. Elektrodeina elektrolyyserissä käytetään jalometalleja, koska polymeerikalvo on todella hapan. Polymeerikalvon happamuus syntyy, kun vetyionit kulkeutuvat kalvoon ja sen lävitse. Mikäli elektrodit eivät olisi jalometalleja, altistuisivat ne korroosiolle. Polymeerielektrolyysereitä pidetään turvallisimpana tapana valmistaa puhdasta vetyä. Kyseiset laitteistot ovat kuitenkin kalliita niiden sisältämien jalometallien takia. (Sankir & Demirci Sankir 2017, 252–253.) Kuviossa 3 nähdään polymeerielektrolyyserin toimintakaavio.



Kuvio 3. Polymeerielektrolyyserin toimintakaavio (Sankir & Demirci Sankir 2017)

Alkalinen- ja polymeerielektrolyyseri ovat kaupallisesti saatavilla, kun anioninvaihto- ja vesihöyryelektrolyyseri ovat vielä tutkimusvaiheessa. Anioninvaihtoelektrolyyserissä ei tarvitse käyttää jalometalleja ja tästä syystä ne ovat halvempia valmistaa. Ongelmaksi anioninvaihtoelektrolyysereissä on noussut kemialliset ja mekaaniset stabiilisuusongelmat. Vesihöyryelektrolyyserillä saadaan aikaan vetyä hyvällä hyötysuhteella. Kyseisen laitteiston ongelma on komponenttien nopea kuluminen, koska prosessissa käytetään korkeita lämpötiloja. (Irena 2020.)

### 3.2 Muut vedyn tuotantotavat

Vuonna 2019 lähes kaikki päätuotteeksi tuotettu vety valmistettiin fossiilisista polttoaineista. Tällaisia vedyn tuotantotapoja ovat muun muassa maakaasun reformointi sekä kivihiilen kaasutus. Maakaasun reformoinnilla tuotetaan noin 75 % ja kivihiilen kaasutuksella noin 23 % päätuotteeksi tuotetusta vedystä. (IEA 2019, 38.)

Fossiilisista polttoaineista valmistetusta vedystä aiheutuu kuitenkin hiilidioksidipäästöjä. Näitä hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää ottamalla hiilidioksidi talteen. Hiilidioksidi voidaan talteenoton jälkeen varastoida tai hyödyntää raaka-aineena muissa prosesseissa. Hiilidioksidin talteenotolla voidaan vähentää vedyn tuotannosta syntyviä päästöjä jopa 90 %. (IEA 2019, 39,49.)

### 3.3 Polttokenno

Polttokennot ovat kennoja, joilla tuotetaan energiaa hapettumis-pelkistymisreaktion avulla. Polttokennojen hyötysuhteet ovat hyviä ja tuottavat vähän ympäristöpäästöjä käytettävän polttoaineen mukaan. Yleisimmin käytetty polttokennotyyppi on polymeeri-elektrolyytti-membraani (PEM) -polttokenno ja polttokennoissa yleisimmin käytetty polttoaine on vety. Mikäli polttokennon polttoaineena käytetään vetyä, syntyy päästönä ainoastaan vettä. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio 2018, 153.)

PEM-polttokennossa vetyä syötetään anodille, jossa vety pelkistyy ja luovuttaa elektroneja. Elektronit johdetaan ulkoista piiriä kautta katodille, jolloin piiriin syntyy sähkövirta. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio 2018, 153.) Anodilla tapahtuva kemiallinen reaktio on kuvattu kaavassa 1.



Vetyionit kulkeutuvat kalvon lävitse katodille, jossa ne reagoivat katodille johdettavan hapen kanssa. Reaktiossa syntyy vettä sekä lämpöä. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio 2018, 153.) Katodilla tapahtuva kemiallinen reaktio on kuvattu kaavassa 2.



Kyseisessä polttokennossa käytetään anodin katalyyttinä platinaa tai jotain muuta platinaryhmän metallia. Tästä syystä PEM-polttokennojen valmistus on kallista. Myös metanolia voidaan käyttää polttokennon polttoaineena. Metanolia käytetään polttoaineena suorametanolipolttokennoissa. Metanolin käytöstä polttokennoissa syntyy veden ja lämmön lisäksi hiilidioksidia, jolloin tuotanto ei ole päästötöntä. Vety-happipolttokennoja käytetään yleisimmin vetyautojen energianlähteenä. Polttokennojen käytön haasteina on toistaiseksi niissä käytettävien polttoaineiden saatavuus ja suuret tuotantokustannukset. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio 2018, 153.)

## 4 UUSIUTUVAT ENERGIANLÄHTEET VEDYNTUOTANNOSSA

### 4.1 Tuulivoima

Tuulivoiman tuotanto perustuu tuulen ilmavirtauksessa olevan liike-energian hyödyntämiseen muuttamalla virtauksen energia sähköenergiaksi. Tuulivoimalassa ilmavirtauksen energia muutetaan ensin roottorin liike-energiaksi ja roottorin liike-energia muunnetaan generaattorin avulla sähköenergiaksi. (Korpela 2016, 36.)

Tuulivoimalan teho  $P$  voidaan laskea kaavalla 3 (Korpela 2016, 36).

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p A v^3 \quad (3)$$

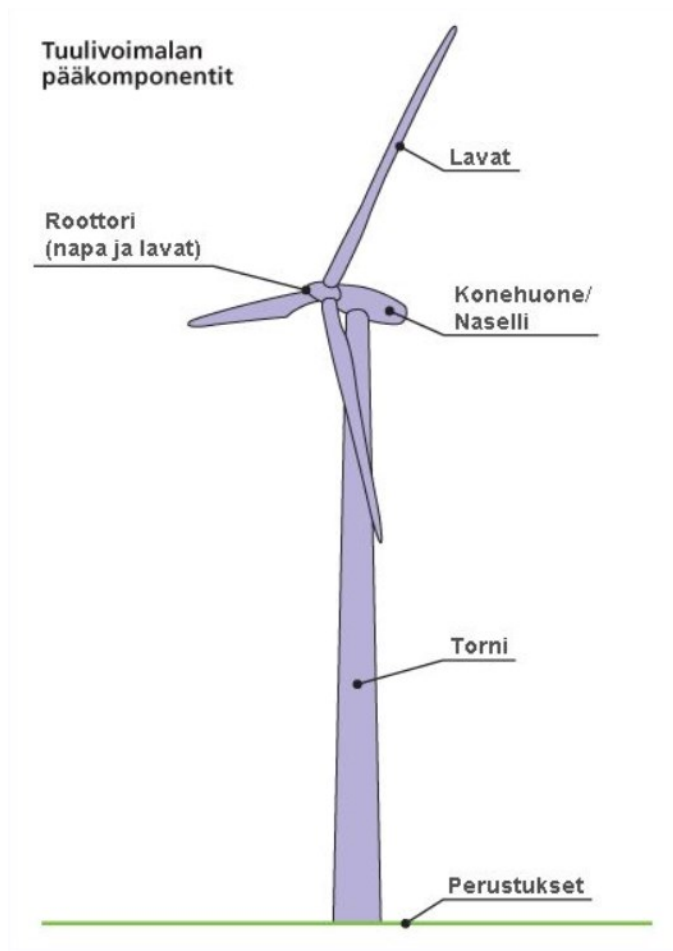
missä

$P$	on	tuulivoimalan teho [W]
$\rho$	on	ilman tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]
$C_p$	on	tuulivoimalan tehokerroin
$A$	on	kohtisuora pinta-ala ilmavirtausta vastaan [m <sup>2</sup> ]
$v$	on	ilmavirtauksen nopeus [m/s].

Tuulivoimalan tehokerroin voi olla Betzin lain mukaisesti korkeintaan 59,3 %. Käytännössä kyseiseen hyötysuhteeseen ei koskaan päästä, sillä laskelmaan ei ole huomioitu minkäänlaisia häviöitä. Esimerkiksi 40 prosentin kokonaishyötysuhde tuulivoimalalla on jo erittäin hyvä. (Korpela 2016, 42–43, 86.)

Tuulivoimaloita on olemassa monentyyppisiä. Voimalat voivat olla pysty- tai vaaka-akselisia. Voimaloiden lapa määrät vaihtelevat, mutta käytetyin lapa määrä voimaloissa on kolme. Vaaka-akselinen ja kolmilapainen tuulivoimala on käytetyin voimalatyyppi teollisessa tuulivoimantuotannossa. Pientuulivoimalat ovat usein kaksi- tai kolmelapaisia vaaka-akselivoimaloita. (Tuulivoimayhdistys 2023.)

Teollisten tuulivoimaloiden tornien korkeuksien vaihteluväli on 50–180 metriä ja roottorin halkaisijoiden vaihteluväli on 40–150 metriä. Nykyään Suomeen rakennettavien tuulivoimaloiden korkeus on 140–175 metriä. (Motiva 2023.) Teollisessa käytössä olevan vaaka-akselisen tuulivoimalan osat ja niiden sijoittuminen näkyvät kuviossa 4.



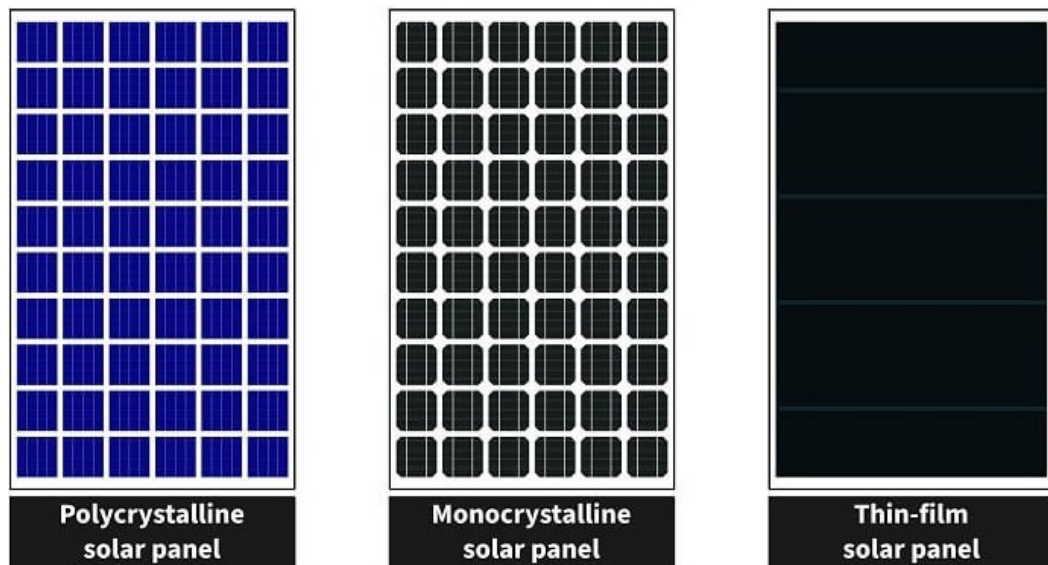
Kuvio 4. Vaaka-akselisen tuulivoimalan osat (Motiva 2023)

## 4.2 Aurinkovoima

Aurinkovoimaa tuotetaan aurinkopaneeleilla, joilla auringonsäteily muunnetaan sähköenergiaksi. Auringonsäteilyn osuessa aurinkopaneelin kennossa olevaan puolijohdemateriaaliin irtoaa siitä elektroneja. Tätä säteilyn aiheuttamaa ilmiötä kutsutaan valosähköiseksi ilmiöksi. (Lehto ym. 2019, 10.)

Aurinkopaneelien kennotyyppejä on useita, mutta huomattavasti suurin osa kennoista on yksi- tai monikiteisiä piikidekennoja. Kuluttajille myytävien piikidekennojen hyötysuhde on yleisesti noin 15–17 prosenttia, mutta markkinoilla on saatavilla piikidekennoja, joiden hyötysuhde on yli 20 prosenttia. Nämä ovat niin sanottuja ensimmäisen sukupolven aurinkokennoja. (Motiva 2022b.)

Toisen sukupolven aurinkokennoja ovat ohutkalvoaurinkokennot. Näiden kennojen hyötysuhde on heikompi kuin piikidekennojen noin 9–11 %. Ohutkalvokennojen etuna on kuitenkin se, että ne voidaan helposti integroida monenlaisille pinnoille. Ohutkalvokennoja voidaan painaa esimerkiksi rullattavaan muoviin, jolloin aurinkokennosta saadaan joustavaa. (Motiva 2022b.) Erityyppisiä aurinkokennoja näkyy kuviossa 5. Kuviossa vasemmalla on monikidekenno, keskellä yksikidekenno ja oikealla ohutkalvokenno.



Kuvio 5. Erityyppiset aurinkokennot (The Eco Experts 2023)

Aurinkokennoista ensimmäisen ja toisen sukupolven kennot toimivat pn-liitoksen ja valosähköisen ilmiön avulla. Pn-liitoksessa puolijohteet saostetaan alkuaineilla, joilla on eri määrä elektroneja kuin saostettavalla puolijohteella. N-tyypin puolijohteessa elektroneja on enemmän kuin muissa johteen atomeissa ja P-tyypin puolijohteessa niitä on vähemmän. Auringonsäteilyn osuessa n-tyypin puolijohteisiin irrottaa säteily johteesta elektroneja, jotka kulkeutuvat ulkoisen virtapiirin kautta p-puolelle. Kennon sisälle muodostuu sähkökenttä, jonka vuoksi elektronit voivat kulkea takaisin p-puolelle vain ulkoisen virtapiirin kautta. (Lehto ym. 2019, 10–11.)

Kolmannen sukupolven aurinkokennoihin kuuluvat muun muassa nanokidekennot. Näiden kennojen toiminta ei perustu pn-liitokseen vaan kemiallisiin reaktioihin. Nanokidekennot koostuvat nanokokoisista titaanidioksidihiukkasista. Hiukka-

set on pinnoitettu väriainehiukkasilla, jotka absorboivat säteilyä. Lisäksi ne on käsitelty elektrolyyttiliuoksella. Säteilyn osuessa kennoon vapautuu kennolla elektroneja. Vapautuneet elektronit kulkeutuvat titaanioksidikerrokselta ulkoiseen virtapiiriin. Nanokidekennojen lisäksi on kehitteillä useita erityyppisiä aurinkokennoja. (Motiva 2022b.)



## 5 OPPIMISYMPÄRISTÖ

### 5.1 Esittely ja keskeiset komponentit

Käyttöön otettava laitteisto oli Heliocentris New Energy Lab. Laitteistolla voidaan tuottaa energiaa uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla. Energia voidaan tuottaa aurinkokennoilla, tuulivoimalalla sekä polttokennon avulla. Tuotettua sähköä voidaan myös varastoida laitteiston avulla. Tuotettu energia voidaan varastoida laitteistossa oleviin akkuihin tai elektrolyysin avulla vedyksi. Oppimisympäristö on liitetty myös sähköverkkoon. Sähköverkon kautta tulevaa energiaa voidaan varastoida akkuihin ja vedyksi tilanteissa, joissa aurinko- tai tuulienergiaa ei ole saatavilla.

Laitokseen on asennettu keinokuorma, jolla voidaan simuloida erityyppisiä energian käyttötilanteita. Tuotettua energiaa saadaan laitoksesta myös ulkoisiin laitteisiin tasa- ja vaihtovirtana.

Oppimisympäristön katolle on asennettu kuusi kappaletta monikide aurinkopaneeleja sekä pientuulivoimala. Näiden lisäksi ulkopuolelle on asennettu sääasema, joka mittaa tuulen nopeutta, ulkoilman lämpötilaa sekä auringon säteilymäärää.

Yksittäisen aurinkopaneelin huipputeho on 265 W ja näin ollen kuuden paneelin huipputeho on 1590 W. Paneelien hyötysuhde on 16,29 %. Aurinkopaneelit ovat asennettu säädettävien telineiden päälle, joilla voidaan muuttaa aurinkopaneelien kulmaa. Lisätietoa kyseisistä aurinkopaneeleista löytyy liitteestä 1.

Tuulivoimalan nimellisteho on 400W. Kyseinen nimellisteho saavutetaan 12,5 m/s tuulen nopeudella. Tuulen nopeus täytyy olla yli 3,6 m/s, jotta voimala alkaa tuottamaan sähköä. Lisätietoa tuulivoimalasta löytyy liitteestä 2. Kuviossa 6 on oppimisympäristö kuvattuna ulkoa.



Kuvio 6. Oppimisympäristö ulkoa kuvattuna

Oppimisympäristön sisällä sijaitsevat laitteiston loput komponentit. Sisällä oleva laitteisto on jaettu kahteen osaan. Toinen puoli laitteistosta liittyy vedyntuotantoon ja toinen puoli energianhallintaan. Näiden keskelle on asennettu järjestelmän keskusyksikköön kytketty näyttö, josta voidaan seurata ja ohjata laitteistoa. Laitteiston kokoonpano edestäpäin nähdään kuviossa 7.



Kuvio 7. Oppimisympäristön sisäpuolinen laitteisto

Vedyntuotantopuolella yllmpänä on asennettuna vetysäiliöt. Säiliöt ovat metalli-hydridisäiliöitä ja yhteensä niitä on laitteistossa kolme kappaletta. Vetysäiliöiden kapasiteetti on yhteensä 750 NI. Vetysäiliöiden alapuolella on kosketusnäyttö, josta voidaan seurata järjestelmän toimintaa.

Kosketusnäytön alapuolella on asennettuna polttokenno. Polttokennon nimellisteho on 1200 W. Polttokenno käyttää polttoaineenaan elektrolyyserillä tuotettua vetyä. Alimpana vetypuolella on elektrolyyseri. Elektrolyyserin teho on 400 W ja

sillä saadaan tuotettua maksimissaan 60 normilitraa vetyä tunnissa. Lisätietoa polttokennosta ja elektrolyyseristä löytyy liitteistä 3 ja 4.

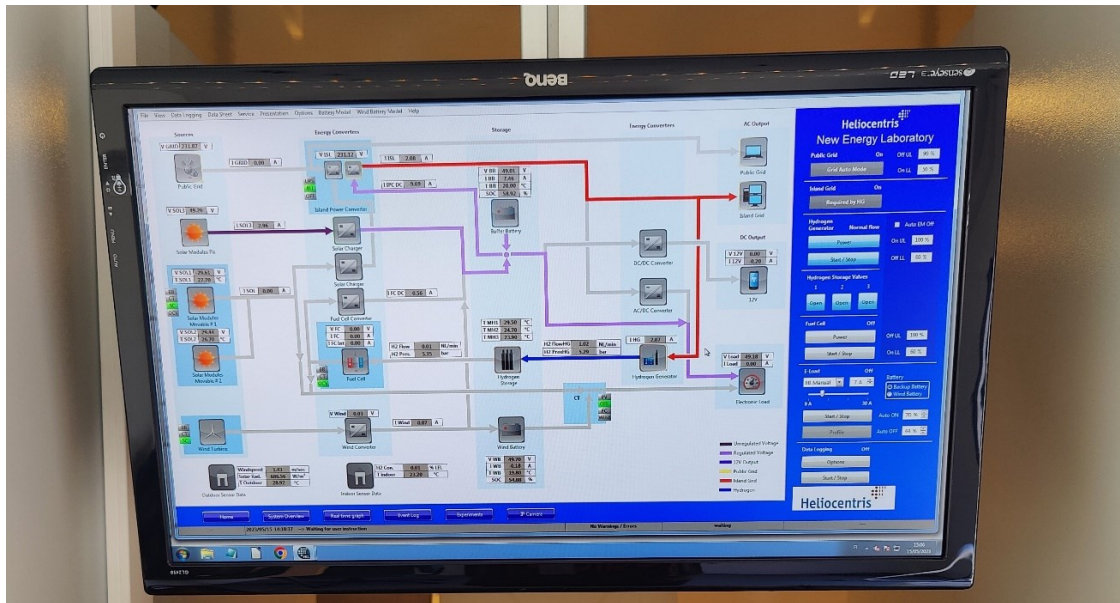
Energiahallinta puolella ylimpänä löytyy mittaristoja sekä led-ilmaisimia, jotka kertovat järjestelmätilasta. Mittareiden ja led-ilmaisimien tiedot näkyvät myös näytöllä, josta niitä on helpompi seurata. Näiden alapuolella on säätökytkimet, joilla ohjataan järjestelmän energiatuotannon eri osia. Kytkimillä voidaan määrittää mitkä laitteet ovat käynnissä ja minne tuotettua energiaa halutaan syöttää.

Kytkimien alapuolella ovat vaihto- sekä tasasähkö liitännät. Näistä liitännöistä voidaan ottaa sähköä ulkoisille laitteille. Tasasähkö liitäntöjen kautta voidaan myös ladata akkuja ulkoisella virtalähteellä. Liitäntöjen alla on keinokuorma. Keinokuorman maksimiteho on 1500 W. Järjestelmän kautta voidaan asettaa keinokuormalle erilaisia kulutustilanteista ja simuloida niitä.

Keinokuorman alapuolella on järjestelmän keskusyksikkö. Yksikköön on ladattu ohjelma, jolla koko järjestelmää ohjataan. Ohjelmassa on myös tiedonkeruu mahdollisuus. Tätä käytetään erityisesti harjoitustöiden suorittamiseen. Alimpana energiahallinnanpuolella on akut. Isommat puskuriakut ovat 12 voltin ja 55 Ah lyijyakkuja. Tuulivoima-akut ovat 12 voltin ja 18 Ah lyijyakkuja. Molempia akkuja on neljä kappaletta.

Laitteistossa on runsaasti erilaisia mittaustureita, joilla mitataan laitteiston eri osia. Antureiden mittaamia arvoja voidaan seurata keskusyksikköön liitetystä näytöltä. Näytöllä näkyy myös energian reitit nuolilla ilmaistuna. Näkymä käyttöliittymästä näkyy kuviossa 8.





Kuvio 8. Oppimisympäristön käyttöliittymä

## 5.2 Oppimisympäristön käyttöönotto

Demolaitteiston käyttöönotto alkoi laitteistoon tutustumisella. Ensimmäiseksi käytiin läpi laitteiston käynnistämistä ja sammutusta oikeaoppisesti. Laitteiston käynnistäminen täytyi tehdä oikealla tavalla, koska väärällä tavalla käynnistettäessä laitteisto polttaa sulakkeen. Laitteiston sammutusta varten karrystä löytyi hyvät kirjalliset ohjeet.

Seuraavaksi aloitettiin laitteiston testaus. Tässä vaiheessa huomattiin useita eri ongelmia. Tuulivoimapuolen akut olivat menneet epäkuntoon ja nämä akut täytyi vaihtaa. Uudet akut käytiin hankkimassa paikallisesta akkuliikkeestä.

Seuraava ongelma huomattiin aurinkokennojen jännitteessä, joka nousi ja laski tiheään tahtiin. Myös aurinkokennojen ohjausyksikössä vilkkui punainen valo ja näytöllä näkyi varoitusilmoitus väärästä napaisuudesta.

Kolmas ongelma oli elektrolyyserissä. Aluksi elektrolyyseriin yritettiin saada vettä, koska elektrolyyserin säiliö näytti olevan tyhjä. Vesi ei kuitenkaan lähtenyt virtaamaan elektrolyyseriin ja huomattiin, että laitteelle menevä letku oli päässyt jääty-mään. Letkun annettiin sulaa hetken aikaa, jonka jälkeen vettä yritettiin syöttää uudelleen. Vesi ei edelleenkään virrannut laitteelle, jonka jälkeen tarkastettiin

magneettiventtiili laitteelle menevien letkujen välistä. Tässä kohtaa huomattiin letkun irronneen magneettiventtiilistä, tämä oli aiheuttanut magneettiventtiilin kastumisen ja sitä kautta vioittumisen.

Elektrolyyseriin syötettiin vettä manuaalisesti yläosassa olevan aukon kautta. Nyt huomattiin elektrolyyserin vuotavan ja laite vietiin rakennuslaboratorioon tarkempiin tutkimuksiin.

Tutkimuksissa selvisi, että yksi elektrolyyserin sisällä olevista letkuista oli irronnut paikaltaan. Letku asennettiin takaisin paikalleen ja elektrolyyseriin syötettiin uudelleen vettä. Näiden toimenpiteiden jälkeen laite ei enää vuotanut ja testaamista voitiin jatkaa. Elektrolyyseri tuotiin takaisin paikalleen ja testaaminen voitiin aloittaa.

Järjestelmä käynnistettiin, mutta elektrolyyseri ei toiminut vaan meni vikatilaan hetken päästä sen käynnistämisestä. Käynnistämistä yritettiin uudelleen useaan kertaan, mutta jokaisella kerralla elektrolyyseri meni vikatilaan. Vikatila johtui elektrolyyserin mukaan ylipaineesta. Seuraavaksi laitetta testattiin itsenäisesti ilman järjestelmän ohjausta.

Kaikki laitteen sisäiset testit käytiin läpi eikä testien aikana ilmentynyt ongelmia. Tästä huolimatta laite ei toiminut edelleenkään järjestelmän kanssa. Laitteen testaaminen tältä erää lopetettiin ja sitä jatkettiin myöhemmin seuraavana päivänä.

Seuraavana päivänä laitteiston testaus aloitettiin aurinkokennojärjestelmän jännitteen mittauksella, sillä se oli aikaisemmin heitellyt huomattavasti. Jänniteitä mitattiin yleismittarilla ja kaikki jännitteet näyttivät tällä kertaa olevan kunnossa. Tässä vaiheessa vaikutti mahdolliselta, että katolla oleva lumi olisi peittänyt osan paneeleista ja näin voinut aiheuttaa jännitteen heittelyn. Tässä vaiheessa myös väärän napaisuuden varoitusilmoitus oli kadonnut.

Testauksessa palattiin elektrolyyserin pariin ja yritettiin löytää syy ylipainehälytykselle. Vetykaasun linjastoa seuratiin ja linjastosta löydettiin venttiili, joka näytti olevan suljettu. Tämä kyseinen venttiili avattiin ja testausta jatkettiin.

Testausta jatkaessa täytyi myös venttiilit vetysäiliöihin avata, jotta tuotettu vety pääsee virtaamaan säiliöön. Kun yhtä vetysäiliön venttiiliä avattiin pääsi vetykaasua demolaitteiston sisätilaan. Todellisuudessa aikaisemmin avattu venttiili oli kolmitieventtiili, josta olisi ollut mahdollista ottaa vetykaasua järjestelmän ulkopuoliseen säiliöön. Hetken päästä järjestelmään kytketty vetyanturi havaitsi vetykaasua ilmassa yli sille asetetun raja-arvon verran ja anturi sulki laitteiston hätätoimenpiteenä. Vetyanturin raja-arvo oli asetettu 2 %:iin, jolloin laitteisto ehtii sammua ennen kuin vedyn syttymisraja täyttyy.

Vuodon jälkeen tila tuuletettiin huolellisesti ja ennen järjestelmän käynnistämistä tilan vetypitoisuutta mitattiin siihen tarkoitettulla mittarilla. Vasta kun vetyä ei enää havaittu ilmassa järjestelmä käynnistettiin uudelleen.

Kun järjestelmä yritettiin käynnistää uudelleen, huomattiin, että järjestelmä ei käynnisty. Pienen tutkimuksen jälkeen vika voitiin paikantaa vetyanturiin. Vetyanturin ohjainyksikkö ei enää käynnistynyt normaalisti vaan oli mennyt vikatilaan ja tämä esti myös järjestelmän käynnistymisen. Vikatilaa alettiin selvittämään käyttöohjeiden avulla.

Lopulta vetyanturin käyttöohjeesta löytyi kohta, josta pystyi tulkitsemaan vetyanturin led-valoilla ilmaiseman vian. Vetyanturi ilmaisi anturiosan vanhentuneen ja tästä syystä anturiosa täytyisi vaihtaa, jotta järjestelmä saataisiin uudelleen käyntiin. Anturiosa tilattiin suomalaiselta jälleenmyyjältä, mutta sen toimitusaika oli 2–3 viikkoa, joten työt keskeytyivät suurimmaksi osaksi täksi ajaksi.

Anturin toimitusta odotellessa oli aikaa tutkia elektrolyyseriä ja syitä, miksi laite meni vikatilaan. Laitetta testattiin ulkona ja huomattiin, että laitteen omat sisäiset testit eivät mene läpi. Tämän jälkeen laite vietiin laboratorioon sisätiloihin ja laitteen kuoret avattiin. Kun kuoret oli avattu, havaittiin laitteistossa vuoto. Vuoto johtui kuviossa 9 näkyvässä vioittuneesta liittimestä.



Kuvio 9. Elektrolyyserin vuotava liitin

Vuotavan liittimen tilalle tilattiin uusi liitin. Kun liitin vaihdettiin uuteen ei vuotoa enää havaittu. Tämän jälkeen myös sisäisten vuotojen testi meni läpi.

Aikaisemmin tilatun vetyanturin toimitusaika pidentyi yllättäen kuukauden lisää ja tässä vaiheessa täytyi alkaa miettiä toimia, joilla anturi saataisiin ohitettua. Vetyanturin ohittaminen oli välttämätöntä, jotta laitteisto saataisiin käyntiin. Tällaisten turvalaitteiden ohittaminen normaalitilanteessa on ehdottomasti kielletty, sillä se voi aiheuttaa pahimmillaan räjähdysvaaran. Kuitenkaan tässä tilanteessa räjähdysvaaraan ei ollut, sillä elektrolyyseri oli viety laboratorioon eikä se ollut demolaitoksen sisällä. Lisäksi demolaitoksessa olevat vetypullot pidettiin kiinni. Varotoimenpiteenä demolaitoksessa työskenneltäessä pidettiin ovea auki, jotta tila tuulettuu jatkuvasti. Käytössä oli myös vetyilmaisim, jolla pystyttiin varmistamaan tilan vetypitoisuus.



Vetyanturin ohittaminen aloitettiin tutustumalla anturin ohjausyksikön käyttöohjeeseen. Käyttöohjeesta täytyi etsiä viestin tyyppi, jota vetyanturi lähettää ohjausyksikköön. Käyttöohjeesta selvisi, että vetyanturin lähettämä viesti on 4–20 mA. Tämän lisäksi täytyi tietää viesti, jonka anturi lähettää ilmassa olevan vedyn määrän ollessa 0 %. Kyseinen viesti löytyi taulukosta ja se oli neljä mA. Näillä tiedoilla etsittiin laite, jolla pystyisi generoimaan milliampeeri viestin.

Laitteeksi valikoitui Beamex TC305 lämpötilakalibraattori. Laite oli suhteellisen vanha ja laitteen käytön opettelu oli nopeaa. Kuviossa 10 tarkastettiin laitteen lähettämä milliampeeri viesti yleismittarilla ennen sen kytkemistä ohjausyksikköön.



Kuvio 10. Beamex TC305 lämpötilakalibraattori

Lämpötilakalibraattori vietiin demolaitokseen ja kytkettiin ohjausyksikköön. Laite asetettiin syöttämään 4 mA viestiä yksikköön, mutta ohjausyksikkö ei reagoinut viestiin millään tavalla. Tässä vaiheessa epäiltiin, että ohjausyksikkö laskee taksin tulevan jännitteen ja tästä syystä ainoastaan viestin syöttäminen ohjausyksikköön ei riitä. Seuraavaksi anturia pyrittiin simuloimaan potentiometrin avulla.

Potentiometriä kokeiltiin ensin laboratoriossa virtalähteen avulla. Ohjausyksikkö lähettää anturiin 24 voltin jännitteen ja sama jännite asetettiin nyt virtalähteeseen. Tämän jälkeen potentiometriä säädettiin siten, että se lähettää 4 mA viestiä. Potentiometri asennettiin tämän jälkeen ohjausyksikköön ja laitteisto kytkettiin päälle. Ohjausyksikköön kytkettäessä täytyi käyttää välissä yleismittaria, jolla saatiin varmistettua viestin oikea virta. Kun potentiometri oli asennettu, täytyi sitä vielä hieman säätää, jotta viesti saatiin oikeaksi. Viestin ollessa kohdallaan ohjausyksikkö ei ollut enää vikatilassa ja laitteisto saatiin käynnistettyä. Kuviossa 11 nähdään potentiometrin asennus laitteistoon.



Kuvio 11. Potentiometrin kytkentä

Laitteiston ollessa jälleen käyttökunnossa jatkettiin töitä akkujen toimintakunnon tutkimisella. Ensimmäiseksi tutkittiin isompien akkujen kunto. Akut olivat useam-

man vuoden vanhoja, joten oli oletettavissa, että niiden kapasiteetti oli heikentynyt. Akkujen kapasiteetti saatiin lataamalla akut täyteen, jonka jälkeen akut purettiin tyhjäksi keinokuorman avulla. Koko prosessin ajan laitteiston tiedonkeruu pidettiin päällä. Tämän jälkeen kerätyistä tiedoista voitiin laskea akuista saatu energiamäärä ja verrata sitä energiamäärään, joka akuista pitäisi saada.

Akuista saatu energiamäärä laskettiin ja tulokseksi saatiin noin 790 Wh. Kyseisten akkujen kapasiteetin olisi pitänyt olla 1320 Wh, joten akkujen kapasiteetista oli kadonnut noin 40 %.

Tuulivoima-akut oli todettu jo aikaisemmin vioittuneiksi ja niiden tilalle oli hankittu uudet akut. Akkujen vaihdossa käytettiin sähkötöihin tarkoitettuja tai muokattuja työkaluja. Akkujen vaihto aloitettiin irrottamalla vanhat akut järjestelmästä. Uudet akut kytkettiin olemassa olevilla johdoilla toisiinsa ja asetettiin vanhojen akkujen tilalle. Lopuksi akut kytkettiin järjestelmään. Uusien akkujen vaihtoa vanhojen tilalle näkyy kuviossa 12.



Kuvio 12. Tuulivoima-akkujen vaihto

Akkujen vaihdon jälkeen aloitettiin elektrolyyserin testaus laitteistoon kytkettynä. Tilattu vetyanturi ei ollut kuitenkaan vielä saapunut, joten vetypitoisuutta mitattiin erillisellä mittarilla testauksien ajan. Myös tilan ovia pidettiin auki testauksien aikana, jotta tilaan ei kertyisi vetykaasua.

Elektrolyyseri kytkettiin kiinni laitteistoon ja laitteella suoritettiin ulkoisen piirin vuototesti. Testi meni läpi eikä vuotoja havaittu. Seuraavaksi laite kokeiltiin käynnistää järjestelmän kautta, joka ei aikaisemmin ollut onnistunut. Ensimmäisellä yrityksellä laite antoi vikakoodin ylijännitteestä. Vikakoodi kuitattiin ja käynnistystä kokeiltiin uudelleen. Tällä kertaa elektrolyyseri lähti päälle ilman ongelmia. Tämä oli ensimmäinen kerta, kun elektrolyyseri toimi laitteistoon kytkettynä ja tuotti vetyä. Tästä voitiin päätellä, että elektrolyyserin vikatilat ja toiminta ongelmat johtuivat vuotavasta liittimestä. Elektrolyyserin tuottaessa vetyä voitiin samalla testata polttokennon toiminta.

Polttokenno käynnistettiin ja se toimi ilman ongelmia. Polttokenno päästi toimiesseen hieman vetykaasua ilmaan. Erillinen mittari havaitsi vetypitoisuuden nousun ilmassa, mutta pitoisuuden määrä oli hyvin pieni eikä aiheuttanut vaaraa. Tässä vaiheessa laitteiston vetypuoli oli toimintakunnossa elektrolyyserin automaattista täyttöä lukuun ottamatta. Automaattisen täytön magneettiventtiili oli aikaisemmin kastunut ja vioittunut. Seuraava työvaihe oli magneettiventtiilin vaihto.

Vanha magneettiventtiili irrotettiin ja tilalle hankittiin uusi venttiili. Uusi venttiili asennettiin vanhan tilalle. Asennuksen jälkeen elektrolyyseristä täytyi asettaa automaattinen täyttö päälle. Automaattinen täyttö ei kuitenkaan toiminut, vaan laite alkoi antamaan vikakoodia automaattisesta täytöstä. Vikaan alettiin etsiä ratkaisua käyttöohjeesta, josta selitys vikaan löytyi. Täytön aikakatkaisu oli säädetty liian lyhyeksi. Tämän tarkoitti, että mikäli laitteen säiliö ei täyty määrättyssä ajassa laite menee vikatilaan. Aikakatkaisu oli säädetty 30 sekuntiin. Aikakatkaisun raja määritettiin 300 sekuntiin ja tällöin laite toimi moitteettomasti.

Testauksien loppuvaiheessa huomattiin myös, että aurinkopaneelien kulmansäätö ei toimi. Aurinkopaneeleita yritettiin laskea, mutta tässä vaiheessa huomattiin vain yhden moottorin toimivan. Yhteensä kulmaa säätäviä moottoreita oli neljä. Ensimmäiseksi tarkastettiin jakorasioihin tehdyt kytkennät yleismittarin avulla. Jakorasioista mitattiin jännitettä samalla kun paneelien kulmaa yritettiin



säätää. Jännite tuli rasioihin ja tämä tarkoitti, että jakorasioihin asti kytkennät ovat kunnossa. Seuraavaksi jännitteet mitattiin moottoreiden kytkennöistä. Myös näihin tuli jännite ja tästä syystä voitiin todeta kolmen moottorin vioittuneen. Uusia moottoreita ei ollut saatavilla heti vioittuneiden tilalle ja tämän takia niiden korjaus jäi myöhempään ajankohtaan. Jännitteiden mittausta moottoreista nähdään kuviossa 13.



Kuvio 13. Jännitteen mittaus yleismittarilla säätömoottorista

Aikaisemmin tilatun vetyanturin toimitus viivästyi edelleen ja tämän vuoksi anturin asennus ei ehtinyt kyseiseen projektiin mukaan. Oppimisympäristöä voidaan kuitenkin käyttää myös ennen uuden anturin asennusta, kunhan vetypitoisuutta mitataan käytön aikana siihen tarkoitetulla mittarilla.

Lopuksi käytetyt työkalut palautettiin paikalleen ja oppimisympäristö siivottiin. Tämän lisäksi tuulivoima-akut ladattiin täyteen seuraavaa käyttökertaa varten.

### 5.3 Demolaitoksen harjoitustyöt

Demolaitos sisältää erilaisia harjoitustöitä. Näitä voidaan suorittaa energia-alan opintoihin sisällytettynä laboratorioharjoituksina. Tarkoituksena oli käydä harjoitukset läpi ja havaita mahdollisia ongelmia niiden suorittamisessa. Ensimmäisenä käytiin läpi aurinkoenergiaa koskevat harjoitustyöt.

Aurinkoenergiaan liittyvissä harjoituksissa ongelmana oli suunnitelmista poikkeavat kytkennät. Laitteiston alkuperäisissä suunnitelmissa kaksi aurinkopaneeleista ovat liikuteltavia, mutta oppimisympäristössä kaikki paneelit ovat kytketty yhteen. Tästä syystä suurinta osaa aurinkoenergiaan liittyvistä harjoituksista ei voinut suorittaa ohjeiden mukaisesti. Kuitenkin kaksi harjoitusta voitiin suorittaa ohjeiden mukaisesti. Muiden harjoitusten kohdalla kytkentöjä pitää muuttaa.

Tuulienergiaan liittyvät harjoitukset voitiin suorittaa normaalisti. Näiden harjoitusten suorittaminen kestää noin kaksi vuorokautta ja tämä voi hankaloittaa harjoitusten suorittamista. Lisäksi harjoitusten suorittaminen vaatii tuulista säätä. Tuulienergia harjoituksia varten kehitettiin harjoitustyö, jossa tuulen tuottamaa energiaa simuloidaan ulkoisella virtalähteellä.

Virtalähteen jännite asetettiin vastaamaan tuulivoimalassa tehdasasetuksena olevaan jännitteeseen. Tämän jälkeen laskettiin tuulivoimalan tuottama sähkövirta eri tuulen nopeuksilla. Taulukko sähkövirroista tuulen eri nopeuksilla liitettiin harjoitustyön ohjeeseen. Harjoitustyön ohjeisiin merkittiin kytkimien asennot sekä ohje ulkoisen virtalähteen kytkemiseen.

Loput harjoitukset liittyivät vedyn tuotantoon, energian hallintaan sekä akkuihin. Nämä loput harjoitukset voitiin suorittaa ohjeiden mukaisesti eikä niissä havaittu ongelmia.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli käyttöönottaa vetyyn ja uusiutuvaan energiaan liittyvä oppimisympäristö. Toimintakuntoisella oppimisympäristöllä voitaisiin suorittaa harjoituksia, joissa käydään läpi energiantuotannon erilaisia tilanteita.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi toimiva uusiutuvien energiamuotojen ja vedyn tuotannon opetukseen käytettävä oppimisympäristö Lapin ammattikorkeakoululle. Minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta laitteistosta, joten sen toimintaan perehtyminen vei paljon aikaa. Iso osa projektiin käytetystä ajasta kului erilaisten käyttöohjeiden ja kytkentäkaavioiden tarkasteluun. Energiatekniikan lisäksi projekti vaati jonkin verran sähkötekniikan tietämystä. Itselläni ei sähkötekniikan tietämystä ollut ennen projektin aloitusta juurikaan ja siihen täytyi perehtyä työn aikana.

Tietopohjassa pyrittiin keskittymään erityisesti oppimisympäristöön liittyvään tekniikkaan ja laitteistoon. Tietopohjan tekemisestä oli myös hyötyä joidenkin vikojen selvityksessä, koska siitä saatiin tietoa komponenttien toimintaperiaatteista. Teoriaa tehdessä syventyi myös oma asiantuntemus vedyn tuotannosta ja käytöstä sekä uusiutuvista energiamuodoista.

Käyttöönotossa törmättiin ongelmiin, joita voi tulla muissakin vastaavia komponentteja käyttävissä laitoksissa. Esimerkiksi joidenkin osien toimitusajat voivat olla todella pitkiä, jolloin on keksittävä jonkinlainen väliaikainen ratkaisu, jotta laitteisto saadaan käyntiin. Oppimisympäristön tapauksessa venyvät toimitusajat eivät aiheuta suurta vahinkoa, mutta esimerkiksi isommissa tuotantolaitoksissa tilanne on toinen.

Opinnäytetyö oli todella hyvä oppimisen kannalta, koska projektin aikana sai tehdä monipuolisesti erilaisia asioita. Työn aikana pääsi käyttämään ja perehtymään moniin eri laitteisiin, joita ei aikaisemmin ollut käyttänyt. Komponentteihin ja laitteisiin perehtyminen oli välttämätöntä, jotta laitteiston viat saatiin paikannettua.

Erityisen opettavainen kokemus oli vetyanturin ohittaminen potentiometrin avulla. Työvaiheen aikana piti selvittää anturin kytkennät sekä anturin lähettämä viestin



suuruus halutussa tilanteessa. Oli mielenkiintoista huomata, kuinka monimutkaiselta vaikuttavan laitteen ohittaminen oli lopulta melko yksinkertaista.

Laitteistoa testatessa ja harjoitustöitä tehtäessä sai hyvän kuvan sään vaikutuksesta erityisesti aurinkoenergian tuotannossa. Testausten aikana huomasin hyvin, kuinka aurinkopaneelit tuottavat sähköä myös pilvisellä säällä. Tuulivoimaa laitteistolla ei saatu tuotettua testausten aikana yhtään, mutta tämä johtui lähinnä oppimisympäristön sijainnista. Oppimisympäristö oli sijoitettuna koulurakennuksen seinän viereen, jolloin tuuli ei pääse esteettömästi roottoriin. Roottori oli myös sijoitettu varsin alas, mikä myös heikentää tuulivoimalan toimintaa.

Vedyn tuotantoa testatessa huomasin hyvin prosessin heikon hyötysuhteen, kun tuotettua vetyä muutetaan takaisin sähköksi. Jos tarkasteltiin vain polttokennon nimellistehoa ja siihen tarvittavan vedyn kulutusta sekä elektrolyysin maksimi vedyntuotantoa, saatiin hyötysuhteeksi vain 20 %.

Työssä pystyi soveltamaan hyvin energiapuolen opintoja erityisesti laskentaa vaativissa tehtävissä. Laskentaa työssä tarvittiin muun muassa akkujen kapasiteettien määrittämisessä ja uuden tuulivoimaharjoituksen luomisessa.

Laitteistoon jäi vielä muutama huoltoa tai korjausta vaativa asia. Vetyanturi täytyy asentaa laitteistoon, jolloin oppimisympäristöä käyttäessä ei tarvitsisi enää välttämättä käyttää erillistä vetymittaria. Aurinkopaneelien kulmansäätömoottorin täytyisi uusia, jotta oppimisympäristöä voitaisiin kuljettaa pitempiä matkoja. Lisäksi oppimisympäristön sisälle olisi hyvä hankkia lisälämmönlähteitä talvea varten, joilla voitaisiin välttää laitteiston jäätyminen.

Jatkotutkimuksena laitteistoa voitaisiin kokeilla käyttää irrotettuna sähköverkosta. Tämä vaatisi laitteiston keskusyksikön kytkemistä oppimisympäristön akustoon. Tässä voitaisiin tutkia oppimisympäristön energian riittävyyttä ilman ulkoista virranlähdettä. Tämän lisäksi oppimisympäristön valmistaja on listannut muutamia opinnäytetyön aiheita, joita laitteistolla voidaan suorittaa.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyö oli haastava ja todella opettavainen. Olen tyytyväinen opinnäytetyön lopputulokseen, koska opinnäytetyölle asetettu tavoite saavutettiin ja tämän lisäksi oppimista tapahtui runsaasti työn aikana.

## LÄHTEET

Global energy infrastructure 2021. Hydrogen – data telling a story. Global energy infrastructure. Viitattu 28.4.2023 <https://globalenergyinfrastructure.com/articles/2021/03-march/hydrogen-data-telling-a-story/>.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2013. *Voimalaitostekniikka*. 2. tark. p. Helsinki: Opetushallitus.

Hänninen, H., Karppinen, M., Leskelä, M. & Pohjakallio, M. 2018. Tekniikan ke-mia. 14., uudistettu painos. Helsinki: Edita.

IEA 2019. The future of Hydrogen. IEA. Viitattu 31.3.2023 [https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The\\_Future\\_of\\_Hydrogen.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf).

Irena 2020. Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal. Abu Dhabi: Irena. Viitattu 29.4.2023 [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA\\_Green\\_hydrogen\\_cost\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf).

Lehto, I., Orrberg, M., Liuksiala, L., Lähde, P., Olenius, M. & Ylinen, M. 2019. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Espoo: Sähkötieto ry.

Linde 2020. Turvallisuusohje: Vety H<sub>2</sub>. Linde. Viitattu 31.3.2023 [https://www.linde-gas.fi/fi/images/Linde%20Hydrogen%20Safety%20Instruction%20FI\\_tcm634-120474.pdf](https://www.linde-gas.fi/fi/images/Linde%20Hydrogen%20Safety%20Instruction%20FI_tcm634-120474.pdf).

Korpela, A. 2016. Tuulivoiman perusteet. Tampere: Tammertekniikka.

Motiva 2022a. Uusiutuva energia Suomessa. Motiva. Viitattu 25.5.2023 [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/uusiutuva\\_energia\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa).

Motiva 2022b. Aurinkosähköt teknologiat. Motiva. Viitattu 16.4.2023 [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahko-jarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahko-jarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat).

Motiva 2023. Tuulivoimateknologia. Motiva. Viitattu 15.4.2023 [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoima\\_suomessa/tuulivoimateknologia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuulivoimateknologia).

P2X Solutions Oy 2021. Ensimmäinen vihreän vedyn tuotantolaitos Harjavaltaan. P2X Solutions Oy. Viitattu 18.5.2023 <https://p2x.fi/ensimmainen-vihrean-vedyn-tuotantolaitos-harjavaltaan/>.

Sankir, M. & Demirci Sankir, N. 2017. *Hydrogen production technologies*. New Jersey: Scrivener Publishing.

Sivill, L., Bröckl, M., Semkin, N., Ruismäki, A., Pilpola, H., Laukkanen, O., Lehtinen, H., Takamäki, S., Vasara, P. & Patronen J. 2022. Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet. Helsinki: Valtionneuvoston kanslia. Viitattu 31.3.2023 [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163901/VNTEAS\\_2022\\_21.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163901/VNTEAS_2022_21.pdf?sequence=1&isAllowed=y).


The Eco Experts 2023. Types of solar panels: Which is best for you?. The Eco Experts. Viitattu 18.05.2023 <https://www.theecoexperts.co.uk/solar-panels/solar-panels-types>.

Tuulivoimayhdistys 2023. Eri voimalatyyppejä. Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Viitattu 15.4.2023 <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/eri-voimalatyyppeja>.

## LIITTEET

- Liite 1. Aurinkopaneelin datalehti
- Liite 2. Tuulivoimalan datalehti
- Liite 3. Polttokennon datalehti
- Liite 4. Elektrolyyserin datalehti


## Liite 1. Aurinkopaneelin datalehti




Vertrieb durch:

AC-250P/156-60S  
AC-255P/156-60S  
AC-260P/156-60S  
AC-265P/156-60S  
AC-270P/156-60S

www.axitecsolar.com



high quality german solar brand



**Elektrische Daten** (bei Standard-Testbedingungen (STC) Einstrahlung 1000 Watt/m<sup>2</sup> mit Spektrum AM 1.5 bei einer Zelltemperatur von 25°C)

Typ	Nennleistung P <sub>mp</sub>	Nennspannung U <sub>mp</sub>	Nennstrom I <sub>mp</sub>	Kurzschlussstrom I <sub>sc</sub>	Leerlaufspannung U <sub>oc</sub>	Modul Wirkungsgrad
AC-250P/156-60S	250 Wp	30,70 V	8,18 A	8,71 A	37,80 V	15,37 %
AC-255P/156-60S	255 Wp	30,80 V	8,30 A	8,84 A	37,92 V	15,67 %
AC-260P/156-60S	260 Wp	30,92 V	8,43 A	9,01 A	38,00 V	15,98 %
AC-265P/156-60S	265 Wp	30,98 V	8,60 A	9,20 A	38,16 V	16,29 %
AC-270P/156-60S	270 Wp	31,12 V	8,71 A	9,25 A	38,21 V	16,60 %

**Aufbau**

Vorderseite	3,2 mm gehärtetes, reflexarmes Weißglas
Zellen	60 polykristalline Hochleistungszellen 156 mm x 156 mm (6")
Rückseite	Verbundfolie
Rahmen	40 mm silber eloxierter Aluminiumrahmen

**Mechanische Daten**

L x B x H	1640 x 992 x 40 mm
Gewicht	18,5 kg mit Rahmen

**Anschluss**

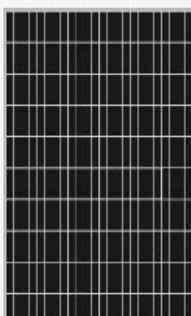
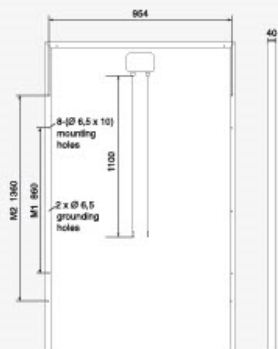
Anschlussdose	Schutzklasse IP67 (3 Bypassdioden)
Leitung	ca. 1,1 m, 4 mm <sup>2</sup>
Stecksystem	Stecker/Buchse IP67

**Grenzwerte**

Systemspannung	1000 VDC
NOCT (nominal operating cell temperature)*	45°C ±2K
Max. Belastbarkeit	5400 N/m <sup>2</sup>
Rückwärtsbestromung I <sub>R</sub>	16,0 A
Zulässige Betriebstemperatur	-40°C bis +85°C

(Es dürfen keine ext. Spannungen größer U<sub>oc</sub> am Modul angelegt werden)

\*NOCT, Bestrahlungsstärke 800 W/m<sup>2</sup>; AM 1,5; Windgeschwindigkeit 1 m/sec; Temperatur 20°C

Alle Maße in mm

**Temperaturkoeffizienten**

Spannung U <sub>oc</sub>	-0,30 %/K
Strom I <sub>sc</sub>	0,04 %/K
Leistung P <sub>mp</sub>	-0,42 %/K

**Schwachlicht** (Beispiel AC-260P/156-60S)

I-U Kennlinie	Strom	Spannung
200 W/m <sup>2</sup>	1,70 A	30,10 V
400 W/m <sup>2</sup>	3,42 A	30,15 V
600 W/m <sup>2</sup>	5,41 A	30,52 V
800 W/m <sup>2</sup>	6,82 A	30,86 V
1000 W/m <sup>2</sup>	8,43 A	30,92 V

**Verpackung**

Anzahl der Module pro Palette	25 Stck.
Anzahl der Module pro HC-Container	700 Stck.

Liite 2. Tuulivoimalan datalehti

AIR Technical Specifications

Model	AIR Breeze and AIR 40
Weight	13 lb / 6 kg
Rotor Diameter	46 in / 1.17 m
Start Up Wind Speed	7 mph / 3.1 m/s
Kilowatt Hours/month	38 kWh/month @ 12 mph / 5.4 m/s avg. wind speed
Maximum Wind Speed	110 mph
Rated Power	160 watts @ 28 mph / 12.5 m/s wind speed
Operating Temperature Range	AIR Breeze and AIR 40 are certified under IEC requirements applying to the temperature range 14° F (-10° C) to 104° F (40° C). AIR 40 is CSA certified.

Voltage Regulation Set Point (factory setting)

12 Volt Systems	14.1 Volts
24 Volt Systems	28.2 Volts
48 Volt Systems	56.4 Volts

Regulator Adjustment Range

12 Volt Systems	13.6 to 17.0 Volts (approximately)
24 Volt Systems	27.2 to 34.0 Volts (approximately)
48 Volt Systems	54.4 to 68.0 Volts (approximately)

Recommended Fuse Size (AIR 40 and AIR Breeze)

12 Volt Systems	20 amp (slow blow)
24 Volt Systems	10 amp (slow blow)
48 Volt Systems	5 amp (slow blow)


Recommended Fuse Size (AIR 30)

12 Volt Systems	40 amp (slow blow)
24 Volt Systems	20 amp (slow blow)
48 Volt Systems	10 amp (slow blow)

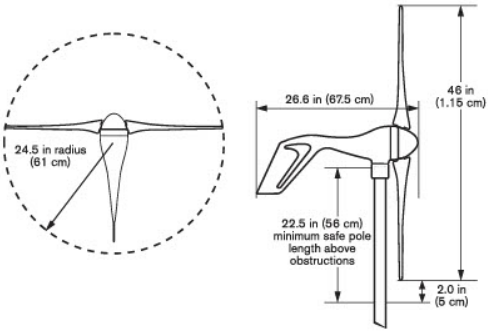
Tower Loads

Shaft Thrust\* 52 lb @ 100 mph wind speed (230 N @ 45 m/s)

\*Value does not include safety factor. Primus Wind Power recommends safety factor of 1.5.

Model	AIR 30	
Weight	13 lb / 6 kg	
Rotor Diameter	46 in / 1.17 m	
Start Up Wind Speed	8 mph / 3.6 m/s	
Kilowatt Hours/month	30 kWh/month @ 12 mph / 5.4 m/s avg. wind speed	
Maximum Wind Speed	110 mph	
Rated Power	400 watts @ 28 mph / 12.5 m/s wind speed	
Certifications	CSA, CE	

AIR 30 wind turbines are eligible to bear the CSA mark with "C" and "US" indicators. The "C" and "US" indicators signify that the product has been evaluated to the applicable CSA and ANSI/UL standards for use in Canada and the US.



## 11 Technical Data

### 11.1 Complete System

Designation	Definition	Specification
Physical data	Dimensions (H x W x D)	220 x 400 x 550 mm
	Weight	ca. 22 kg
	Protection type	IP22
Power output	Output voltage	16 ... 40 V <sub>DC</sub>
	Rated current	60 A <sub>DC</sub> max.
	Rated output	1200 W @ 5...25 °C
	Rated output	1000 W @ 35 °C
Fuel		H <sub>2</sub> , hydrogen gas
	Minimum purity	4.0 (= 99,99 %)
	Permissible inlet pressure	1...15 bar
	Hydrogen consumption at 1200 W	15 NL/min
Electrical supply	Min. input power	110 W <sub>DC</sub>
	Power supply	12...36 V <sub>DC</sub>
Oxidant	Oxygen	Atmospheric oxygen
	Volume flow rate	Max 335 m <sup>3</sup> /h
	Oxygen concentration	Min 18%
	Ambient pressure	700...1100 mbar
	Temperature	5...35 °C
	Vaporous water content in exhaust gas at rated output	550 g/h
Operating environment	Operating location	Inside of labs, dry
	Ambient temperature	5...35 °C
	Relative humidity	0...95 % , non-condensing
Storage	Ambient temperature	3...30 °C
Transport	Ambient temperature	-40...+70 °C
German Electrical Electronic Equipment Act (ElektroG)	Law over the placing on the market, recycling and the environmentally-compatible disposal of electrical and electronic devices.	RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances)
		WEEE Waste Electrical and Electronic Equipment)

Table 11-1 Typical values with a unit which has been in operation for some time

## Liite 4. Elektrolyserin datalehti

### INTRODUCTION

#### Scope of the manual

This manual provides operation and maintenance instructions for model NMH2-100, NMH2-160, NMH2-250, NMH2-300, NMH2-500, NMH2-600 and NMH2-1000 hydrogen generators.

#### Specifications

Hydrogen flow rate  STP: Standard temperature and pressure (20°C, 1 bar)	Model NMH2 Plus-100	0-100 cc/min at STP
	Model NMH2 Plus-160	0-160 cc/min at STP
	Model NMH2 Plus-250	0-250 cc/min at STP
	Model NMH2 Plus-300	0-300 cc/min at STP
	Model NMH2 Plus-500	0-500 cc/min at STP
	Model NMH2 Plus-600	0-600 cc/min at STP
	Model NMH2 Plus-1000	0-1000 cc/min at STP
Max outlet pressure	11 bar (160 psi)	
Purity	99.9999%	
Weight (dry)	NM Plus 100 - 160 – 250 - 300	19.5 kg
	NM Plus 500 - 600	21 kg
	NM Plus 1000	22 Kg
Power consumption	Model NMH2 Plus-100	90 W
	Model NMH2 Plus-160	115 W
	Model NMH2 Plus-250	125 W
	Model NMH2 Plus-300	150 W
	Model NMH2 Plus-500	200 W
	Model NMH2 Plus-600	300 W
	Model NMH2 Plus 1000	400 W
Input voltage	110-230V / 50-60Hz	
Fuse	4A (5x20)	
Pressure accuracy	0.1 bar ( $\pm 0.5\%$ )	
Microprocessor controlled display	Graphic display- Touch Screen, 128 x 64 pixels	
Index of protection	IP2x	
Operating conditions:		
- Temperature	15°C to +40°C	
- Relative humidity	0-80%, non condensing	
Over voltage category	II	
Pollution degree	2	
Sound pressure level	46 dB(A)	
Case dimensions	230 x 355 x 410 mm (WxDxH)	